Carla Garcia-Lozano, Mariano Moreno
de las Heras, Carles Barriocanal (eds.)

Biogeografía y conservación

ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

Biogeografía y conservación

ESTRATEGIAS PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

Carla Garcia-Lozano, Mariano Moreno de las Heras, Carles Barriocanal (eds.)

Barcelona 2026
IV Congreso Iberoamericano y XIV Congreso Español Biogeografía

Datos CIP recomendados por la Biblioteca de la UdG

CIP 574.9 BIO

Biogeografía y conservación : estrategias para un futuro sostenible / Carla Garcia-Lozano, Mariano Moreno de las Heras, Carles Barriocanal (eds.). – Girona : Documenta Universitaria, junio de 2026. – 1 recurs en línia (290 pàgines) : il·lustracions, mapes, taules, gràfics. – Conté: Consideraciones biogeográficas y de conectividad estructural para monitorear corredores biológicos en Mesoamérica / Carlos Morera, Luis F. Sandoval ... – Textos en castellà, portuguès i anglès. – Descripció del recurs: 30 juny 2026
ISBN 978-84-9984-752-8

I. Garcia-Lozano, Carla, editor literari II. Moreno de las Heras, Mariano, editor literari III. Barriocanal, Carles, editor literari IV. Contenidor de (Obra): Morera, Carlos. Consideraciones biogeográficas y de conectividad estructural para monitorear corredores biológicos en Mesoamérica
1. Biogeografia 2. Biologia de la conservació 3. Llibres electrònics

CIP 574.9 BIO

Com citar aquesta obra (APA7):
Garcia-Lozano, C., Moreno de las Heras, M., y Barriocanal, C. (eds.). (2026). Biogeografía y conservación: estrategias para un futuro sostenible. Documenta Universitaria. https://doi.org/10.33115/b/9788499847528

Corrección del texto original: los editores
Diseño de la cubierta: Documenta Universitaria

© del texto: sus autores y autoras
© de la edición: Documenta Universitaria®
www.documentauniversitaria.com
info@documentauniversitaria.com
Documenta Universitaria® d'Edicions a Petició, SL

ISBN: 978-84-9984-752-8
DOI: 10.33115/b/9788499847528

Girona, junio de 2026

Esta obra está sujeta a una licencia de Creative Commons (CC BY-NC-SA 4.0). La licencia completa se puede consultar en: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Documenta Universitaria
@DocUniv
documentauniversitaria.com

Índice

Prólogo 12
Josep Pintó Fusalba

Conferencia inaugural. Biogeografía y conservación a pequeña escala: de los microhábitats a las microrreservas 14
Laguna Lumbreras, Emilio

EJE 1: Biogeografía y conservación

Consideraciones biogeográficas y de conectividad estructural para monitorear corredores biológicos en Mesoamérica 19
Morera, Carlos., Sandoval, Luis F.

Caracterización y valoración biogeográfica de las turberas con abedul de Baigura (Navarra). Evaluación a partir de la metodología Lanbioeva 23
Díaz-Sanz, María Cristina, Lozano -Valencia, Pedro José, Monreal Mazquiaran, Joseba, Meaza Rodríguez, Guillermo

Variaciones en el límite superior del bosque durante el Holoceno en Sierra Nevada (España) a partir del análisis pedoantracológico 27
Olmedo-Cobo, José Antonio, Fernández-Castaño, Francisca, Pardo-Martínez, Rubén, López-Avilés, Alejandro, Gómez-Zotano, José

Cuando los espacios no protegidos importan para las aves rapaces: el caso de un mosaico agroforestal mediterráneo sometido a presión extractiva (la mina de Fontanarejo, Ciudad Real) 31
Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo, Guzmán Piña, José, Guzmán Téllez, Javier Elías, Martín Ceballos, José Antonio, Morales Pérez, Beatriz, Navas Berbel, Adrián, y Sarrión Torres, Francisco José

Dinâmica espaço-temporal dos manguezais sob a influência dos processos dunares na resex cururupu/ma– brasil 35
Oliveira, Beatriz; Furlan, Sueli

Sucesión de la vegetación sobre islas arenosas arrecifales en la comarca indígena de Guna Yala (Panamá) 39
Gómez Ponce, Cinta, Díaz del Olmo, Fernando, Cámara Artigas, Rafael

Vegetation Patterns and Coastal Risk in a Mediterranean Protected Area: Biogeographical Implications for Conservation 43
Daniela Ciccarelli, Viola Alessandrini, Duccio Bertoni, and Nelson Rangel-Buitrago

Patrones biogeográficos de la riqueza florística en bosques templados caducifolios del hemisferio norte 47
Padullés Cubino, Josep,, Loidi, Javier, Fernández-Pascual, Eduardo, Jiménez-Alfaro, Borja, Marcenò, Corrado, Biurrun, Idoia, Campos, Juan Antonio, Chytrý, Milan, Gholizadeh, Hamid, Indreica, Adrian, Kavgaci, Ali, Krestov, Pavel0, Nakamura, Yukito, Naqinezhad, Alireza, Novák, Pavel, Peet, Robert K., Petřik, Petr, Tsiripidis, Ioannis, Vassilev, Kiril, You, Haimei

A contribuição da Distribuição Geográfica de Espécies no processo de Educação Ambiental em cenários de Alterações Climáticas. Um estudo abrangendo Áreas Protegidas no Nordeste do Brasil 51
Coutinho, Solange Fernandes Soares

Bosque relicto de haya (*Fagus mexicana* Martínez) en Teziutlán, Puebla, México: diagnóstico estructural y prioridades para la conservación de un paisaje fragmentado 55
Lázaro-Arias, Amellalli, y Luna-Vega, Isolda

La mortandad del alcornocal en Andalucía (España): análisis de factores edáficos y bióticos relacionados 59
Jurado Doña, Vicente, Díaz del Olmo, Fernando, Recio Espejo, José ManuelCámara Artigas, Rafael

¿Por qué nos quemamos, si siempre nos inundamos? Respuesta ecológica del Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina) ante la manifestación de eventos climáticos extremos 63
Contreras, Felix Ignacio

Distribución y dinámica reciente del acebo (*Ilex aquifolium*) en los Puertos de Marabio (Asturias) 67
Flórez Álvarez, Eduardo, Rodríguez Pérez, Carmen, Beato Bergua, Salvador

Lessons from a Salamander: Assessing the limitations of distribution models 71
Verde Guzmán, Tarjuelo Rocío, González-Cascón Victoria and Aragón Pedro

Avances pedoantracológicos en los bosques serpentinófilos del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (Serranía de Ronda) 75
Fernández Castaño, Francisca, Pardo Martínez, Rubén, López Avilés, Alejandro, Gómez Zotano, José

Distribución espacial de una aliseda ibérica (*Alnus lusitanica*) en el arroyo del Guindalejo (Ciudad Real, España): implicaciones para su conservación 79
Buitrago Bravo, Pedro Pablo , Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo

Biodiversidade e Macrohabitats na Ilha dos Lençóis (Reserva Extrativista Marinha de Cururupu) Maranhão (Brasil) 83
Furlan, Sueli Angelo, Pérez Machado, Reinaldo Paul

Primeros datos pedoantracológicos del tejo en la Sierra de Aitana (Alicante) 86
Gimenez-Font, Pablo, Marco-Molina, Juan Antonio, Pardo-Martínez, Rubén, Sánchez-Pardo, Ángel, FernándezCastaño, Francisca , Gómez-Zotano, José

Where to sample next? Using phylogenetic predictions and environmental bias to guide biodiversity surveys in Brazilian snakes 90
Braga, Luiz D., Ronquillo, Cristina, Hortal, Joaquín, Guedes, Thaís B

Flora autóctona de la unidades neógenas orientales de la Depresión del Tajo (España). Muestreo y análisis básico 94
García-Abad Alonso, Juan-Javier

Zonación de la vegetación en sistemas dunares costeros transgresivos: contrastes entre clima templado y árido 98
Castaño-Rodríguez, Beatriz, Hernández-Cordero, Antonio I., Gallego-Fernández, Juan B

Apariciones recientes de *Tarentola mauritanica* en el norte de la penín-sula ibérica: dispersión antropogénica, condicionantes ambientales e implicaciones biogeográficas 102
Ruiz-Fernández, Jesús, Núñez de Con, Laura, González-Díaz, Benjamín, Montes-Canga, Emma

Los bufones del oriente de Asturias, un geotopo con vegetación halocasmofítica 106
Núñez de Con, Laura, Ruiz-Fernández, Jesús, Montes-Canga, Emma, Pérez-García, Luis

Dune vegetation composition under different management strategies and human pressure along the northern Catalan coast 110
Garcia-Lozano, Carla, Leccardi, Cinzia, Pintó, Josep, Ciccarelli, Daniela

FutureLand: Restoration of nature and higher education in Europe, an Erasmus+ project to enhance the students' competences 114
Garcia-Lozano, Carla, Feliu, Jaume, Font-Casaseca, Núria, Roura-Pascual, Núria and Josep Vila-Subirós

Efectos de la restauración fluvial sobre las comunidades de aves en un río urbano: el caso del Congost en Granollers (Cataluña) 118
Barriocanal, Carles, Farguell, Joaquim, Carvalho, Filipe, Moreno de las Heras, Mariano

Revisitando la paradoja de Reid: dispersión de semillas a larga distancia hacia sus futuros óptimos climáticos poraves frugívoras migratorias 122
Bracho-Estévanez, Claudio Açaí; González-Moreno, Pablo; Onrubia, Alejandro; Rösner, Sascha; Morales, Juan Manuel; & González-Varo, Juan Pedro

Solving the evolutionary relationships of a disjoint distribution snake species complex (*Lygophis dilepis*, Dipsadidae) through phylogenomic and morphological tools 126
Nehemy, Ibrahim Kamel Rodrigues, Gehara, Marcelo Coelho Miguel, Solferini, Vera Nisaka, Werneck, Fernanda P., Koch, Claudia, Guedes, Thaís B.

Aportaciones al conocimiento de la flora alóctona de los Pirineos: catalogación, caracterización y grado de invasión 130
López-Pujol Jordi, Martínez-Fuentes Javier, López-Guillén Eduard, Carreño Carmen, Orbea Beñat y Nualart Neus

La fauna salvaje en un entorno humanizado próximo a la ciudad de Oviedo, Asturias (España) 134
Pérez-García, Luis, Ruiz-Fernández, Jesús, González-Díaz, Benjamín y García-Hernández, Cristina

Patrones ecogeomorfológicos y umbrales de degradación en pastizales del Parque Nacional Sierra de las Nieves 138
Menjíbar-Romero, Mario, Nadal-Romero, Estela, Hueso-González, Paloma, Martínez-Murillo, Juan Francisco

Geographic distribution of *Nymphaea gracilis* Zucc. (Nymphaeaceae): an assessment for a Mexican endemic species 142
López-Camarillo Hugo, Ríos-Muñoz César A. y Luna-Vega Isolda

Análisis de la flora y vegetación de las codines del PN «Sant Llorenç del Munt i l'Obac» (Barcelona) y su relación con el microrelieve y otros factores biofísicos 146
Pintó Josep, Garcia-Lozano Carla, Varga Diego, Roig-Munar Francesc Xavier y Muñoz William

Biogeografía, Realidad Virtual y percepción multisensorial: propuesta de un itinerario en el Parque Natural de Somiedo (Asturias) 150
Rodríguez Tuñón, Ángeles, Herrera Arenas, Daniel, Rodríguez Pérez, Carmen

Conservation of the phylogenetic diversity of Squamata reptiles in the Caatinga 154
Oliveira, Júlia Silva, Oliveira, Henrique José, Costa, Henrique Caldeira, Mesquita, Daniel Oliveira, Guedes, Thaís Barreto

EJE 2: Técnicas y métodos de monitorización y análisis

Incorporación del análisis de fitolitos en la Biogeografía: aplicaciones paleo ambientales en regiones semiáridas del noreste de Brasil 159
Schacht, Gustavo Luis, Calegari, Marcia Regina

Especies exóticas invasoras en Europa: gestión y tendencias desde la percepción de gestores locales 163
Garcia-Lozano, Carla y Roura-Pascual, Núria

La vegetación palustre como bioindicador de cambio ambiental en humedales salinos mediterráneos de interior: el caso de la laguna de Manjavacas (Cuenca) 167
Sánchez Gutiérrez, Carmen Pilar y Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo

Calibración polínica del abeto (*Abies alba*) como herramienta para reconstruir su distribución holocena 171
Sánchez-Morales, Marc, Pérez-Obiol, Ramon, Badía Perpinyà, Anna, Nadal Tersa, Jordi, Soriano López, Joan Manuel y Pèlachs Mañosa, Albert

La Capacidad de Retención como método de aproximación al estudio del cambio climático 175
Fidalgo, Concepción, Cañada, Rosa, Corral, Mario

Índice Temporal de Dominância Antrópica–Natural (T-ANDI): Trajetórias Polarizadas de Uso e Cobertura da Terra em Municípios Costeiros Brasileiros (1985–2024) 179
Pedrassoli, Julio, Pérez Machado, Reinaldo Paul, Gomes, Joice Genaro

Dinâmica espaço-temporal da vegetação na bacia do rio Paraíba (Nordeste do Brasil): uma avaliação baseada no NDVI e na variabilidade das precipitações entre 2000 e 2025 183
Porto de Lima, Valéria, Silva, Jorge

Evaluación de la predisposición a incendios en zonas de montaña: un análisis comparativo de la dinámica hídrica forestal entre la zona Cantábrica y el Pirineo (2000-2022) 187
García Zárate, Diego; Cristóbal Rosselló, Jordi; Badia Perpinyà, Anna; Rasilla-Álvarez, Domingo; Carracedo Martín, Virginia; Sánchez Morales, Marc y Pèlachs Mañosa, Albert

Actualización del censo de la parcela de seguimiento de *Genista longipes* Pau en la Sierra de Aitana (Alicante) 191
Marco-Molina, Juan Antonio, Padilla-Blanco, Ascensión, Sánchez-Pardo, Ángel, Giménez-Font, Pablo

Propiedades del suelo en niveles edáficos y antracomasa en el Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga) 195
Menjíbar-Romero, Mario, Pardo-Martínez, Rubén, Fernández Castaño, Francisca, Martínez-Murillo, Juan Fran-cisco, Gómez Zotano, José

Citizen science and invasion risk modelling for alien plant management in the Costa Brava (NE Iberian Peninsula): the LIFE medCLIFFS project 199
Maria Magdalini Mertzimeki, Laia Garcia Casanova, Estefany Goncalves, Edgard Mestre, Arnau Bosch-Guiu, Neus Ibáñez, Carlos Santana, Francesc Caralt, Sonia Garcia, Jordi López-Pujol, Neus Nualart

EJE 3: Bioclimatología y cambio climático

Pulsos de vegetación húmeda en el interior del noreste de Brasil: contribuciones del análisis de fitolitos 204
Schacht, Gustavo Luis, Calegari, Marcia Regina

Riqueza florística y aptitud bioclimática de la cobertura arbórea urbana de Barcelona 208
Alomar-Garau, Gabriel, López-Bustins, Joan Albert, Moreno-García, Ma Carmen y Salvà-Catarineu, Montserrat

Monitoramento climático multiescalar de manguezais como subsídio à adaptação climática: estudo de caso do Sistema Costeiro Cananéia–Iguape/Brasil 212
Lima, Nádia, Baratto, Jakeline, Terassi, Paulo, Lima, Rafael, Emiliano, Valéria, Alves, Rogério, Junqueira, Flora, Fioranelli, Giovanna, Cardoso, Julio, Souza, Saraeh, Santos, Ana Lucia, Galvani, Emerson

Climate-Driven Changes in the Distribution of Crotalus durissus and Public Health in Southeastern Brazil 216
Azevedo Thiago Salomão de, Guedes Thaís Barreto

Medical biogeography of *Tityus serrulatus*: climate change and future sting risk in southern Brazil 220
Azevedo Thiago Salomão de, Marques-da-Silva Emanuel, Brescovit Antônio Domingos, Goldoni Paulo André Margonari, Iniesta Luiz Felipe Moretti

Haya y pino silvestre ¿enemigos irreconciliables? 224
Rasilla Álvarez, Domingo Fernado, Carracedo Martín, Virginia

Clasificación Bioclimática de la Isla de El Hierro (Canarias) 228
Salvà Catarineu, Montserrat, Caballero Fernández, Damián, Salvador Franch, Ferran, Padrón Padrón, Pedro Agustín, López Bustins, Joan Albert, Martín Vide, Javier

EJE 4: Sistemas forestales

Análisis del estatus, la filiación corológica y el grado de endemismo de los taxones vasculares de los bosques de araucaria del Parque Nacional de Conguillio (Chile) 233
Lozano-Valencia, Pedro José, Díaz-Sanz, María Cristina y Lebuy-Castillo, Roxana

Transformación del paisaje de la laurisilva de las Vueltas de Taganana durante las dos últimas décadas (Anaga. Tenerife. I. Canarias) 237
Arozena Concepción, M. Eugenia, Panareda Clopés. Josep M., Víctor M. Martín Febles

Composición florística de los bosques de roble albar (Quercus petraea (Matt.) Liebl.) del noroeste peninsular 241
Díaz-Maroto, Ignacio J.

Tratamientos selvícolas orientados a la gestión sostenible en áreas con tendencia a la despoblación: hayedo de Busmayor (León) 245
Díaz-Maroto, Ignacio J.

Species Distribution Models capture delayed climate effects on tree defoliation across European forests 249
Hernández-Lambraño Ricardo Enrique, González-Moreno Pablo, Navarro-Cerillo Rafael Mª, José Ángel Sánchez-Agudo

Convergencia sucesional de la vegetación forestal tras tres décadas de evolución post-incendio en el Macizo de Cadiretes 253
Moreno de las Heras, Mariano, García-Braga, Eduardo, Barriocanal, Carles, Alfaro-Zepeda, Sebastián, Farguell, Joaquim, Úbeda, Xavier

Quema prescrita como herramienta para la disminución de combustible y sus efectos en la vegetación: el caso del macizo de Montgrí 257
Alfaro-Zepeda, Sebastián; Martinovic, Tijana; García-Braga, Eduardo; Moreno de las Heras, Mariano; Barriocanal, Carles; Farguell, Joaquim; Úbeda, Xavier

Efectos del pastoreo post-incendio en la vegetación y las propiedades microbiológicas del suelo: el caso de Cap de Creus 261
Alfaro-Zepeda, Sebastián; Martinovic, Tijana; Moreno de las Heras, Mariano; Barriocanal, Carles; García-Braga, Eduardo; Farguell, Joaquim; Úbeda Xavier

Caracterización de la sucesión vegetal desde cultivos abandonados hasta bosques periurbanos en la conurbación de Valencia (España) 265
Laguna, Emilio, Guara, Miguel y Ferrer-Gallego, Pedro Pablo

EJE 5: Biogeografía cultural y socioecológica

Fitogeografía de un bosque antropogénico desde la perspectiva de la biogeografía cultural: Floresta Nacional Mário Xavier (Río de Janeiro – Brasil) 270
Bueno Vargas, Karine; Fernandes Calazans, Pablo; Lawall, Sarah; Silva Montes, Jackson; Angelo Furlan, Sueli; Gomes Carvalho Bezerra, Renato

Recursos biogeográfico-paisajísticos de la Cruz de Priena (Covadonga, Parque Nacional de Picos de Europa, Asturias) 274
Beato Bergua, Salvador, Poblete Piedrabuena, Miguel Ángel, Marino Alfonso, José Luis

Servicios ecosistémicos de manglares Reserva extractiva marina Cururupu –Maranhão– Brasil 278
Furlan, Sueli; Macario, Laura

La paradoja de la invasión biológica: *Agave* y *Opuntia* como elementos simbólicos e identitarios en el Mediterráneo europeo 281
Mertzimeki Maria Magdalini, Bosch-Guiu Arnau, Ibáñez Neus, Nualart Neus, Gómez-Bellver Carlos y López-Pujol Jordi

Stamps that «Slither»: Philately as a Tool for Linking Biogeography, Environmental Education, and Social Issues in the Americas 285
Azevedo Thiago Salomão de Guedes Thaís Barreto

Inicio de la caracterización del singular bosque de almeces (Celtis australis L.) de Alpuente (Valencia) 289
Laguna, Emilio, Guara, Miguel, Peña, Aurelio, Núñez, Antonio y Espinosa, Virginia

Prólogo

Josep Pintó Fusalba
Universitat de Girona

El XIV Congreso Español de Biogeografía, y IV Congreso Iberoamericano de Biogeografía, que se celebra en Barcelona del 8 al 10 de junio de 2026, vuelve a estar organizado por las Universidades de Barcelona y Girona, en concreto por las respectivas áreas de Geografía Física, tal y como sucedió en el I Congreso Español de Biogeografía celebrado en el Vall de Núria, los días 24-28 de septiembre del año 2000.

Este congreso, por tanto, cierra una etapa, un ciclo, y comienza también uno de nuevo, en el cual las investigaciones biogeográficas en las universidades españolas se han asentado y consolidado a lo largo de este cuarto de siglo, creemos que de forma definitiva. No siempre fue así, y conviene hacer un poco de historia, sintetizar brevemente de dónde venimos, para que las nuevas generaciones que se incorporan al quehacer biogeográfico conozcan su origen, su historia, porque, como dice Raimon, el cantautor de Xàtiva: «qui perd els orígens perd la identitat».

Podemos decir que todo empezó bajo el impulso de José Manuel Rubio Recio (1928-2017), catedrático de Geografía Física de la Universidad de Sevilla, cuando en 1991 reunió en esa ciudad a un grupo reducido de profesores de distintas universidades interesados por la Biogeografía, para establecer el que consideraron un programa ideal de conocimientos de la asignatura. En el otoño de ese mismo año hubo un encuentro en Catalunya, donde se visitaron el Montseny y distintos sectores de la Costa Brava (dunas continentales, marismas, etc.), guiados por Josep M. Panareda. El siguiente año, 1992, con el concurso de Jesús García Fernández (1927-2006), catedrático de Geografía de la Universidad de Valladolid, organizaron unas primeras Jornadas de Campo de Biogeografía en la localidad de Sedano (Burgos), con un formato de tres grupos de trabajo de unas diez personas, con dos coordinadores con experiencia de campo. Los coordinadores de los equipos fueron: Casildo Ferreras (1941-2024) y María Eugenia Arozena (Univ. de La Laguna); Guillermo Meaza (Univ. del País Vasco) y Josep M. Panareda (Univ. Barcelona), y Emma Pérez Chacón (Univ. de las Palmas) y Miguel Yetano (1945-2001) (Universidad de Zaragoza). Cada equipo abordó con la perspectiva que creyó más oportuna el análisis del paisaje vegetal de un espacio no muy extenso que cada grupo eligió. Estas reuniones de Sedano se realizaron consecutivamente durante tres años y, a partir de entonces, sin ninguna vinculación institucional, se continuaron organizando, bajo la iniciativa de alguno de los profesores participantes, hasta la actualidad, aunque desde hace unos años con la participación bianual de colegas latinoamericanos. La última de ellas se celebró el año 2025 en Costa Rica. Estas Jornadas de Campo de Biogeografía se realizaron anualmente desde su comienzo en 1992 y hasta el año 2005 (excepto en 1995), pasando entonces a realizarse bi-anualmente para no coincidir con los congresos de Biogeografía.

Las Jornadas de Campo de Biogeografía que se fueron celebrando a lo largo de la década de los años 90 del siglo pasado fueron el germen necesario para la celebración el año 2000 del I Congreso Español de Biogeografía, dirigido por Josep M. Panareda (Universitat de Barcelona) y Josep Pintó (Universitat de Girona), y celebrado en el Vall de Núria (Girona), que permitió dar un paso adelante en la consolidación de las investigaciones

biogeográficas. Desde entonces, los congresos de biogeografía se han venido realizando con una periodicidad bianual y, desde el año 2024, con la celebración del congreso en la ciudad de São Paulo, se inició la alternancia entre España y Latinoamérica en la organización de los congresos de biogeografía.

En el congreso de Almagro se aprobó la creación de la Sociedad Iberoamericana de Biogeografía (SIB), que en el Congreso de Barcelona renovará por primera vez a los miembros de su Junta Directiva. La creación de la SIB ha supuesto un paso más en la consolidación de la investigación y la difusión de la biogeografía en la sociedad. Seguro que no será el último.

Cronología de los Congresos de Biogeografía

Año	Lugar	Directores
2000	Vall de Núria (Girona)	Josep M. Panareda (UB) / Josep Pintó (UdG)
2002	La Gomera	María Eugenia Arozena (ULL)
2004	Urdaibai (*Bizkaia*)	Guillermo Meaza (UPV)
2006	Ávila	Casildo Ferreras, Manuela Redondo (UCM)
2008	Málaga	Raimundo Real (UMA)
2010	*Alacant*	Juan Antonio Marco, Ascensión Padilla (UA)
2012	Planes de Son (Lleida)	R. Conill, A. Pèlachs, R. Pérez Obiol, J. M. Soriano (UAB)
2014	Sevilla	Rafael Cámara, Beatriz García (US)
2016	Algeciras	José Gómez-Zotano (UGR)
2018	Almagro (Ciudad Real)	Rafael Ubaldo Gosálvez, Cristina Díaz (UCLM)
2020	Suspendido por el COVID	Virginia Carracedo, Juan Carlos García Codrón (UNICAN)
2022	Somiedo (Asturias)	Salvador Beato, M. Ángel Poblete, Carmen Rodríguez (UNIOVI)
2024	São Paulo	Suelí Angelo Furlan, Karine Vargas, Gustavo L. Schacht (USP)
2026	Barcelona	Montserrat Salvà (UB) / Carla Garcia-Lozano (UdG)

Conferencia inaugural

Biogeografía y conservación a pequeña escala: de los microhábitats a las microrreservas

Laguna Lumbreras, Emilio

Estació Científica Font Roja-Natura, Departament d'Ecologia - Universitat d'Alacant. Ctra Font Roja, s/n. 03800 Alcoi, Alacant
emilio.lagunaoutlook.es

Resumen. Los microhábitats, especialmente los instalados sobre suelos azonales o intrazonales, al igual que los microrrefugios biológicos, carecen a menudo de una respuesta adecuada en términos de conservación. Desde principios de la década de 1990, la Comunidad Valenciana (España) ha sido pionera a nivel mundial en el diseño, creación y funcionamiento de una red de microrreservas, aplicada a la flora silvestre, que actualmente cuenta con 312 espacios de pequeña dimensión (hasta 20 ha) estrictamente protegidos, y cuyo modelo ha sido exportado a diferentes comunidades autónomas españolas y a otros países europeos y del entorno mediterráneo. La red valenciana de microrreservas es un conjunto polivalente de terrenos dedicados no sólo a conservación de la flora rara, endémica o amenazada, sino a usos didácticos y científicos, y a la promoción del protagonismo de los propietarios privados y ayuntamientos que desean que sus terrenos se integren en dicha red, pasando a ser gestores del medio natural.

Palabras clave: Microhábitats, microrrefugios, microrreservas, conservación de flora, Comunidad Valenciana.

Resumo. Os microhabitats, especialmente os instalados em solos azonais ou intrazonais, bem como os micro-refúgios biológicos, muitas vezes carecem de uma resposta adequada em termos de conservação. Desde o início da década de 1990, a Comunidade Valenciana (Espanha) tem sido pioneira mundial no desenho, criação e operação de uma rede de micro-reservas, aplicadas à flora selvagem, que atualmente dispõem de 312 espaços de pequena escala (até 20 ha) estritamente protegidos, cujo modelo foi exportado para diferentes comunidades autónomas espanholas e para outros países europeus e para o ambiente mediterrânico. A rede valenciana de micro-reservas é um conjunto polivalente de terrenos dedicado não só à conservação de flora rara, endémica ou ameaçada, mas também a usos educativos e científicos, e a promoção da proeminência dos proprietários privados e municípios que desejam que as suas terras sejam integradas nesta rede, tornando-se gestores do ambiente natural.

Palavras-chave: Microhabitats, micro-refúgios, micro-reservas, conservação da flora, Comunidade Valenciana.

Abstract. Microhabitats, especially those installed on non-zonal or intra-zonal soils, as well as biological micro-refuges, often lack an adequate response in terms of conservation. Since the early 1990s, the Valencian Community (Spain) has been a pioneer worldwide in the design, creation and operation of a network of micro-reserves, applied to wild flora, which currently has 312 small-scale spaces (up to 20 ha) strictly protected, and whose model has been exported to different Spanish autonomous communities and to other European countries and the Mediterranean environment. The Valencian network of micro-reserves is a multipurpose set of land dedicated not only to the conservation of rare, endemic or threatened flora, but also to educational and scientific uses, and to promote the prominence of private owners and municipalities that wish their lands to be integrated into this network, becoming managers of the natural environment.

Keywords: Microhabitats, microrefuges, microreserves, plant Conservation, Valencian Community.

1 Introducción

Entre las reglas de distribución biológica que más tienden a cumplirse, pero que raramente ha sido analizada en profundidad, está la de que muchas de las especies que poseen mayor valor conservacionista, y particularmente las endémicas, suelen concentrarse en hábitats de pequeña dimensión, los llamados microhábitats. Esta regla fue bien demostrada, en el caso de la Comunidad Valenciana, a través del estudio de su flora vascular endémica (Laguna, 1994 y 1998), al observarse que en torno al 97% de las especies de este tipo preferían vivir en terrenos donde la evolución de la vegetación está condicionada por aspectos físicos o químicos de los sustratos. Se trata de los suelos o azonales e intrazonales, término cuyo significado y efecto sobre las comunidades biológicas forman parte de los fundamentos de la biogeografía y la geobotánica (v. Braun-Blanquet, 1979). Sus hábitats se caracterizan, entre otros factores adversos para la vida de la mayoría de especies, por la verticalidad, la movilidad del sustrato, la concentración de sales, el exceso de agua, el efecto permanente del viento, etc., que han actuado como filtros de la selección natural, favoreciendo a un número reducido de especies capaces de soportar sus efectos y dotándolos de adaptaciones peculiares, que, en último término, pueden haber determinado su diferenciación como nuevos táxones

endémicos. El resultado es que muchos tipos de vegetación, como los rupícolas, están a menudo dominados por especies endémicas o hiperestenoicas de flora y fauna de distribución territorial muy restringida (Laguna, 1994).

Un efecto similar ocurre con los refugios biológicos. El término se popularizó a partir del trabajo de Dahl (1946) para describir los enclaves que consiguieron eludir los efectos de las grandes glaciaciones, conservando especies que se extinguieron en el resto del territorio. En la actualidad su uso en la terminología científica se ha extendido, sobre todo en previsión de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (Keppel et al., 2012). También se aplica para definir pequeños enclaves que aún conservan especies y tipos de vegetación relícticos, que fueron abundantes en tiempos anteriores. A menudo, los refugios de menor dimensión coinciden con microhábitats selectos, como ocurre con los bosquetes mediterráneos de tejo (*Taxus baccata* L.), que raramente superan 1 ha de extensión (Serra & García-Martí, 2010).

A pesar de la extrema relevancia conservacionista que poseen los microhábitats y microrrefugios, las normativas para la creación y gestión de espacios naturales protegidos se han diseñado a menudo para conservar grandes extensiones de terreno, aptos para asegurar el hábitat vital de los grandes mamíferos y aves, o de las vegetaciones climácicas zonales. El resultado es que gran parte de las especies que requieren protección de sus hábitats, particularmente plantas endémicas, invertebrados y otros organismos pequeños y con escasa movilidad, han quedado fuera de los beneficios que proveen las redes de grandes espacios protegidos. De hecho, ya en la década de 1980 se movilizó una intensa discusión sobre el dilema de proteger pocos territorios de gran extensión o muchos pequeños (Järvinen, 1982), un debate que actualmente se considera superado por la necesidad de combinar ambos tipos de espacios (Donaldson et al., 2016).

En respuesta a esta necesidad de proteger zonas de reducida superficie, desde finales de la década de 1980 e inicios de la de 1990, la Comunidad Valenciana lideró una corriente que compensaba ese defecto, al formular la creación de una red de microrreservas de flora -en adelante, MRF-, posteriormente extendida en otros territorios al resto de elementos biológicos y geológicos bajo el nombre genérico de microrreservas (MR). La idea recogía la propuesta por el gran pionero de la conservación de flora en España, César Gómez Campo, que abogaba por la creación de "minirreservas" para pequeños sitios con concentración excepcional de flora endémica (Gómez-Campo, 1981). Los fundamentos de las MRF se extendieron a nivel divulgativo y científico en diversos trabajos a nivel nacional (Laguna, 1995) e internacional (Laguna, 2002; Laguna et al., 2004). En el presente trabajo se sintetizan datos sobre la metodología y se actualizan los resultados obtenidos.

2 Materiales y métodos

El método para la selección de sitios y el establecimiento de la red valenciana de MRF se ha detallado especialmente en diversos capítulos del libro de Kadis et al. (2012). Entre 1989 y 1991 se abordaron desde la Generalitat Valenciana estudios para seleccionar áreas óptimas que tuvieran una elevada concentración de plantas raras, endémicas o amenazadas -en adelante REA- (Laguna, 1994), aprobándose una nueva figura jurídica a través del Decreto 118/1994, la "microrreserva vegetal" (DOGV, 1994), cuyo nombre se sustituyó formalmente más adelante por "microrreserva de flora" (DOGV, 2009).

Una MRF puede definirse como una zona de pequeña dimensión -hasta 20 ha para el caso valenciano- que alberga una representación suficiente de flora REA, y donde quedan estrictamente protegidos tanto los organismos vegetales como el sustrato, si bien se permite el mantenimiento de los aprovechamientos tradicionales que sean convenientes para la conservación de especies relevantes de la zona protegida. Esta figura se planteó para su desarrollo en terrenos públicos gestionados por la administración autonómica -incluidos los de propiedad estatal-, pero ante el interés mostrado por propietarios de terrenos con mentalidad o intereses más conservacionistas, se extendió a terrenos privados y a los de titularidad municipal no catalogados de utilidad pública, que fueran propuestos por las personas o entidades propietarias.

Las MRF se declaran mediante Orden de la consejería con competencias ambientales de la Generalitat Valenciana, publicándose en el diario oficial autonómico tanto sus límites, valores a conservar y posibles limitaciones de uso, como un breve plan de gestión con directrices para asegurar su conservación. El desarrollo de este modelo protección se inició gracias al apoyo financiero del programa LIFE de la UE mediante un proyecto desarrollado entre 1993 y 1998, y complementado otros adicionales hasta 2006. La gestión de las MRF se dirige por el Servicio de Vida Silvestre y Red Natura 2000 -en adelante, SVS-.

3 Resultados y discusión

Las primeras MRF de la Comunidad Valenciana -en adelante CV- fueron declaradas a finales de 1998. Desde entonces se han sucedido 27 órdenes por la que se han declarado 312 MRF, que ocupan 2.468 ha, dispersas entre 149 términos municipales (Fos & Laguna, 2021). La fig. 1 indica la evolución de la red en número de MRF y superficies acumuladas hasta 2023, momento a partir del cual está estabilizado provisionalmente su contenido. Información detallada de todas las MRF, con fichas explicativas de su localización, contenido y principales actuaciones realizadas, está actualmente disponible en: https://mediambient.gva.es/es/web/biodiversidad/microrreservas-de-flora.

La distribución de los terrenos declarados MRF a lo largo de la CV se expresa en la fig. nº 2. Casi la mitad de las MRF alcanza como máximo 5 ha de superficie, y en torno a 1/3 del total no supera las 2 ha. La microrreserva más pequeña posee solo 0,04 ha (Les Rotes-A, Dénia, Alicante). En el extremo opuesto se sitúan varias MRF con el máximo de superficie, 20 ha. De las 312 MRF, la Generalitat gestiona total o parcialmente 239 (76,6%). El resto, casi una cuarta

parte, corresponde al modelo municipal (42 MRF) y privado (31 MRF), gestionado por las personas jurídicas o físicas propietarias del terreno.

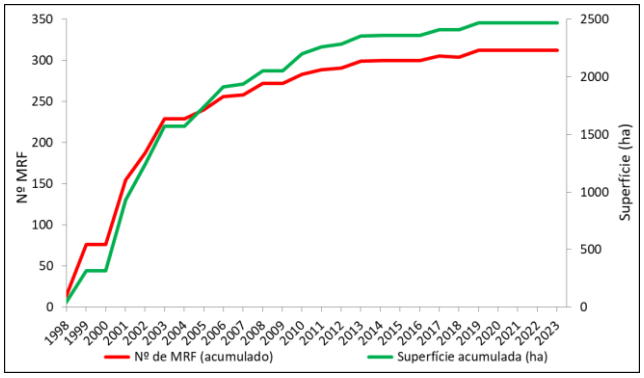


Fig. 1. Evolución interanual del número y superficies acumuladas de MRF en la Comunidad Valenciana. Fuente: SVS, con permiso de reproducción.

La distribución de los terrenos declarados MRF a lo largo de la CV se expresa en la fig. nº 2. Casi la mitad de las MRF alcanza como máximo 5 ha de superficie, y en torno a 1/3 del total no supera las 2 ha. La microrreserva más pequeña posee solo 0,04 ha (Les Rotes-A, Dénia, Alicante). En el extremo opuesto se sitúan varias MRF con el máximo de superficie, 20 ha. De las 312 MRF, la Generalitat gestiona total o parcialmente 239 (76,6%). El resto, casi una cuarta parte, corresponde al modelo municipal (42 MRF) y privado (31 MRF), gestionado por las personas jurídicas o físicas propietarias del terreno.

De acuerdo con los datos facilitados desde el SVS, aunque las 2.468 ha de la red de MRF solo representan el 0,1% del territorio valenciano (2.325 km^2), estos terrenos protegidos albergan al menos 29.083 poblaciones de 2.051 especies de plantas vasculares (58.1% de total de la CV), de las que 1.865 serían autóctonas (69,2% del total). Considerando como referencia unificadora para la flora endémica y rara de la CV el trabajo de Mateo & Crespo (2014), el 83,5% de las 399 especies endémicas españolas presentes en la Comunidad Valenciana, tiene al menos una población en la red de MRF, ascendiendo este valor al 100% para el caso de los 70 endemismos exclusivos valencianos. Para la flora rara o muy rara (1.560 especies), el 56,3% (878 especies) tiene representación en la red. Teniendo como referencia para la flora amenazada la lista de la Orden 2/2022 (DOGV, 2022), para las especies amenazadas oficialmente protegidas (415 especies) la representación es del 61,7%. Todos estos datos implican además un alto grado de complementariedad para suplir los vacíos de protección que posee la red valenciana de parques naturales (Fos et al., 2014 y 2017; Laguna et al., 2016).

Entre otros muchos ejemplos, la red valenciana de MRF conserva la única población nativa mundial de *Limonium perplexum*, todas las poblaciones ibéricas no baleáricas de endemismos españoles como *Silene hifacensis*, *S. cambessedesii* o *Medicago citrina*, y la mayoría de los efectivos y/o las poblaciones más relevantes de otros endemismos exclusivos valencianos amenazados como *Limonium dufourii*, *L. mansanetianum*, *Silene diclinis*, etc. Todas las especies valencianas terrestres del Catálogo Español de Especies Amenazadas y del Listado de Especies en Régimen de Protección Especial poseen representación en la red de MRF. La red ha albergado además numerosas experiencias de translocaciones de conservación para la mayoría de las especies más amenazadas de la CV (Kadis et al., 2013; Fos & Laguna, 2021), y facilita el desarrollo de actividades ecoeducativas y de concienciación social y participación (Kadis et al., 2013).



Fig. 2. Distribución espacial de la red valenciana de MRF. Fuente: SVS, con permiso de reproducción.

El proyecto valenciano de MRF ha obtenido un notable reconocimiento nacional e internacional en el ámbito conservacionista (Moreno et al., 2003; Silva et al., 2008) y ha inspirado la propuesta de creación de redes de MRF mediante proyectos LIFE de la UE en Menorca, al área del Karst de Eslovenia, Creta, Bulgaria y Chipre (Kadis et al., 2013). Su modelo se ha propuesto además para otros muchos grupos biológicos (v. García-Gómez et al., 2011). La proyección externa de esta figura de conservación ha generado una importante demanda de información nacional e internacional y ha motivado la aprobación de figuras legales de protección, como MRF en Castilla y León en 2007, y, extendiéndose a otros elementos naturales (fauna, flora y hábitats), como MR, en normas de rango superior de protección de la naturaleza en Castilla-La Mancha desde 1999, Islas Baleares en 2005, Castilla y León en 2015, y Aragón en 2022. A nivel internacional, con rango de ley, las MR están establecidas en Lituania desde el año 2000 y como MRF en Chipre desde 2012. Los proyectos citados de Creta

y Chipre albergaron respectivamente sendos congresos internacionales de expertos microrreservas, en 2005 y 2011.

4 Conclusiones

La importancia de los microhábitats y microrrefugios biológicos no han tenido hasta el momento un adecuado reflejo en las políticas de conservación. La experiencia de su protección a pequeña escala a través de la red valenciana de MRF ha resultado especialmente exitosa y se viene exportando como ejemplo a seguir en otras regiones y países, aplicándose también otros grupos biológicos.

5 Referencias

Braun-Blanquet, J. (1979): *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Editorial Blume

Dahl, E. (1946) On different types of unglaciated areas during the ice ages and their significance to phytogeography. *New Phytologist*, 45, 225–242. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1946.tb05058.x

DOGV (1994). Decreto 218/1994, de 17 de octubre, del Gobierno Valenciano, por el que se crea la figura de protección de especies silvestres denominada microrreserva vegetal. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* núm. 2.379, 12.948-12.951.

DOGV (2009). Decreto 70/2009, de 22 de mayo, del Consell, por el que se crea y regula el Catálogo Valenciano de Especies de Flora Amenazadas y se regulan medidas adicionales de conservación. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* 6.021, 20.143-20.162.

DOGV (2022). Orden 2/2022, de 16 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, por la que se actualizan los listados valencianos de especies protegidas de flora y fauna. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana* 9.285, 12.677-12.687.

Donaldson, L., Wilson, R.J. & Maclean, I.D. (2016). Old concepts, new challenges: adapting landscape-scalle conservation to the twenty-first century. *Biodiversity and Conservation,* 26(3), 527-522. https://doi.org/10.1007/s10531-016-1257-9

Fos, S. & Laguna, E. (2021). La red de microrreservas de flora. Génesis y expansión de una estrategia pionera de conservación. *Mètode,* 108, 21-27.

Fos, S., Laguna, E., & Jiménez, J. (2014). Plant micro-reserves in the Valencian Region (E of Spain): Are we achieving the expected results? Passive conservation of relevant plant species. *Flora Mediterranea, 24*, 153–162. https://doi.org/10.7320/FlMedit24.153

Fos, S., Laguna, E., Jiménez, J., & Gómez-Serrano, M. A. (2017). Plant micro-reserves in Valencia (E. Spain): A model to preserve threatened flora in China? *Plant Diversity,* 39(6), 383–389. https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.10.002

García-Gómez, J. C., López-Fé, C. M., Espinosa, F., Guerra-García, J. M., & Rivera-Ingraham, G. A. (2011). Marine artificial micro-reserves: A possibility for the conservation of endangered species living on artificial substrata. *Marine Ecology*, *32*(1), 6–14. https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2010.00409.x

Gómez-Campo, C. (1981). Conservación de recursos genéticos. En Ramos, J.L. (ed.): *Tratado del Medio Natural*, vol. 2, 97-124. Universidad Politécnica de Madrid.

Järvinen, O. (1982). Conservation of endangered plant populations: single large reserves or several small reserves? *Oikos,* 38, 301-207. https://doi.org/ 10.2307/3544669

Kadis, C., Thanos, C. & Laguna, E. (2013). *Plant micro-reserves: From theory to practice. Experiences gained from EU LIFE and other related projects*. PlantNet CY Project Beneficiaries, Utopia Publishing.

Keppel, G., Van Niel, K.P., Wardell-Johnson, G.W., Yates, C.J., Byrne, M., Mucina, L., Schut, A.G.T., Hopper, S.D. & Franklin, S.E. (2012). Refugia: identifying and understanding safe havens for biodiversity under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 393-404. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00686.x

Laguna, E. (coord). (1994). *Libro de la flora vascular rara, endémica o amenazada de la Comunidad Valenciana*. Consellería de Medio Ambiente. Generalitat Valenciana.

Laguna, E. (1995). Microrreservas de flora: un nuevo modelo de conservación en la Comunidad Valenciana. *Quercus* 118, 22-26.

Laguna, E. (2001). *The micro-reserves as a tool for conservation of threatened plants in Europe*. Nature & Environment series nº 121. Council of Europe.

Laguna, E., Deltoro, V.I., Pérez-Botella, J., Pérez-Rovira, P., Serra, L., Olivares, A. & Fabregat, C. (2004). The role of small reserves in plant conservation in a region of high diversity in eastern Spain. *Biological Conservation,* 119, 421-426. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.01.001

Laguna, E., Fos, S., Jiménez, J., & Volis, S. (2016). Role of micro-reserves in conservation of endemic, rare and endangered plants of the Valencian region (Eastern Spain). *Isr. J. Plant S., 63*(4), 320–332. https://doi.org/10.1080/07929978.2016.1256131

Mateo, G. & Crespo, M.B. (2014). *Claves ilustradas para la flora valenciana*. Jolube.

Moreno, J. C., Domínguez Lozano, F., & Sainz Ollero, H. (2003). Recent progress in conservation of threatened Spanish vascular flora: A critical review. *Biological Conservation*, *113(3)*, 419–443. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00128-9

Serra, L. & García-Martí, X. (2010). Distribución del tejo (Taxus baccata) en España. *Anals de la Delegació de La Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural,* 4, 11-34.

Silva, J., Toland, J., Jones, W. Elridge, J., Thorpe, E., Campbell, M. & O'Hara, E. 2008. *LIFE and endangered plants. Conserving Europe's threatened flora*. Directorate-General for Environment, European Commission.

6 Agradecimientos

Al Servicio de Vida Silvestre y Red Natura 2000 de la Generalitat Valenciana, por facilitar datos necesarios para complementar esta comunicación.

EJE 1: Biogeografía y conservación

Consideraciones biogeográficas y de conectividad estructural para monitorear corredores biológicos en Mesoamérica

Morera, Carlos.[1] y Sandoval, Luis F.[1]

[1] Programa de Paisaje y Territorio, Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
cmorera@una.cr

Resumen. El estudio analiza dos corredores biológicos en Mesoamérica —el Corredor Biológico Quezaltenango (Guatemala) y el Bosque de las Madres (Costa Rica)— mediante métricas de paisaje y una adaptación al enfoque de redes ecológicas. Los resultados muestran que el CBQ mantiene alta conectividad y funciona como núcleo de conservación, mientras que el CBMB presenta una ligera degradación estructural asociada a la expansión agrícola. Se concluye que los corredores biológicos son esenciales para mitigar los efectos del cambio climático y que la gestión adaptativa y el monitoreo permanente son claves para mantener su funcionalidad ecológica.

Palabras clave: Áreas protegidas, corredores biológicos, conectividad estructural, índices de conectividad

Resumo. Este estudo analisa dois corredores biológicos na Mesoamérica —o Corredor Biológico Quezantenango (Guatemala) e o Bosque das Madres (Costa Rica)— utilizando métricas de paisagem e redes ecológicas. Os resultados indicam que o CBQ mantém alta conectividade e funciona como núcleo de conservação, enquanto o CBMB apresenta leve degradação estrutural associada à expansão agrícola. Conclui-se que os corredores biológicos são fundamentais para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e que a gestão adaptativa e o monitoramento contínuo são essenciais para preservar sua funcionalidade ecológica.

Palavras-chave: Àreas protegidas, corredor biológico, conectividade estrutural, índice de conectividade.

Abstract. This study analyzes two biological corridors in Mesoamerica —the Biological Corridor Quezaltenango (Guatemala) and the Bosque de las Madres (Costa Rica)— using landscape metrics and adapted ecological network approaches. Results indicate that CBQ maintains high connectivity and functions as a conservation core, while CBMB shows slight structural degradation linked to agricultural expansion. Findings highlight the essential role of biological corridors in mitigating climate change impacts and emphasize adaptive management and continuous monitoring as key strategies to preserve ecological functionality.

Key words: Protected areas, biological corredor, structural conectivity , conectivity index.

1 Introducción

El cambio climático está alterando de manera acelerada los ciclos biogeoquímicos, modificando la dinámica de nutrientes, los patrones de precipitación y la estabilidad de los ecosistemas. Estas transformaciones intensifican la ocurrencia de eventos extremos, la pérdida de hábitats y la disminución de la resiliencia de las poblaciones silvestres. Una consecuencia crítica es la ruptura de la conectividad ecológica, proceso esencial para la dispersión de especies, el flujo genético y la persistencia de metapoblaciones —conjuntos de poblaciones de una misma especie distribuidas en parches interconectados— en paisajes fragmentados (Wudu et al., 2023).

Los corredores biológicos se han consolidado como una estrategia clave para mitigar estos impactos, al mantener la conectividad estructural y funcional entre áreas protegidas y remanentes naturales (Morera, 2026). La evidencia científica demuestra que fortalecen la salud genética y la capacidad adaptativa frente al cambio climático, aunque su eficacia depende de diseños fundamentados en criterios biofísicos y de sistemas de monitoreo robustos (Hilty et al., 2019).

Este estudio compara dos casos en Mesoamérica: el Corredor Biológico Quezaltenango (CBRQ), en Guatemala, y el Corredor Bosque de las Madres (CBMB), en Costa Rica. Se emplea una metodología de redes ecológicas adaptada al potencial de conectividad de las coberturas (Sandoval & Murillo, 2025), junto con métricas de paisaje, con el fin de evaluar y proponer procesos de conectividad estructural.

2 Métodos

Se seleccionaron dos corredores biológicos como casos de estudio para el análisis comparativo. El primero corresponde al Corredor Bosque de las Madres (CBMB), localizado en el litoral Caribe de Costa Rica, con una extensión aproximada de 1,800 ha. Este corredor se encuentra oficialmente establecido y presenta una conectividad altitudinal

que se extiende desde los 820 m s. n. m. hasta la costa, a lo largo de 23 km. La cobertura forestal de las zonas altas y costeras cumple una función clave en la regulación hídrica y en la reducción de inundaciones recurrentes en el área. El segundo caso corresponde al Corredor Biológico Quezaltenango (CBQ), en Guatemala, con una superficie de 9,638 ha, situado en la Sierra Madre. Este corredor constituye una propuesta de conectividad ecológica entre la Laguna de Chicabal, Loma Linda y el Volcán Cerro Quemado, y se plantea como un espacio destinado a la realización de estudios técnicos orientados a la conservación y al manejo del paisaje.

Para el levantamiento de información sobre uso de la tierra en el CBMB se emplearon insumos del Programa de Regularización del Catastro y Registro, a escala 1:5000, correspondientes a los años 2005 y 2017, actualizados mediante trabajo de campo realizado en junio–julio de 2025. En el caso del CBQ se utilizaron datos del Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT) (Instituto Geográfico Nacional de Guatemala, s.f.), correspondientes a las series temporales 2003–2010 y 2020.

En ambos corredores se aplicó la metodología de redes ecológicas (Morera, Pintó y Romero, 2007), ajustada posteriormente por Sandoval y Murillo (2025). La clasificación se realizó de acuerdo con la Tabla 1. Para cada corredor biológico se calcularon índices de paisaje, incluyendo el tamaño de superficie total y el área correspondiente a cada categoría de uso de suelo.

Tabla 1. Desglose de categorías de uso de la tierra según red ecológica ajustada a la capacidad de conectividad para cada caso de estudio

Caso de estudio	Categorías de coberturas de uso de la tierra para establecimiento de potencial de conectividad	
Madre de los Bosques	Conectividad Alta	Bosque, humedal con vegetación, palmera de yolillo, vegetación costera y cuerpo de agua.
	Conectividad Media	Cultivo permanente, cultivos temporales, pasto con árboles y pasto.
	Conectividad Baja	Infraestructura y ocupaciones residenciales.
Quezaltenango	Conectividad Alta	Bosque de coníferas, bosque latifoliado bosque mixto, lago, río, plantación de conífera, aguacate.
	Conectividad Media	Café, café y macadamia, granos básicos, huerto, macadamia, hortalizas, pasto natural, vegetación arbustiva baja.
	Conectividad Baja	Beneficios, cementerio, escombreras, vertederos o rellenos sanitarios y plantas de tratamiento, hidroeléctrica, instalación deportiva y recreativa, lotificaciones, rocos o lavas, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, canteras.

3 Resultados

Las Fig. 1 a 5 presentan los mapas de coberturas de uso de la tierra elaborados para los dos casos de estudio: el CBQ (Guatemala) y CBMB (Costa Rica). Estos mapas visualizan la distribución espacial de las principales categorías de cobertura, así como los cambios en la configuración del paisaje a lo largo de los periodos analizados.

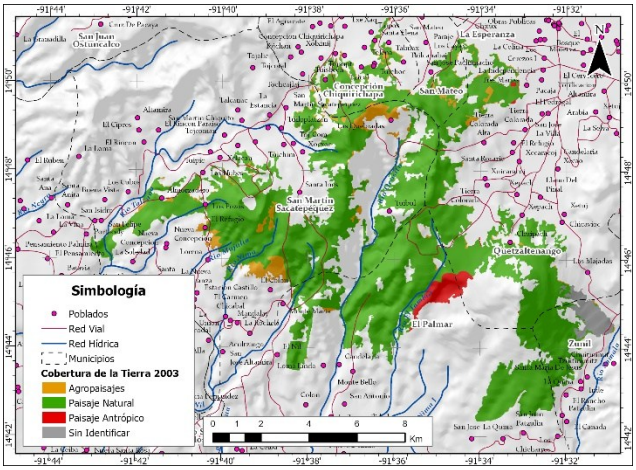


Fig. 1. Mapa de Corredor Biológico Quezaltenango, Guatemala. 2003

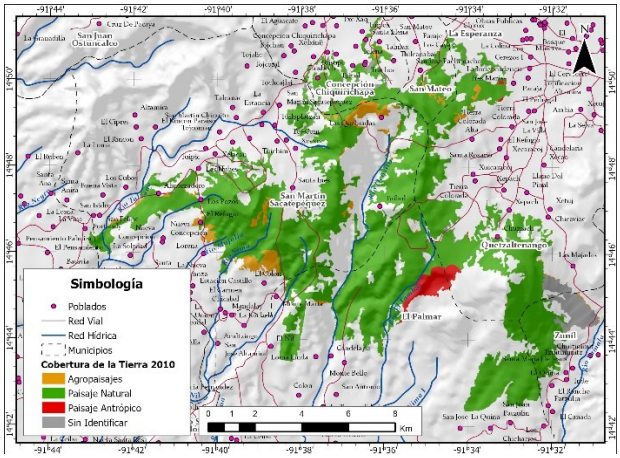


Fig 2. Mapa de Corredor Biológico Quezaltenango, Guatemala. 2010

En el Corredor Bosque de las Madres (CBMB) se observa una tendencia hacia la reducción de las áreas con alta conectividad, mientras que las categorías de conectividad media y baja muestran un incremento progresivo. En contraste, el Corredor Biológico Quezaltenango (CBQ) evidencias dinámicas opuestas, con una leve tendencia al aumento de la conectividad alta. Cabe señalar que en el CBQ se identificó una categoría de áreas sin clasificar, correspondientes a sectores que no fueron categorizados en la información utilizada para los años 2003 y 2010, lo que refleja limitaciones en la disponibilidad y homogeneidad de los datos de base.

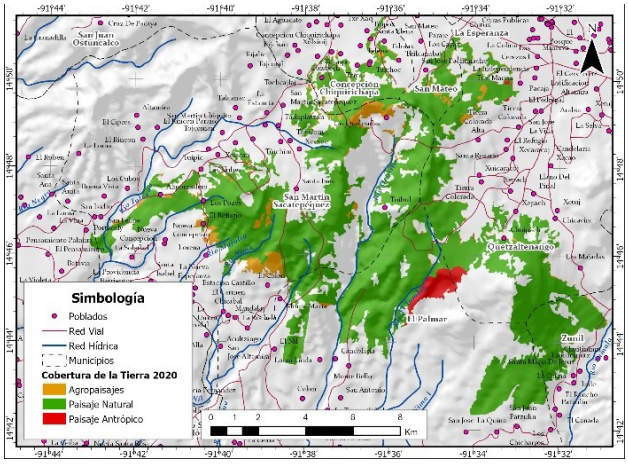


Fig. 3. Mapa de Corredor Biológico Quezaltenango, Guatemala. 2020

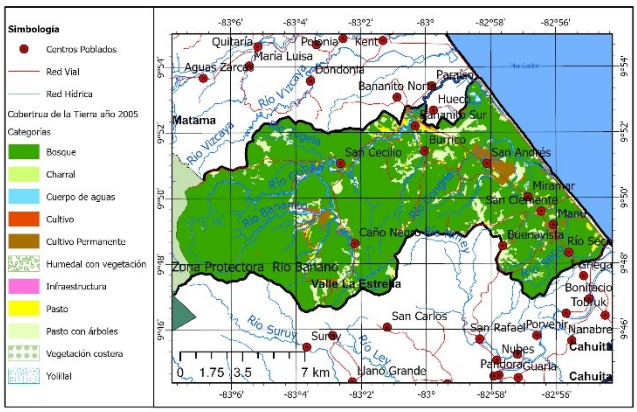


Fig. 4. Mapa de Corredor Biológico Bosque de las Madres, Costa Rica. 2005

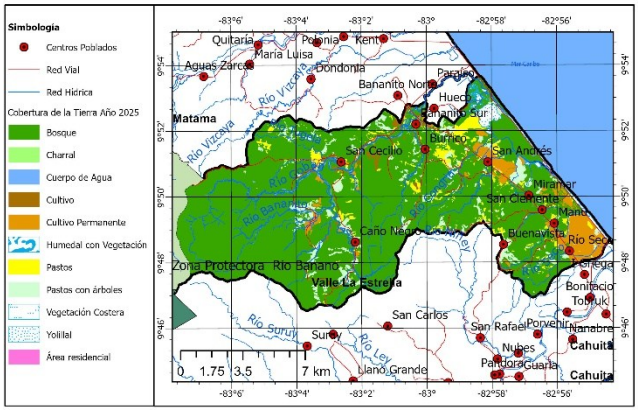


Fig. 5. Mapa de Corredor Biológico Madre de los Bosques, Costa Rica. 2025

4 Discusión

Los análisis de usos de la tierra realizados para distintos años muestran que CBQ, y clasificados bajo el enfoque de redes ecológicas (Potencial de conectividad), se perfila como un núcleo de conservación. El predominio de paisaje natural (alta conectividad) y su mayor extensión territorial favorecen la conectividad estructural y potencian la persistencia de procesos ecológicos esenciales. Este patrón coincide con la teoría de la biogeografía de islas, que establece que la extensión y aislamiento de los hábitats determinan la viabilidad de especies y metapoblaciones (MacArthur & Wilson, 2001).

En el caso del CBMB**,** el análisis temporal evidencia una ligera degradación de la conectividad estructural**:** disminución de áreas altamente conectadas y aumento de zonas con conectividad media y baja. Este patrón refleja procesos de fragmentación progresiva asociados a la expansión agrícola**,** en línea con lo descrito por Fahrig (2003, 2017), quien señala que la fragmentación afecta la viabilidad poblacional más allá de la pérdida de hábitat. El incremento de áreas con conectividad media representa una oportunidad estratégica para acciones de restauración y manejo adaptativo, ya que aún conservan cierta continuidad ecológica. Sin embargo, la reducción de conectividad alta, aunque moderada, alerta sobre la necesidad de fortalecer la gestión y monitoreo adaptativo para evitar que estas áreas caigan en estados de baja conectividad.

La perspectiva biogeográfica también resalta la importancia de considerar la escala espacial y temporal en el análisis de corredores. Los cambios identificados en CBQ y CBMB reflejan dinámicas de colonización, extinción y recolonización que son centrales en la teoría de metapoblaciones (Hanski, 1999). Además, la integración de métricas de paisaje y redes ecológicas permite identificar áreas críticas para la conectividad, funcionando como herramientas para proyectar escenarios futuros de conservación (Urban & Keitt, 2001; Saura & Pascual-Hortal, 2007), especialmente considerando la necesidad de plantear estrategias de desarrollo local que favorezcan la conservación ecológica planteada como parte de la identidad cultural de los pueblos campesinos, indígenas y afrodescendientes de la región

5 Conclusiones

La aplicación de métricas de paisaje y enfoques de redes ecológicas ajustados a la conectividad de los usos de la tierra confirma su utilidad para evaluar la conectividad estructural y orientar la gestión de corredores biológicos en Mesoamérica. Los resultados obtenidos muestran que el CBQ se perfila como un núcleo de conservación con predominio de paisaje natural en una alta extensión territorial, lo que favorece la persistencia de procesos ecológicos y la conectividad estructural.

El caso de CBMB evidencia una ligera degradación de la conectividad estructural, con disminución de áreas altamente conectadas y aumento de zonas con conectividad media y baja. Este patrón refleja procesos de fragmentación progresiva asociados a la expansión agrícola, y alerta sobre la necesidad de fortalecer acciones de gestión y monitoreo adaptativo para evitar que estas áreas caigan en estados de baja conectividad. Al mismo tiempo, el incremento de áreas con conectividad media representa una oportunidad estratégica para implementar programas de restauración y manejo adaptativo que refuercen la funcionalidad ecológica.

En términos metodológicos, el uso de enfoques de redes ecológicas ajustados al potencial de conectividad de usos de los usos de la tierra demuestran ser herramientas robustas para identificar áreas críticas y orientar la planificación territorial, especialmente aplicadas para diferentes periodos Estos enfoques permiten no solo evaluar la situación actual, sino también proyectar escenarios futuros de conectividad bajo diferentes presiones antrópicas y climáticas. Finalmente, los hallazgos subrayan que los corredores biológicos son esenciales para mitigar los efectos del cambio climático, mantener servicios ecosistémicos y reducir el riesgo de extinción local. La evidencia científica respalda la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas de conservación y restauración, capaces de responder a la presión agrícola y a los procesos de fragmentación progresiva, especialmente recuperando actividad culturales que potencian esta acciones. En consecuencia, se recomienda fortalecer la gestión adaptativa, consolidar corredores con mayor naturalidad y establecer sistemas de monitoreo permanente que garanticen la funcionalidad ecológica de los corredores biológicos.

6 Referencias

Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 34*(1), 487–515. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419

Fahrig, L. (2017). Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 48*, 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612

Hanski, I. (1999). *Metapopulation ecology*. Oxford University Press

Hilty, J. A., Keeley, A. T., Merenlender, A. M., & Lidicker, W. Z. (2019). *Corridor ecology: Linking landscapes for biodiversity conservation and climate adaptation* (2nd ed.). Island Press.

Instituto Geográfico Nacional de Guatemala. (s.f.). *Sistema Nacional de Información Territorial (SINIT)*. Gobierno de Guatemala. Recuperado de https://www.sinit.gob.gt

Justeau-Allaire, D., Saura, S., & Clauzel, C. (2024). Advances in connectivity metrics for conservation planning. *Landscape Ecology, 39*(2), 345–360. https://doi.org/10.1007/s10980-023-01567-9

MacArthur, R. H., & Wilson, E. O. (2001). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press. (Original work published 1967).

Morera, C. (2026) *Aportes a la gestión de los corredores biológicos en Costa Rica.* EUNA.

Morera, C., Pintó, J., & Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. En: *Corredores biológicos: acercamiento conceptual y experiencia en América* (pp. 11–47).

Sandoval, L. F., & Morera, C. (2025). Corredores biológicos en Costa Rica: metodología para el monitoreo de la estructura del paisaje y su conectividad. *Revista Geográfica de América Central*, (75), 123-150.

Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning, 83*(2–3), 91–103. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.03.005

Urban, D., & Keitt, T. (2001). Landscape connectivity: A graph-theoretic perspective. *Ecology, 82*(5), 1205–1218. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[1205:LCAGTP]2.0.CO;2

Wudu, K., Abegaz, A., Ayele, L., & Ybabe, M. (2023). The impacts of climate change on biodiversity loss and its remedial measures using nature-based conservation approach: A global perspective. *Biodiversity and Conservation, 32*(12), 3681–3701. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02789-5 (doi.org in Bing)

Caracterización y valoración biogeográfica de las turberas con abedul de Baigura (Navarra). Evaluación a partir de la metodología Lanbioeva

Díaz-Sanz, María Cristina[1], Lozano -Valencia, Pedro José[2], Monreal Mazquiaran, Joseba[3] y Meaza Rodríguez, Guillermo[2]

[1] Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid, Campus de Cantoblanco, Calle francisco Tomás y Valiente, Nº 1. 28049 Madrid, España.

[2] Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Euskal Herriko Unibertsitatea, Calle francisco Tomás y Valiente, sn, 01006, Vitoria-Gasteiz, España

[3] Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Universidad de La Laguna, Avenida astrofísico Francisco Sánches sn, 38200, San Cristobal de La Laguna, Tenerife, España

cristina.diazs@uam.es

Resumen. Los servicios ecosistémicos (SE) se configuran como esenciales ante un paradigma de cambio climático. Teniendo en cuenta esta realidad la infraestructura verde (IV), sea cual sea su tipología, ha de ser tenida en cuenta en todos los procesos de protección, ordenación y gestión territorial. Las turberas pasan por ser uno de los ecosistemas que mayor capacidad de fijación de gases de efecto invernadero muestran. Sin embargo, cuentan con otro tipo de servicios que no suelen ser tenidos en cuenta. El objetivo de la presente comunicación pasa por evaluar de forma integral todo estos SE. Para ello se pone en marcha una metodología de muestreo de 10 parcelas de 20x20 m elegidas a través de un proceso aleatorio y estratificado por parte de QSIG. Una vez tenidas las coordenadas de cada una de estas parcelas se hace trabajo de campo registrando para cada parcela todos los taxones, sus respectivas coberturas y una amplia cantidad de datos fitocenóticos, territoriales, mesológicos, estructurales, patrimoniales, culturales e incluso el grado de amenaza que pesa sobre este ecosistema. Los resultados hablan de valores notables para determinados SE cómo los fitocenóticos, ecológicos e incluso los patrimoniales. En cuanto a aquellos de carácter territorial como el grado de endemismo, relictismo, finícola e incluso la existencia de taxones raros o amenazados, estos más bien muestran valores medios a bajos. El interés de conservación es notable, debido fundamentalmente a los altos índices antes apuntados. Por su parte, su aislamiento y cierto grado de protección hace que el conjunto de amenazas antrópicas sea bajo, por lo que la prioridad de conservación no es excesivamente elevada. Por último, sí muestran un cierto grado de originalidad que debería tenerse en cuenta por parte de los gestores ambientales y territoriales: en estas turberas es conspicua la presencia de abedules, cuestión nada frecuente a escala ibérica.

Palabras clave: Turberas, abedules, interés de conservación, prioridad de conservación, Monte Baigura.

Resumo. Os serviços ecossistémicos (SE) são essenciais no atual contexto de mudanças climáticas. Considerando esta realidade, a infraestrutura verde (IV), independentemente da sua tipologia, deve ser integrada em todos os processos de proteção, ordenamento e gestão territorial. As turfeiras constituem um dos ecossistemas com maior capacidade de sequestro de gases com efeito de estufa. No entanto, oferecem também outros serviços que frequentemente não são considerados. O objetivo desta comunicação é avaliar de forma integrada todos estes SE. Para tal, foi implementada uma metodologia de amostragem baseada em 10 parcelas de 20 × 20 m, selecionadas através de um processo aleatório e estratificado realizado com recurso ao QSIG. Após a obtenção das coordenadas de cada parcela, foi efetuado trabalho de campo para registar todos os táxones presentes, as respetivas coberturas e um amplo conjunto de dados fitocenóticos, territoriais, mesológicos, estruturais, patrimoniais, culturais e relacionados com o grau de ameaça que incide sobre este ecossistema. Os resultados revelam valores elevados para determinados SE, nomeadamente os de natureza fitocenótica, ecológica e patrimonial. Em contrapartida, os indicadores territoriais, como o grau de endemismo, relictuaridade, marginalidade de distribuição, bem como a presença de táxones raros ou ameaçados, apresentam valores médios a baixos. O interesse para a conservação é elevado, sobretudo devido aos índices anteriormente referidos. Por sua vez, o isolamento e o certo grau de proteção destas áreas fazem com que as ameaças antrópicas sejam reduzidas, pelo que a prioridade de conservação não se apresenta excessivamente elevada. Finalmente, estas turfeiras evidenciam um certo grau de originalidade que deveria ser considerado pelos gestores ambientais e territoriais: destaca-se a presença de bétulas, uma característica pouco frequente à escala da Península Ibérica.

Palavras-chave: Turfeiras, bétulas, interesse de conservação, prioridade de conservação, Monte Baigura.

Abstract. Ecosystem services (ES) are essential in the context of climate change. Given this reality, green infrastructure (GI), regardless of its typology, should be considered in all processes of territorial protection, planning, and management.

Peatlands are among the ecosystems with the highest capacity for greenhouse gas sequestration. However, they also provide other services that are often overlooked. The aim of this contribution is to carry out an integrated assessment of all these ES. To achieve this, a sampling methodology was implemented based on 10 plots measuring 20 × 20 m, selected through a random and stratified process using QGIS. Once the coordinates of each plot were obtained, fieldwork was conducted to record all taxa present, their respective cover values, and a wide range of phytocoenotic, territorial, mesological, structural, heritage, cultural, and threat-related variables affecting this ecosystem. The results indicate high values for several ES, particularly those related to phytocoenotic, ecological, and heritage attributes. In contrast, territorial indicators such as endemism, relict character, distributional marginality, and the presence of rare or threatened taxa generally show medium to low values. Conservation interest is high, mainly due to the elevated indices mentioned above. At the same time, the isolation and relative protection of these peatlands result in low levels of anthropogenic pressure, meaning that conservation priority is not exceptionally high. Finally, these peatlands exhibit a degree of originality that should be taken into account by environmental and territorial managers: the conspicuous presence of birch trees, a feature that is uncommon at the scale of the Iberian Peninsula.

Keywords: Peatlands, birch trees, conservation value, conservation priority, Monte Baigura.

1 Introducción

Las turberas se definen como paisajes biogeográficos palustres donde la deficiencia de drenaje mantiene el suelo saturado, permitiendo el desarrollo de briófitos del género Sphagnum. En el hemisferio norte, estas formaciones prosperan cuando el crecimiento vegetal supera la descomposición, proceso favorecido por climas fríos, húmedos y condiciones oligotróficas (Blackford, 2000). En el contexto actual, se consideran infraestructuras verdes críticas por su alta capacidad de fijación de gases de efecto invernadero.

El sistema del monte Baigura presenta un origen mixto, combinando características minerotróficas con elementos ombrotróficos localizados en sus esfagnales periféricos (Peralta et al., 2018; 2020). Esta dualidad funcional es inusual en Navarra y sustenta comunidades vegetales especializadas. La persistencia de estos ecosistemas ha sido posible gracias a la combinación de suelos ácidos, saturación hídrica y una modesta perturbación antrópica (Báscones et al., 1984) (Fig. 1).

El objetivo principal de este trabajo radica en establecer un diagnóstico de la formación de turbera con abedules, sirviéndose del enfoque interdisciplinar que nos proporciona la biogeografía y ampliando conocimientos acerca de este hábitat de interés comunitario poco estudiado a nivel Ibérico. De esta manera, se plantea un análisis integral mediante la utilización de la metodología LANBIOEVA.

2 Métodos o materiales y métodos.

La delimitación cartográfica se realizó mediante la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA) y el Mapa Forestal de España. Se seleccionaron 10 parcelas de 20x20 m mediante un proceso aleatorio estratificado para obtener un "sininventario" representativo de la formación.

La valoración biogeográfica empleó la metodología LANBIOEVA (Lozano-Valencia et al., 2022), que analiza dos indicadores clave:

- Interés de Conservación (INCON): Integra el Interés Natural (INNAT) —criterios fitocenóticos, territoriales, mesológicos y estructurales— y el Interés Cultural (INCUL) —valores patrimoniales y etnobotánicos—.
- Prioridad de Conservación (PRICON): Relaciona el INCON con el Factor de Amenaza (AM), el cual pondera la presión demográfica, la accesibilidad y amenazas como el sobrepastoreo o la desecación.

Para la identificación taxonómica y filiación corológica, se utilizó como referencia principal las *Claves Ilustradas de la Flora del País Vasco y Territorios Limítrofes* (Aizpuru et al., 1999).

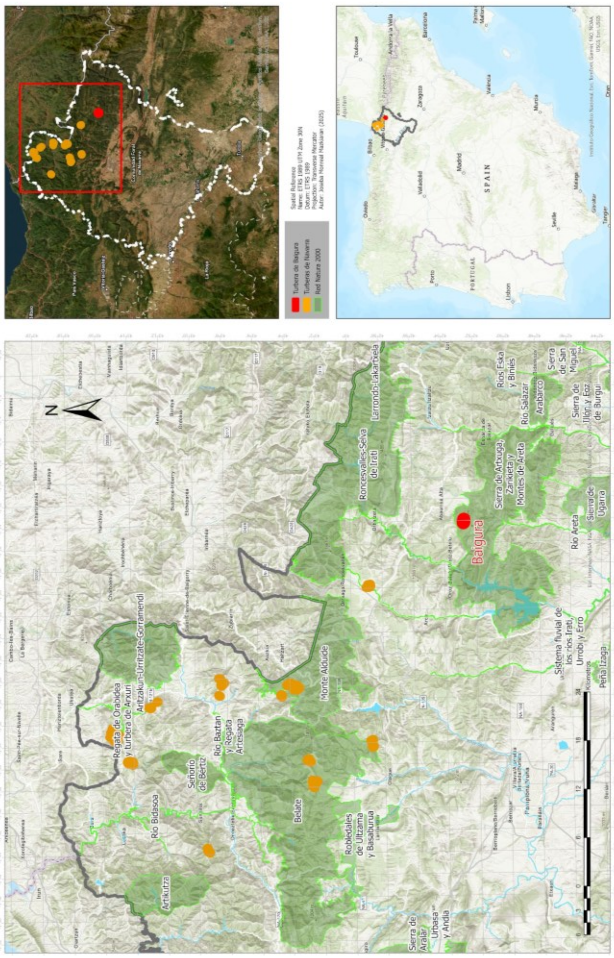


Fig. 1. Mapa de localización de los enclaves de turbera de Navarra. Elaboración propia.

3 Resultados

3.1 Caracterización

Se registraron 42 taxones en total. Aunque los estratos superiores presentan cierta pobreza (7 especies leñosas), el estrato herbáceo es rico (30 especies). Especies como *Erica tetralix*, *Drosera rotundifolia* y *Carex paniculata* subsp. *lusitanica* aparecen en el 100% de las parcelas. Es notable la presencia de abedules (*Betula pendula* y *Betula alba*) en el 90% de los inventarios, siendo, junto al haya, el género arbóreo dominante. Estos abedulares son extremadamente escasos en Navarra, localizándose exclusivamente en este enclave del sector pirenaico (Lorda et al., 2020).

3.2. Valoración mediante LANBIOEVA

- Criterios Fitocenóticos: Media de 46,9 puntos, reflejando una alta representatividad.
- Criterios Territoriales: Puntuaciones modestas (6,82), dada la escasa endemicidad o relictismo a nivel global, aunque la formación es singular a estas latitudes.
- Criterios Mesológicos: Media de 47,1 puntos. Se destaca el papel biostático de la turbera y su estabilidad frente a la erosión.
- Criterios Estructurales: Registros bajos (17,4) debido a la dominancia de herbáceas y la simplicidad de la formación.
- Criterios Culturales: Suma de 41 puntos sobre 52 posibles, destacando por su valor patrimonial (31/40) y la presencia de restos arqueológicos (dólmenes y crómlechs).

El INCON final alcanzó una media de 159,23 puntos (rango medio-alto). El Factor de Amenaza (AM) fue muy bajo (5 puntos), debido a la baja densidad demográfica (<50 h/km²) y la difícil accesibilidad. Por tanto, la PRICON resultó en 796,13 puntos, indicando una baja urgencia de intervención inmediata (Tabla 1).

Tabla 1. Sumatorio de criterios y valores registrados para el sininventario de las turberas de Baigura.

VALORACIÓN	CRITERIOS	SINVENTARIO
	SUMA INFIT	46,9
	SUMA INTER	6,825
	SUMA INMES	47,1
	SUMA INEST	17,4
	SUMA INNAT	118,23
	SUMA INPAT	31
	SUMA INCULEST (X2)	10
	SUMA INCUL	41
SUMA INCON		159,23
	FACTOR GLOBAL DE AMENAZA	5
PRICON		**796,13**

4 Discusión

A continuación, se adjunta la tabla 2 que muestra los cuartiles y percentiles de las más de 300 formaciones analizadas con esta metodología a escala global para realizar la discusión y comparar los resultados obtenidos por los distintos grupos de criterios para la formación de turberas con abedul del monte Baigura.

Para los criterios fitocenóticos las puntuaciones son elevadas a muy elevadas. De hecho (tabla 2) para este grupo de criterios esta formación se sitúa muy cerca del límite superior del tercer cuartil, es decir, puntuaciones altas. Para los criterios territoriales, sin embargo, los registros se sitúan en la parte final del segundo cuartil. Para los criterios de carácter mesológico esta formación se sitúa en el segundo cuartil, en su parte superior. Hay que volver a recordar que estamos ante un ecosistema dominado por herbáceas y briofitos, con una estructura muy pobre pero que, no obstante, ejerce un papel geo-ecológico bastante notable. Por último, para este conjunto de valores, los criterios estructurales hacen situarse a esta formación en el segundo cuartil, pero con una posición más modesta, más cercana a la parte baja de la horquilla.

Tabla 2. Sumatorio de criterios y valores registrados (cuartiles y percentiles) para las más de 300 formaciones a escala global.

	CUARTILES ACTUALES			
Grupos de criterios	**P 25**	**P 50**	**P 75**	**P 100**
INFIT	32,8	41,4	48,1	50
INTER	3,9	11	27,9	28,9
INMES	41,3	50	59,5	60
INEST	16,9	22,7	88,6	92,9
INNAT	98,1	125,6	182,5	186
INPAT	21,6	28,8	39,4	40
INCULEST	4,7	7,4	16,6	17,2
INCUL	26,7	34,7	52,9	54
INCON	125,2	158,3	224,1	228,1
AM	9,8	14,5	25,3	26
PRICON	1335,9	1977,8	4151,4	4288

Respecto a los criterios culturales, el primer grupo engloba los patrimoniales, en este caso, esta formación aparecería enclavada en el tercer cuartil, con valores relativamente altos en comparación con el resto de las formaciones analizadas y valoradas a escala global. Por su parte, los valores culturales estructurales estos hacen situarse a esta formación en el tercer cuartil. Así, sumando todos los criterios culturales las turberas de Baigura se situarían dentro del tercer cuartil.

Los registros del INCON, sumados los valores naturales y culturales sitúan a esta formación en el tercer cuartil, pero en su parte más baja de la horquilla.

Por su parte, los valores de las amenazas se sitúan claramente dentro del primer cuartil y, de hecho, es una de las formaciones que menor puntuación ha registrado de todas

las analizadas y valoradas (Lozano-Valencia, et al., 2022). Esto informa bien a las claras de la poca intervención antrópica o los reducidos impactos existentes, lo que ha garantizado una buena conservación hasta la actualidad. De manera que la PRICON también se sitúa en el primer cuartil, una de las prioridades más bajas registradas hasta la fecha, incluso por detrás de determinados matorrales de la zona atlántica y mediterránea de la península ibérica (Lozano-Valencia, et al., 2022). Hay que volver a reiterar que este último valor finalista muestra una baja amenaza, de manera que está claro que debe protegerse y gestionarse adecuadamente por su elevado INCON, pero, a la vez, no parece mostrar una gran urgencia en cuanto a su intervención, aunque sí aminorar amenazas que vendrían de manos del excesivo pisoteo del ganado extensivo.

5 Conclusiones

Las turberas con abedul de Baigura muestran una lógica pobreza en taxones arbóreos, arbustivos, subarbustivos y escandentes que, sin embargo, es compensado por un elevado número de especies herbáceas a las que se suman una gran cobertura de briofitos, en concreto del género *Sphagnum.* Muestran una serie de valores entre los que destacan la presencia de taxones muy especializados y relativamente raros puesto que se acomodan a un medio tan peculiar como contar con un suelo permanentemente encharcado con las limitaciones que esto impone. Por si eso fuera poco, la presencia de rodales y bosques de abedul les dota de un valor único puesto que es una de las pocas, en Navarra, que cuenta con esta característica.

Respecto los criterios de carácter ambiental, mientras las puntuaciones registradas para el grupo de los criterios fitocenóticos son elevados, situándose en el tercer cuartil de todas las formaciones analizadas y valoradas hasta la fecha, para los otros tres grupos de criterios: territoriales, mesológicos y estructurales, se ubica en el segundo cuartil. Cuestiones como la pobreza en especies endémicas, relictas o finícolas lo lastran con respecto al primero, recpecto al segundo, aunque se trata de formaciones mayoritariamente herbáceas y briofíticas, lo cierto es que juegan un papel fundamental para evitar los procesos erosivos, generan una buena circulación hídrica, incluso facilitando reservas de agua en épocas de sequía y agostamiento. De los criterios estructurales, la falta de especies arbustivas y arbóreas, junto a su carácter poco extenso y relativamente aislado les hacen contar con valores modestos.

Con todo, el sumatorio de valores naturales coloca a las parcelas estudiadas en el segundo cuartil.

Son los criterios culturales los que mayores y mejores puntuaciones registran, tanto los patrimoniales como los culturales estructurales y, de esta forma las turberas de Baigura se sitúan dentro del tercer cuartil. Destacan valores elevados fundamentalmente en lo referente al valor didáctico. Su carácter especial, la existencia de taxones muy especializados y hasta cierto punto amenazados por el cambio climático y sus posibles efectos adversos, dotan de un valor muy elevado para este criterio. Además, la existencia de los rodales de abedules le otorga, un interés todavía más elevado por su originalidad y la existencia a estas latitudes de un ecosistema muy habitual en otras más altas.

Debido al alto valor cultural y los registros alcanzados para el valor natural, el INCON muestra valores notables y se sitúa dentro del tercer cuartil. Sin embargo, las amenazas que pesan sobre esta formación son muy bajas, de manera que la PRICON es también baja.

Aunque las amenazas no son excesivas, sino todo lo contrario, no estaría de más evitar el excesivo pisoteo del ganado extensivo procurando bebederos sobre todo en verano, incluso con el propio agua que discurre desde estas turberas y perimetrarlas para que queden protegidas.

6 Referencias

Aizpuru, I., Aseginolaza, C., Uribe, P.M., Urrutia, P., Zorrakin, I. (1999). *Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes*. — Iª ed. — Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.

Báscones, J. C., Garde, A., & Ederra, A. (1984). Esfagnos y esfagnales de Navarra (España). *Anales de Biología*, 2(Sección especial 2), 201–208.

Blackford, J. (2000). Palaeoclimatic records from peat bogs. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(5), 193–198. https://www.cell.com/trends/ecology-evolution/abstract/S0169-5347(00)01826-7

Lorda, M., Remón, J. L., Peralta, J., Berastegi, A. (2020). Flora y hábitats del enclave higroturboso de Baigura (Pirineo Occidental, Navarra) [Flora and habitats of the Baigura wetlands (Western Pyrenees, Navarre)]. *Munibe Monographs. Nature Series*, 4, 111–117.

Lozano, P. J., Díaz, M.C., Varela, R. & Meaza, G. (2022). *Metodología LANBIOEVA para el inventario y la valoración biogeográfica*. Madrid, Asociación de la Geografía Española (AGE), Grupo de Trabajo de Geografía Física. https://www.age-geografia.es/site/metodologia-lanbioeva-para-el-inventariado-y-la-valoracion-biogeografica/

Peralta, J. E., García, J. F., & López, R. (2018). *Caracterización de los hábitats de Navarra*. Gobierno de Navarra.

Peralta, J., Biurrun, I., Campos, J. A., Lorda, M., Remón, J. L., Berastegi, A. (2020). Cartografía, caracterización y estado de conservación de hábitats de las turberas de Navarra [Cartography, characterization and habitat conservation status of peatlands in Navarre]. *Munibe Monographs. Nature Series*, 4, 101–110.

Variaciones en el límite superior del bosque durante el Holoceno en Sierra Nevada (España) a partir del análisis pedoantracológico

Olmedo-Cobo, José Antonio[1], Fernández-Castaño, Francisca[1], Pardo-Martínez, Rubén[1], López-Avilés, Alejandro[1] y Gómez-Zotano, José[1]

[1] Dpto. de AGR y Geografía Física, Universidad de Granada, Campus de la Cartuja, C/ del Prof. Clavera, s/n, 18011, España
jaolmedo@ugr.es

Resumen. El límite forestal superior constituye uno de los indicadores más sensibles de la respuesta de los ecosistemas de montaña a la interacción entre variaciones climáticas y perturbaciones de origen antrópico. En Sierra Nevada, su estudio resulta especialmente relevante por tratarse de una montaña mediterránea con fuerte contraste altitudinal, elevada diversidad vegetal y un prolongado legado de usos agrosilvopastoriles y forestales. En este trabajo se presentan resultados inéditos sobre la dinámica del *treeline* durante el Holoceno en este territorio a partir de la aplicación del método pedoantracológico. De las identificaciones obtenidas en las cinco catas realizadas, destacan *Pinus*, *Taxus*, *Alnus*, *Betula*, *Acer*, *Prunus* y *Quercus,* con cronologías comprendidas entre 5.052 y 313 años cal BP, lo que muestra que el límite del bosque se situó a mayor altitud que en la actualidad en ciertos enclaves. Destaca la presencia de *Alnus* y *Betula* en la vertiente norte y de *Quercus* caduco en la sur, a entre 100 y 200 m por encima de su posición actual. Estos resultados refuerzan el interés de incorporar la dimensión paleoecológica a la gestión y restauración adaptativa de la vegetación orófila del Parque Nacional en el actual contexto de cambio global.

Palabras clave: *Treeline,* carbón edáfico, vegetación orófila, Sierra Nevada, gestión adaptativa

Resumo. O limite superior da floresta constitui um dos indicadores mais sensíveis da resposta dos ecossistemas de montanha à interação entre variações climáticas e perturbações antrópicas. Na Sierra Nevada, o seu estudo é particularmente relevante por se tratar de uma montanha mediterrânica com forte contraste altitudinal, elevada diversidade vegetal e um longo legado de usos agro-silvo-pastoris e florestais. Neste trabalho apresentam-se resultados inéditos sobre a dinâmica da treeline durante o Holoceno, obtidos através do método pedoantracológico. As identificações realizadas nas cinco sondagens destacam a presença de *Pinus*, *Taxus*, *Alnus*, *Betula*, *Acer*, *Prunus* e *Quercus*, com cronologias entre 5.052 e 313 anos cal BP, evidenciando que, em certos enclaves, o limite da floresta se situou a altitudes superiores às atuais. Salienta-se a presença de *Alnus* e *Betula* na vertente norte e de *Quercus* caducifólio na vertente sul, entre 100 e 200 m acima da sua posição atual. Estes resultados reforçam o interesse de integrar a dimensão paleoecológica na gestão e restauração adaptativa da vegetação orófila do Parque Nacional, no atual contexto de mudança global.

Palavras-chave: Treeline, carvão edáfico, vegetação orófila, Sierra Nevada, gestão adaptativa

Abstract. The upper forest limit is one of the most sensitive indicators of mountain ecosystem responses to the interplay between climatic variability and anthropogenic disturbance. In Sierra Nevada, its study is particularly relevant given its Mediterranean mountain setting, strong altitudinal gradients, high plant diversity, and long history of agro-silvo-pastoral and forest use. This study presents new results on Holocene treeline dynamics in Sierra Nevada based on the pedoanthracological method. Charcoal identifications from five soil pits highlight the presence of *Pinus*, *Taxus*, *Alnus*, *Betula*, *Acer*, *Prunus* and *Quercus*, with chronologies ranging from 5,052 to 313 cal yr BP. These findings indicate that, in certain areas, the forest limit was located at higher elevations than today. Particularly noteworthy are the records of *Alnus* and *Betula* on the northern slope, and deciduous *Quercus* on the southern slope, between 100 and 200 m above their current distribution. These results underline the value of incorporating a palaeoecological perspective into the management and adaptive restoration of orophilous vegetation in the National Park in the current context of global change.

Keywords: Treeline, soil charcoal, orophilous vegetation, Sierra Nevada, adaptive management

1 Introducción

El límite forestal superior (límite altitudinal del bosque o *treeline*) constituye un umbral ecológico de gran sensibilidad ambiental, clave para interpretar la organización altitudinal de la vegetación orófila (Körner, 2021). Su dinámica resulta de la interacción entre condiciones climáticas, factores orográficos y geomorfológicos locales y procesos de establecimiento y supervivencia de las plántulas, en un contexto además frecuentemente antropizado, por lo que no puede explicarse únicamente por factores naturales

(Hansson et al., 2021; Körner y Hoch, 2023). Así sucede en numerosas montañas mediterráneas, donde el límite forestal aparece fuertemente modulado por la historia de los usos antrópicos del territorio (Bonanomi et al., 2020; Vitali et al., 2019).

Conocer el límite forestal superior en el pasado permite distinguir entre límites potenciales y aquellos históricamente condicionados, cuantificar desplazamientos altitudinales del bosque -atendiendo a diferencias de orientación o composición específica- e incorporar una base temporal de largo alcance para orientar la conservación y la gestión adaptativa de estos ecosistemas en el actual contexto de cambio global (Cunill et al., 2012; Dziomber et al., 2024).

Las principales metodologías de corte paleoecológico que se han utilizado para ello han sido el análisis polínico, el estudio de macrofósiles vegetales y estomas, el análisis de carbones edáficos (pedoantracología) y, más recientemente, los enfoques multiproxy. En concreto, la pedoantracología presenta un especial interés para el estudio del límite forestal superior al permitir documentar con alta resolución espacial la presencia pasada de especies leñosas allí donde otros enfoques ofrecen una señal más regional, como se ha demostrado, por ejemplo, en el Pirineo (Cunill et al., 2012; Pardo-Martínez, 2020).

En el caso de Sierra Nevada, el conocimiento del *treeline* se ha sustentado sobre todo en registros de polen y microcarbones procedentes de lagunas y borreguiles de alta montaña y, más recientemente, mediante enfoques multiproxy que combinan distintos registros paleoambientales para reconstruir con mayor detalle la evolución de la vegetación de montaña. Este marco permite plantear, como hipótesis general, que el límite forestal superior habría experimentado variaciones notables desde el Pleistoceno final y durante el Holoceno como respuesta a la interacción entre la dinámica climática y, en épocas más recientes, la intervención antrópica en el macizo (Jiménez-Moreno y Anderson, 2012; Alba-Sánchez et al., 2021; Jiménez-Moreno et al., 2026).

A partir de esta premisa, este trabajo presenta evidencias de cambio en el *treeline* durante el Holoceno en el P. N. de Sierra Nevada (España) tras aplicar por primera vez la metodología pedoantracológica en 5 localidades del macizo.

2 Métodos

La pedoantracología es un método de análisis que se basa en la toma de muestras de suelo en ambientes naturales, poco o nada alterados, con el objeto de buscar e identificar fragmentos de carbón generados por incendios forestales. La posterior datación radiocarbónica de las muestras de mayor interés puede permitir abordar con notable precisión espacial la reconstrucción de la vegetación leñosa en el pasado.

Por un lado, el trabajo de campo consiste en la toma de muestras de suelo mediante la realización de catas en puntos establecidos previamente según los objetivos de la investigación; en cada cata se identificaron diferentes niveles de muestreo, coincidentes parcialmente con los horizontes y subhorizontes edáficos, de los que se toma una muestra de suelo de 5 a 10 kg/nivel -ocasionalmente más-. En laboratorio se tamizan con agua las muestras, en cribas de 5, 2 y 0,8 mm, y se tría la fracción mineral para recuperar posibles fragmentos de carbón, que posteriormente son analizados para su identificación taxonómica mediante microscopio óptico de luz reflejada (aumentos 50×–500×). Finalmente, se seleccionan aquellos fragmentos identificados de mayor interés para su datación radiocarbónica.

Siguiendo estas premisas, se han realizado 5 catas pedoantracológicas en otros tantos enclaves del P. N. de Sierra Nevada considerados de interés por tratarse de lugares que potencialmente pudieron ser en el pasado refugios de flora hoy extinta (Fig. 1), en particular coníferas y caducifolios arbóreos de alta montaña. Tres de los enclaves se sitúan por encima del *treeline* actual (Loma de las Hoyas, Haza del Camarate y Berreadero), y los dos restantes en zona forestal (Trevenquillo y Barranco de las Rozas). En todas las catas se ha encontrado carbón, aunque en cantidad variable, habiéndose realizado un máximo de 50 identificaciones por nivel de muestreo (de 2 a 4 niveles de muestreo por cata).

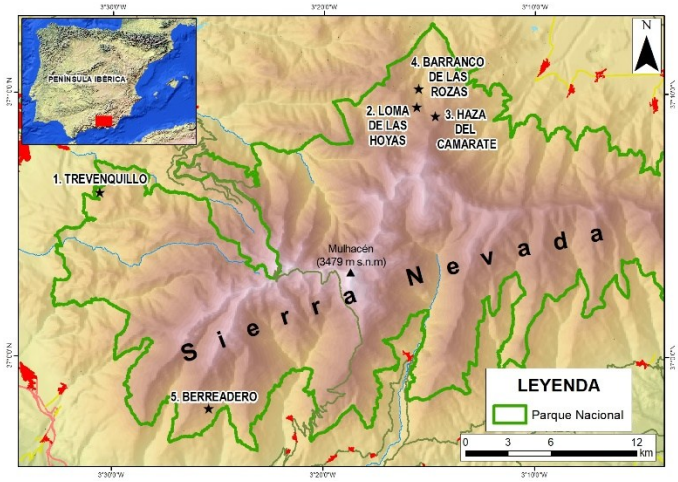


Fig. 1. Localización en el sector centro-occidental de Sierra Nevada de los 5 enclaves donde se ha llevado a cabo el trabajo de campo: 1. Trevenquillo; 2. Loma de las Hoyas; 3. Haza del Camarate; 4. Barranco de las Rozas; 5. Berreadero.

3 Resultados

Del conjunto de identificaciones, se han datado 41 fragmentos, correspondientes a los géneros -*Pinus, Taxus, Alnus, Betula, Acer, Prunus, Quercus*- para analizar a escala local la dinámica pretérita del *treeline* respecto a la situación actual; las cronologías más relevantes abarcan el periodo temporal 5.052-313 años cal BP (Tabla 1).

4 Discusión

En Sierra Nevada, como en otras muchas montañas mediterráneas e, incluso, alpinas, el límite forestal superior no puede interpretarse como una frontera exclusivamente climática. La desaparición del bosque en altitud responde a otros condicionamientos naturales, como la disponibilidad

hídrica, la orientación, la topografía o la persistencia de nieve. Además, hay que considerar la larga historia de uso antrópico del territorio al que se han visto sometidas numerosas cordilleras, siendo el fuego una de las herramientas más utilizadas para su transformación.

Tabla 1. Resultados de las dataciones radiocarbónicas.

Enclave (vertiente y altitud)	Taxón	Edad calibrada (años cal BP)
Trevenquillo (NW, 1.771 msnm)	*Pinus* sp.	3.270-3.147
	Pinus nigra/sylvestris	2.131-1.960
	Pinus nigra/sylvestris	1.896-1.779
	Taxus baccata	575-367
	Acer sp.	543-313
Loma de las Hoyas (N, 2.040 msnm)	*Quercus* sp. caduco	5.052-4.869
	Quercus sp. caduco	3.290-3.178
	Quercus sp. caduco	2.850-2.760
	Acer sp.	1.963-1.821
Haza del Camarate (N, 2.223 msnm)	*Alnus* sp.	4.650-4.523
	Alnus sp.	4.537-4.424
	Betula sp.	4.360-4.229
	Betula sp.	4.189-4.086
Barranco Rozas (N, 1.905 msnm)	*Alnus* sp.	1.478-1.377
	Prunus avium	1.413-1.345
Berreadero (S, 1.962 msnm)	*Quercus* sp. caduco	2.342-2.228
	Quercus sp. caduco	1.885-1.738
	Quercus sp. caduco	1.621-1.534

De este modo, el límite forestal actual en muchos casos puede aparecer distorsionado respecto a su límite potencial (Ameztegui et al., 2016; Bonanomi et al., 2020). Los registros paleoecológicos en Sierra Nevada, basados en polen, microcarbones y enfoques multiproxy, ya habían apuntado a que el *treeline* se situó a mayor altitud durante distintos momentos del Holoceno y que la vegetación de alta montaña presentaba una mayor significación de formaciones forestales y una composición más diversa que la actual (Manzano et al., 2019). Se acepta, además, la existencia de respuestas divergentes entre vertientes distintas frente a las condiciones holocenas progresivamente más secas y al peso desigual de la acción humana. Por otro lado, entre los factores antrópicos que contribuyeron al retraimiento del bosque en Sierra Nevada, destaca el pastoreo y la agricultura de alta montaña (Anderson et al., 2011; Jiménez-Moreno y Anderson, 2012; Alba-Sánchez et al., 2021).

La aplicación por primera vez de la pedoantracología en este territorio confirma que el límite forestal superior se situó entre 100 y 200 m por encima de su posición actual a escala local durante ciertas fases del Holoceno medio y tardío. Aunque sería de esperar la detección de un cinturón finícola de coníferas en altitud, la evidencia fundamental que se ha encontrado ha sido la presencia local de varios taxones caducifolios a cotas altitudinales donde están ausentes en la actualidad. Así, *Alnus* sp. (probablemente *A. glutinosa*) y *Betula* sp. (probablemente *B. pendula* subsp. *fontqueri*), con edades de entre 4.650 y 4.086 años cal BP, aparecen a una altitud en torno a 2.220 m., unos 200 m. por encima del nivel actual del bosque, en el que además no aparecen estos taxones, hoy limitados a posiciones muy locales junto a cursos de agua. En el caso de *Quercus* sp. caduco (que correspondería probablemente al taxón marcescente *Q. pyrenaica*), se ha detectado igualmente su presencia (5.052 a 2.760 años cal BP) en la vertiente norte en torno a 2.050 m., en las primeras laderas libres de arbolado en la actualidad; en la vertiente sur, parece que el robledal medraba al menos hasta unos 1.975 m. de altitud hace entre 2.342 y 1.534 años cal BP, estando su *treeline* actual unos 50-100 m más abajo. Además, la cohorte de taxones acompañantes que se ha identificado, procedente de otros fragmentos de carbón, coincide con las especies propias del interior y orla de estos bosques, como *Berberis* sp., *Rosa* sp., *Lonicera* sp. o *Adenocarpus* sp. (además de la recurrente presencia de *Juniperus* sp. en Haza del Camarate)

La diferenciación entre vertientes adquiere, además, un claro valor interpretativo. En la vertiente norte, la presencia de *Alnus* y *Betula* encaja con condiciones localmente más húmedas, coincidentes con la persistencia de enclaves favorables para taxones mesófilos dentro de una tendencia regional de condiciones progresivamente más secas desde el Holoceno medio (Manzano et al., 2019; Jiménez-Moreno et al., 2026). En la vertiente sur, la señal de *Quercus* sp. caduco resulta coherente con contextos menos xéricos que los actuales durante el tramo final del Holoceno medio y tardío (López-Blanco et al., 2024), que, aunque con cautela, corresponderían al intervalo húmedo identificado en distintos registros ibéricos en torno a época romana (Jiménez-Moreno et al., 2026).

En cuanto a *Pinus*, parece seguro un rol más destacado que el actual de las coníferas en la organización del paisaje forestal de Sierra Nevada durante el Holoceno, tal y como atestigua el polen y algunos registros multiproxy, que sugieren una dominancia de pinares, seguida por el desarrollo de bosques mixtos de *Pinus* y *Quercus* (Manzano et al., 2019). Aunque los datos que aquí se presentan no contradicen esa imagen general, tampoco la corroboran, tal vez como era de esperar, ya que el hallazgo de *Pinus* y *P. nigra/sylvestris* con una antigüedad de entre 3.270 y 1.779 años cal BP coincide con sectores donde hoy persisten rodales de pinar autóctono, tanto de *P. sylvestris* como de *P. nigra* (Trevenquillo-arroyo Huenes). Aunque esto pueda confirmar la presencia de un *treeline* de coníferas a lo largo del Holoceno tardío a escala local, no es posible, sin embargo, determinar si este cinturón de coníferas osciló en altitud, apareció en otros sectores del macizo o si estuvo también integrado por otros taxones caducos. La presencia de *Taxus baccata* y *Acer* sp., además de otros taxones arbustivos como *Cotoneaster* sp. o *Lonicera* sp., sí refuerza la interpretación del papel de microrrefugio forestal de este enclave, tal y como se ha señalado previamente para otros sectores de la Bética a partir del análisis de carbón presente en el suelo (Olmedo-Cobo y Gómez-Zotano, 2023).

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que el límite forestal superior en Sierra Nevada se situó a mayor altitud que en la actualidad durante distintos episodios del Holoceno medio y tardío, y que su composición fue más diversa de lo que hoy sugiere la vegetación orófila del macizo. Estos cambios responden a la interacción entre la dinámica climática y la prolongada presión antrópica ligada a los usos tradicionales de la alta montaña. Por tanto, el paisaje vegetal actual no debería emplearse como única referencia para valorar la naturalidad de esta frontera ecológica de alta sensibilidad. Además, dado que ha transcurrido muy poco tiempo desde el abandono casi generalizado de la ganadería y agricultura de montaña, es probable que aún estemos asistiendo a una primera fase de respuesta de la vegetación, además condicionada por los procesos del cambio global. Por ello, la conservación de la vegetación orófila en Sierra Nevada debe apoyarse en una lectura de largo plazo que permita orientar estrategias de gestión y restauración adaptativa.

6 Referencias

Alba-Sánchez, F., Abel-Schaad, D., López-Sáez, J. A., Sabariego-Ruiz, S., Pérez-Díaz, S., Luelmo-Lautenschlaeger, R., & Garrido-García, J. A. (2021). Early anthropogenic change in western Mediterranean mountains (Sierra Nevada, SE Spain). *Anthropocene*, 33, 100278.

Ameztegui, A., Coll, L., Brotons, L., & Ninot, J. M. (2016). Land-use legacies rather than climate change are driving the recent upward shift of the mountain treeline in the Pyrenees. *Global Ecology and Biogeography*, 25(3), 263–273.

Anderson, R. S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J. S., & Pérez-Martínez, C. (2011). Postglacial history of alpine vegetation, fire, and climate from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Science Reviews,* 30(13–14), 1615–1629.

Bonanomi, G., Zotti, M., Mogavero, V., Cesarano, G., Saulino, L., Rita, A., Tesei, G., Saracino, A., Allegrezza, M., & Allevato, E. (2020). Climatic and anthropogenic factors explain the variability of *Fagus sylvatica* treeline elevation in fifteen mountain groups across the Apennines. *Forest Ecosystems, 7*, 5.

Cunill, R., Soriano, J. M., Bal, M.-C., Pèlachs, A., & Pérez-Obiol, R. (2012). Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: A pedoanthracological analysis. *Vegetation History and Archaeobotany,* 21(5), 373–384.

Dziomber, I., Gobet, E., Leunda, M., Gurtner, L., Vogel, H., Tournier, N., Damanik, A., Szidat, S., Tinner, W., & Schwörer, C. (2024). Palaeoecological multiproxy reconstruction captures long-term climatic and anthropogenic impacts on vegetation dynamics in the Rhaetian Alps. *Review of Palaeobotany and Palynology, 321*, 105020. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.105020

Hansson, A., Dargusch, P., & Shulmeister, J. (2021). A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage. *Journal of Mountain Science*, 18, 291–306. https://doi.org/10.1007/s11629-020-6221-1

Jiménez-Moreno, G., & Anderson, R. S. (2012). Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Research*, 77(1), 44–53. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2011.09.006

Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Scott, R., Ramos-Román, M., Camuera, J., Mesa-Fernández, J., Jiménez-Espejo, F., López-Avilés, A., Rodrigo-Gámiz, M., & López-Blanco, C. (2026). Late Pleistocene and Holocene environmental and climate reconstruction from Sierra Nevada, Spain. *Limnetica*, 45(2). https://doi.org/10.23818/limn.45.22

Körner, C. (2021). The cold range limit of trees. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(11), 979–989. https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.011

Körner, C., & Hoch, G. (2023). Not every high-latitude or high-elevation forest edge is a treeline. *Journal of Biogeography*, 50, 838–845. https://doi.org/10.1111/jbi.14593

López-Blanco, C., García-Alix, A., Jiménez-Moreno, G., Rodrigo-Gámiz, M., & Anderson, R. S. (2024). Climatic fluctuations over the Holocene in southern Iberia (Sierra Nevada, Spain) reconstructed by fossil cladocerans. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 638*, 111989. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111989

Manzano, S., Carrión, J. S., López-Merino, L., Jiménez-Moreno, G., Toney, J. L., Armstrong, H., Anderson, R. S., García-Alix, A., Guerrero-Pérez, J. L., & Sánchez-Mata, D. (2019). A palaeoecological approach to understanding the past and present of Sierra Nevada, a Southwestern European biodiversity hotspot. *Global and Planetary Change*, 175, 238–250. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.02.006

Olmedo-Cobo, J. A., Gómez-Zotano, J., & Serrano-Montes, J. L. (2017). Pinus sylvestris L. subsp. nevadensis (Christ) Heywood in southern Spain: An endangered endemic Mediterranean forest. *Geographica Pannonica*, 21(3), 151–165. https://doi.org/10.5937/GeoPan1703151O

Olmedo-Cobo, J. A., & Gómez-Zotano, J. (2023). Taxus baccata, especie relicta y en peligro de extinción en la Cordillera Bética: El caso de las poblaciones de Dehesa del Camarate y Cerro de los Tejos (Granada, España). En P. Ramil-Rego, M. A. Rodríguez Guitián, J. Ferreiro da Costa, & L. Gómez-Orellana (Eds.), Conservación y restauración de los bosques de tejo en Europa (pp. 93–102). IBADER.

Pardo-Martínez, R. (2020). La pedoantracología en España: una revisión bibliográfica. *Pirineos*, 175, e059.

Vitali, A., Garbarino, M., Camarero, J. J., Malandra, F., Toromani, E., Spalevic, V., Čurović, M., & Urbinati, C. (2019). Pine recolonization dynamics in Mediterranean human-disturbed treeline ecotones. *Forest Ecology and Management*, 435, 28–37. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.039

7 Agradecimientos

Los resultados aquí expuestos forman parte del proyecto de I+D+i Paleopinsapo II (PID2022-141592NB-100) financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Cuando los espacios no protegidos importan para las aves rapaces: el caso de un mosaico agroforestal mediterráneo sometido a presión extractiva (la mina de Fontanarejo, Ciudad Real)

Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo[1], Guzmán Piña, José[2], Guzmán Téllez, Javier Elías[2], Martín Ceballos, José Antonio[2], Morales Pérez, Beatriz[2], Navas Berbel, Adrián[1] y Sarrión Torres, Francisco José[2]

[1] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Castilla-La Mancha, Avda. Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España
[2] Investigador/a independiente, Ciudad Real, España
rafaelu.gosalvez@uclm.es

Resumen. La evaluación de la funcionalidad ecológica de territorios intermedios entre espacios protegidos es clave en la biogeografía de la conservación en áreas mediterráneas, especialmente ante presiones extractivas. Este trabajo evalúa la importancia ecológica del entorno de la proyectada mina de fosfatos de Fontanarejo (Ciudad Real) para las aves rapaces. Mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo (enero-mayo de 2023), se identificaron 14 especies protegidas, incluyendo el águila imperial ibérica y el águila perdicera. Los resultados muestran un uso intensivo del territorio para alimentación, desplazamiento y reproducción. El análisis del uso espacial de las rapaces mediante mapas de calor con estimación Kernel evidencia una ocupación continua, confirmando su función como corredor ecológico entre el Parque Nacional de Cabañeros y espacios de la Red Natura 2000. Estos resultados contrastan con la evaluación ambiental previa, que infravaloraba el área. Se concluye que la minería podría generar impactos significativos, comprometiendo la conectividad ecológica y la conservación de especies amenazadas, lo que subraya la relevancia de los territorios no protegidos en la planificación ambiental.

Palabras clave: Aves rapaces, Fontanarejo, Minería, Impacto ambiental, áreas protegidas

Resumo. A avaliação da funcionalidade ecológica de territórios intermédios entre espaços protegidos é fundamental na biogeografia da conservação em áreas mediterrânicas, especialmente perante pressões extrativas. Este trabalho avalia a importância ecológica do entorno da projetada mina de fosfatos de Fontanarejo (Ciudad Real) para as aves de rapina. Mediante revisão bibliográfica e trabalho de campo (janeiro-maio de 2023), foram identificadas 14 espécies protegidas, incluindo a águia-imperial-ibérica e a águia-de-bonelli. Os resultados mostram um uso intensivo do território para alimentação, deslocamento e reprodução. A análise do uso espacial das aves de rapina, através de mapas de calor com estimativa Kernel, evidencia uma ocupação contínua, confirmando a sua função como corredor ecológico entre o Parque Nacional de Cabañeros e áreas da Rede Natura 2000. Estes resultados contrastam com a avaliação ambiental prévia, que subestimava a área. Conclui-se que a mineração poderá gerar impactos significativos, comprometendo a conectividade ecológica e a conservação de espécies ameaçadas, o que sublinha a relevância dos territórios não protegidos no planeamento ambiental.

Palavras-chave: Aves de rapina, Fontanarejo, Mineração, Impacto ambiental, áreas protegidas

Abstract. The assessment of the ecological functionality of intermediate territories between protected areas is key in conservation biogeography in Mediterranean regions, especially under extractive pressures. This study evaluates the ecological importance of the surroundings of the planned phosphate mine in Fontanarejo (Ciudad Real) for birds of prey. Through a literature review and fieldwork (January–May 2023), 14 protected species were identified, including the Iberian imperial eagle and Bonelli's eagle. The results show intensive use of the territory for feeding, movement, and reproduction. The analysis of spatial use by raptors, using heat maps with Kernel estimation, reveals continuous occupation, confirming its function as an ecological corridor between Cabañeros National Park and areas of the Natura 2000 Network. These results contrast with the previous environmental assessment, which undervalued the area. It is concluded that mining could generate significant impacts, compromising ecological connectivity and the conservation of threatened species, highlighting the relevance of unprotected territories in environmental planning.

Keywords: Birds of prey, Fontanarejo, Mining, Environmental impact, protected areas.

1 Introducción

En el año 2022 la Plataforma No a la Mina de Fontanarejo solicitó un informe de seguimiento de aves rapaces en el entorno de una mina de fosfatos que se quiere instalar en el municipio de Fontanarejo (Ciudad Real), en el contexto de un procedimiento jurídico abierto contra la autorización de este proyecto minero. El objetivo era analizar la relevancia del área afectada para las aves rapaces y evaluar su papel funcional dentro de la conectividad ecológica regional.

La mina de fosfatos proyectada se sitúa a menos de 2 km del casco urbano de Fontanarejo y contempla la extracción de 7,7 millones de m³ de materiales a lo largo de 35 años. La explotación ocuparía 63 ha, alcanzando una superficie total cercada de 88,7 ha, con dos cortas mineras a cielo abierto que llegarían hasta los 120 m de profundidad. A ello se suman escombreras, planta de tratamiento, balsas y accesos, lo que generará una fuerte transformación territorial.

El área afectada se localiza entre el Parque Nacional de Cabañeros -incluido además en la ZEPA y ZEC Montes de Toledo- y el espacio Natura 2000 ZEPA/ZEC "Ríos de la cuenca media del Guadiana y sus laderas vertientes" (Fig. 1). Estos espacios albergan poblaciones relevantes de aves rapaces y otras especies amenazadas, como la cigüeña negra (*Ciconia nigra*), Este territorio funciona como una matriz agroforestal utilizada por estas especies como área de campeo, alimentación, dispersión y, en algunos casos, reproducción.

Las alegaciones presentadas por organizaciones ecologistas destacaron que la elevada similitud de hábitats entre la zona del proyecto y las áreas protegidas colindantes genera una gran continuidad funcional, que las especies utilizan como si se tratara de un solo territorio. En este sentido, el área de Fontanarejo cumpliría un papel esencial como corredor ecológico, integrándose en el denominado "Corredor Sierra Morena-Montes de Toledo" identificado por WWF (Mateo Sánchez et al., 2016), eje fundamental para la conectividad entre dos de los grandes sistemas montañosos del centro-sur peninsular.

La presente contribución se enmarca, por tanto, en un contexto de controversia socioambiental en el que se cuestiona la adecuación del proceso de evaluación ambiental aplicado a esta explotación extractiva, al considerar que la Declaración de Impacto Ambiental (DIA, en adelante) otorgada por la Consejería de Desarrollo Sostenible de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, el órgano ambiental en este caso, infravalora el valor faunístico y funcional del territorio y no incorpora adecuadamente la conectividad ecológica en la evaluación ambiental del proyecto.

El objetivo que se persigue con esta contribución es evaluar el uso del espacio, la importancia ecológica y la funcionalidad biogeográfica del entorno de la proyectada mina de fosfatos de Fontanarejo para la comunidad de aves rapaces, con especial atención a las especies amenazadas y al papel del territorio como potencial corredor ecológico entre grandes espacios protegidos.

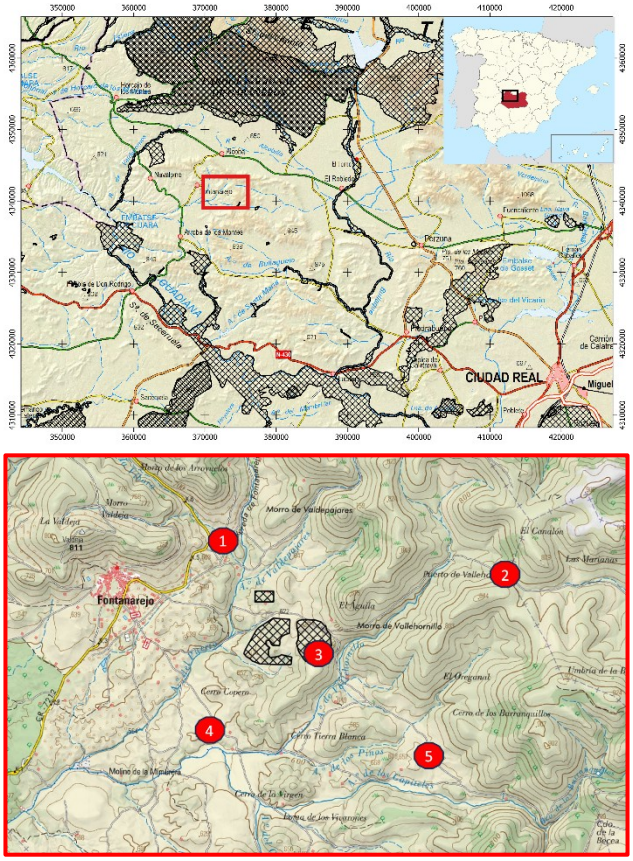


Fig. 1. Localización del área de estudio, de las áreas protegidas y de las estaciones de observación en el área de estudio. Trama cuadrícula oblicua negra: mapa superior: áreas protegidas; mapa inferior: ámbito de la mina de fosfatos. Fuente: CNIG. *Elaboración propia*.

2 Métodos

El seguimiento de aves rapaces se diseñó combinando recopilación de información bibliográfica y trabajo de campo, con el fin de caracterizar la comunidad de rapaces y su uso del territorio durante distintas fases del ciclo anual. Para ello, se consultaron los atlas de aves reproductoras e invernantes de España, las monografías de censos de distintas especies de rapaces de SEO/Birdlife y el catálogo regional de especies amenazadas de Castilla-La Mancha, lo que permitió establecer un marco previo de especies potenciales y su estatus de conservación.

El trabajo de campo se desarrolló entre los meses de enero y mayo de 2023, abarcando los periodos de invernada, migración prenupcial y reproducción. Se utilizó la técnica de estaciones o puntos de observación fijos (Bibby et al. 1992), método empleado en estudios de rapaces por su eficacia en la detección de individuos y en el análisis del uso del espacio. Se establecieron cinco puntos de observación estratégicamente distribuidos alrededor de la mina (Fig. 1).

Desde cada punto se realizaron sesiones de observación de hasta tres horas, registrando todas las rapaces detectadas mediante prismáticos y telescopios terrestres. Para cada contacto se anotaron variables como especie, número de individuos, tipo de vuelo, altura de vuelo y comportamiento, así como la localización y dirección del desplazamiento. En la Tabla 1 se resume el esfuerzo de muestreo realizado en cada estación de observación.

Tabla 1. Esfuerzo de muestro en cada estación de observación establecida en el área de estudio. *Elaboración propia*.

Nº de estación	Sesiones de observación	Horas totales de observación
1	1	1
2	1	2
3	8	16
4	1	1
5	5	12:30
Total	16	32:30

Los datos obtenidos se almacenaron en hojas de cálculo y posteriormente se georreferenciaron e integraron en un SIG (QGIS). Mediante técnicas de estimación Kernel se elaboraron mapas de calor de la densidad y uso del espacio para todas las observaciones de aves rapaces registradas, lo que permitió analizar patrones espaciales y zonas de mayor intensidad de uso por este grupo de aves.

3 Resultados

El seguimiento de aves rapaces revela una elevada diversidad y relevancia ecológica del área estudiada. Se identificaron 14 especies, todas protegidas: dos catalogadas en peligro de extinción, once como vulnerables y cuatro de interés especial (Tabla 2). Destacan el águila imperial ibérica y el águila perdicera, junto con especies de alto valor como el buitre negro y el milano real.

Tabla 2. Datos mensuales de los seguimientos de rapaces realizados en el área de estudio en el año 2023

Especie	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	TOTAL
Alimoche común *Neophron percnopterus*	0	0	1	0	0	1
Buitre leonado *Gyps fulvus*	255	2	31	49	4	341
Buitre negro *Aegypius monachus*	96	14	11	17	5	143
Culebrera europea *Circaetus gallicus*	0	0	0	1	1	2
Águila calzada *Hieraaetus pennatus*	0	0	0	0	1	1
Águila Imperial ibérica *Aquila adalberti*	1	0	0	0	0	1
Águila real *Aquila chrysaetos*	5	0	6	2	2	15
Águila perdicera *Aquila fasciatus*	0	0	1	0	1	2
Gavilán común *Accipiter nisus*	1	0	0	0	0	1
Azor común *Accipiter gentilis*	1	0	2	0	0	3
Milano real *Milvus milvus*	19	5	0	1	0	25
Milano negro *Milvus migrans*	1	0	18	1	0	20
Busardo ratonero *Buteo buteo*	0	0	1	0	0	1
Cernícalo vulgar *Falco tinnunculus*	1	1	4	1	0	7
Total	380	22	75	72	14	563
Tiempo observación (hora)	730	130	300	380	320	
Tiempo observación (min)	12,2	2,17	5	6,3	5,3	
Tasa de abundancia (aves/hora)	31,15	10,14	15,00	11,43	2,64	

Los resultados de campo muestran que estas especies no solo atraviesan el área, sino que la utilizan activamente para caza, desplazamiento y, en algunos casos, reproducción. Durante el mes de mayo se detectaron comportamientos compatibles con la cría, lo que indica la importancia funcional del territorio.

El análisis espacial de todas las observaciones de aves rapaces entre los meses de enero y mayo de 2023 evidencia un patrón de ocupación amplio y continuo. El mapa de calor obtenido (Fig. 2) sugiere un uso generalizado del espacio y en el que la concentración aparente en el sector central (tonalidades rojas) debe interpretarse con cautela, ya que responde a un sesgo de muestreo (Tabla 1).

En conjunto, el territorio muestra un gradiente progresivo de intensidad, con transiciones suaves y sin discontinuidades claras. Este patrón espacial presenta elongaciones y asimetrías, con áreas de mayor intensidad relativa, pero sin focos aislados. La dispersión de registros, incluso en zonas periféricas, indica una presencia extendida en prácticamente todo el ámbito de estudio.

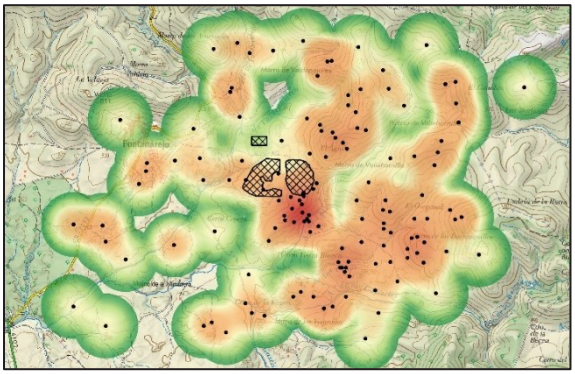


Fig. 2. Uso del espacio por todas las especies de aves rapaces en el área de estudio en 2023. Recinto rayado: localización de la mina. *Elaboración propia*.

Estos resultados evidencian una elevada diversidad de aves rapaces, presencia de especies amenazadas y un uso intensivo del área, en contraste con evaluaciones previas (estudio de impacto ambiental presentado por los promotores y la DIA positiva emitida por el órgano ambiental) que minimizaban su importancia. Por ello, posibles alteraciones derivadas de la actividad minera podrían generar impactos significativos.

Las especies detectadas coinciden en gran medida con las presentes en espacios protegidos cercanos, lo que indica continuidad ecológica. Esto sugiere que el área forma parte de un sistema más amplio, facilitando el movimiento y la persistencia de las poblaciones.

4 Discusión

El territorio estudiado presenta una elevada relevancia para las rapaces ibéricas pese a no contar con protección formal, desempeñando un papel importante en la conservación de la avifauna amenazada. La detección de 14 especies, muchas de ellas amenazadas, confirma que el área es clave para distintas fases de su ciclo biológico.

Especies como el buitre leonado (*Gyps fulvus*) y el buitre negro (*Aegypius monachus*) se concentran en la zona, en relación con la disponibilidad de recursos tróficos asociados a

usos ganaderos y cinegéticos, así como con la presencia de ecotonos agroforestales funcionales (Jiménez, 1989; Mosqueda, 2017, 2018).

Se constata la existencia también de especies sensibles a la alteración del hábitat, como el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) y el águila perdicera (*Aquila fasciata*). En este último caso, la proximidad de varias parejas reproductoras, en una provincia donde la especie está en regresión, implica un condicionante crítico, ya que el área forma parte de sus zonas de campeo y alimentación, esenciales para su éxito reproductor (Garza y Arroyo, 1996; Mosqueda, 2018). La pérdida o degradación de estos espacios podría comprometer su viabilidad poblacional.

Destaca un patrón de uso del territorio extensivo y continuo (Fig. 2), sin discontinuidades marcadas y con gradientes suaves de intensidad, compatible con desplazamientos amplios en un mosaico heterogéneo de hábitats. La distribución generalizada de las observaciones refuerza que el conjunto del territorio posee funcionalidad ecológica, con distintas áreas que contribuyen de forma complementaria.

El registro de vuelos, principalmente en dirección N-S y S-N, especialmente de las dos especies de buitres, así como de movimientos de campeo en la zona de la mina, sugiere conexiones funcionales con espacios protegidos cercanos (Parque Nacional de Cabañeros y Red Natura 2000). Esto refuerza la importancia de los espacios no protegidos para la conectividad ecológica.

Los resultados hallados en este trabajo contrastan con la DIA favorable de 2018, que consideraba el entorno de escasa relevancia faunística. Los datos evidencian que no se tuvo en cuenta el uso funcional del territorio ni los impactos sobre áreas de alimentación y campeo.

En este sentido, la Sentencia del Tribunal Superior de Justicia de Castilla-La Mancha (7 de enero de 2021), relativa al proyecto de mina de tierras raras de Torrenueva, reconoce que actividades mineras pueden afectar a espacios protegidos incluso desde fuera de sus límites, al comprometer la conectividad ecológica, lo que resulta aplicable al caso de Fontanarejo.

5 Conclusiones

Este estudio muestra que el área prevista para la implantación de la mina de fosfatos posee un alto valor biogeográfico y funcional para especies de aves rapaces amenazadas. Los valles y arroyos de la zona, junto con los ecotonos entre monte y cultivos, son utilizados intensamente por las rapaces en sus desplazamientos diarios.

Este mosaico agroforestal, lejos de carecer de valor, funciona como un hábitat clave y un potencial corredor ecológico que permite conectar el Parque Nacional de Cabañeros y otros espacios de la Red Natura 2000.

La transformación radical del territorio asociada a la actividad minera planteada supondrá la pérdida de hábitats clave, la fragmentación del corredor ecológico Sierra Morena-Montes de Toledo identificado por Mateo Sánchez et al. (2016) y una alteración grave de los patrones de movimiento y comportamiento de las aves rapaces.

La clara discrepancia entre los resultados hallados en este trabajo y la DIA favorable emitida por el órgano ambiental evidencia una deficiencia significativa en el proceso de evaluación, al no haberse incorporado un análisis del uso real del espacio por parte de la fauna ni de su conectividad ecológica a través de la matriz territorial no protegida (Martí y del Moral, 2003; Molina et al., 2022). Esta omisión supone una subestimación sustancial del valor ecológico del área y de los impactos potenciales del proyecto.

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados ponen de relieve que las estrategias de gestión y conservación no pueden centrarse en elementos aislados, sino que deben orientarse de forma prioritaria al mantenimiento de la integridad funcional del conjunto del paisaje.

6 Referencias

Bibby, C.J., Burgess, N.D., & Hill, D.A. (1992). Bird Census Techniques. Cambridge Univ. Press

Garza, V., & Arroyo, B. (1996). Situación del Águila Perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en España. En: J. Muntaner y J. Majol (Eds.). *Biología y Conservación de las rapaces mediterráneas, 1994*. SEO/BirdLife.

Jiménez, J.J. (1989). Estudio de las poblaciones de buitre negro (*Aegypius monachus*) y águila imperial (*Aquila adalberti*) en la provincia de Ciudad Real. Descripción y problemática. Servicio de Publicaciones. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Toledo.

Martí, R. & Del Moral, J.C. (Eds.). (2003). Atlas de las Aves Reproductoras de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología.

Mateo Sánchez, M.C, De la Fuente Martín, B., Gastón González, A. & Saura Martínez de Toda, S. (2016). Estudio para la identificación de redes de conectividad entre espacios forestales de la Red Natura 2000 en España. ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid.

Molina, B., Nebreda, A., Muñoz, A.R., Seoane, J., Real, R., Bustamante, J. & del Moral, J.C. (2022). III Atlas de las aves en época de reproducción en España. SEO/BirdLife.

Mosqueda, I. (2017). Resultados por comunidades autónomas. Castilla-La Mancha. En J.C. del Moral. El buitre negro en España, población reproductora en 2017 y método de censo. SEO/BirdLife, pp. 42-48. Madrid.

Mosqueda, I. (2018). Resultados por comunidades autónomas. Castilla-La Mancha. Ciudad Real. En J. C. del Moral y B. Molina (eds.). *El águila perdicera en España, población reproductora en 2018 y método de censo*, pp. 79-80. SEO/BirdLife.

7 Agradecimientos

A dos revisores anónimos cuyas observaciones mejoraron sustancialmente la versión final de esta contribución.

Dinâmica espaço-temporal dos manguezais sob a influência dos processos dunares na Resex Cururupu/MA – Brasil

Oliveira, Beatriz[1] y Furlan, Sueli[1]

[1] Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 717 – Cidade Universitária, Brasil
beatrizsartori@usp.br

Resumo. O sistema de dunas e o manguezal são feições pertencentes à complexa dinâmica das zonas costeiras. Nesse cenário, esta pesquisa buscou investigar a zona costeira do estado do Maranhão, região que possui particularidades físicas que possibilitam o amplo desenvolvimento desses ecossistemas e mais especificamente o litoral ocidental maranhense, com foco na Unidade de Conservação (UC) RESEX Marinha de Cururupu. A região é composta por um complexo mosaico paisagístico, que engloba campos dunares, um robusto manguezal, além da ocupação histórica por comunidades tradicionais praieiras distribuídas por diferentes ilhas. Assim, apresenta uma interação intensa entre a dinâmica do meio físico e as comunidades em cenários de soterramento do manguezal e das habitações das comunidades a partir dos deslocamentos de dunas e da atividade eólica da região. A pesquisa buscou reconhecer e investigar as origens e os fatores que atuam na dinâmica dunar a partir da sua identificação e mapeamento dos corpos sedimentares, além de identificar os desdobramentos socioambientais gerados e reconhecer as mudanças das feições da paisagem da área de estudo ao longo do tempo. Para isso, foi elaborado um banco de dados com as imagens de boa visualização da área de estudo, fornecidas pela USGS, da série *Landsat* (4, 5, 7 e 8) para posterior análise espacial-temporal. Foram realizados dois trabalhos de campo (2022 e 2024), no qual foram obtidos dados primários qualitativos e quantitativos. Como resultados, foi possível identificar áreas com tensores complexos provenientes da dinâmica sedimentar, como na Comunidade da Ilha de Lençóis e de Guajerutiua, com processos de deposição e deslocamento dunar, além de delimitar possibilidades das suas causas e fatores. Somado a isso, foram obtidos dados relativos à situação do manguezal nessas áreas e o comportamento do ecossistema ao longo dos anos, além do zoneamento do campo de dunas da Ilha de Lençóis, com a delimitação da zona de alimentação, entrada, retenção e de saída de areias.

Palavras-chave: manguezal, deslocamento de dunas, RESEX Cururupu

Resumen. El sistema de dunas y el manglar son rasgos propios de la compleja dinámica de las zonas costeras. En este contexto, esta investigación tuvo como objetivo analizar la zona costera del estado de Maranhão, una región que presenta particularidades físicas que permiten el amplio desarrollo de estos ecosistemas, y más específicamente el litoral occidental maranhense, con énfasis en la Unidad de Conservación (UC) RESEX Marina de Cururupu. La región está compuesta por un complejo mosaico paisajístico que incluye campos dunares, un extenso manglar, además de la ocupación histórica por comunidades tradicionales costeras distribuidas en diferentes islas. Así, se observa una intensa interacción entre la dinámica del medio físico y las comunidades, en escenarios de soterramiento del manglar y de las viviendas debido al desplazamiento de dunas y a la acción eólica en la región. La investigación buscó reconocer e investigar los orígenes y los factores que actúan en la dinámica dunar a partir de la identificación y el mapeo de los cuerpos sedimentarios, así como identificar los impactos socioambientales generados y reconocer los cambios en las formas del paisaje del área de estudio a lo largo del tiempo. Para ello, se elaboró una base de datos con imágenes de buena calidad visual del área de estudio, proporcionadas por la USGS, de la serie Landsat (4, 5, 7 y 8), para su posterior análisis espaciotemporal. Se realizaron dos trabajos de campo (2022 y 2024), en los cuales se obtuvieron datos primarios cualitativos y cuantitativos. Como resultados, fue posible identificar áreas con tensiones complejas derivadas de la dinámica sedimentaria, como en las comunidades de Ilha de Lençóis y Guajerutiua, con procesos de deposición y desplazamiento dunar, además de delimitar posibles causas y factores. Asimismo, se obtuvieron datos sobre la situación del manglar en estas áreas y el comportamiento del ecosistema a lo largo de los años, además de la zonificación del campo de dunas de la Ilha de Lençóis, con la delimitación de las zonas de alimentación, entrada, retención y salida de arenas.

Palavras-chave: manglares, desplazamientos dunares, RESEX Cururupu

Summary. The dune system and mangroves are key features of the complex dynamics of coastal zones. In this context, this study analyzes the coastal zone of the state of Maranhão, a region whose physical characteristics favor the extensive development of these ecosystems, with a particular focus on the western Maranhão coast and the Cururupu Marine Extractive Reserve (RESEX). The area is characterized by a complex landscape mosaic composed of dune fields, an extensive mangrove system, and the long-standing occupation of traditional coastal communities distributed across several islands. This setting reflects an intense interaction between physical environmental dynamics and local populations, especially in scenarios involving the burial of mangroves and dwellings due to dune displacement and aeolian processes. The study aims to identify and examine the origins and controlling factors of dune dynamics through the mapping and analysis of sedimentary bodies, as well as to assess associated socio-environmental impacts and

landscape changes over time. A geospatial database was developed using high-quality imagery from the USGS Landsat series (4, 5, 7, and 8) to support spatiotemporal analysis. In addition, two field campaigns (2022 and 2024) provided qualitative and quantitative primary data. The results highlight areas affected by complex sedimentary dynamics, particularly in the communities of Ilha de Lençóis and Guajerutiua, where dune deposition and migration processes are prominent, allowing for the identification of potential driving factors. Furthermore, the study provides insights into the condition and temporal behavior of mangrove ecosystems and proposes a zoning scheme for the dune field of Ilha de Lençóis, including the delineation of sediment supply, entry, retention, and output zones.

Key words: mangroves, dunes shift, RESEX Cururupu

1 Introdução

Agências internacionais, especialmente a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI-UNESCO), desenvolvem metodologias para apoiar políticas públicas na prevenção de riscos climáticos costeiros. No Brasil, há avanços científicos sobre o tema, mas persistem desafios, sobretudo na região Norte. No Maranhão, dunas avançam sobre manguezais, possivelmente por dinâmicas naturais intensificadas por mudanças meteorológicas, com impactos socioambientais em estudo.

Esta pesquisa analisou a interação entre dunas e manguezais na costa maranhense, ambiente dinâmico (Godoy, 2015; Lyra, 2022), investigando migrações dunares e seus efeitos. As dunas, formadas por sedimentos finos, acumulam-se em áreas de menor vento e relacionam-se a oscilações do nível do mar, como também observado no Ceará e nos Lençóis Maranhenses, litoral oriental do Maranhão (MA). (Godoy, 2015; Santos, 2008).

Quanto aos manguezais, são ecossistemas costeiros que interagem com sistemas atmosférico, terrestre e marinho, onde adaptam-se às condições locais e variam em termos da composição florística e estrutural ao longo do litoral brasileiro (Santos, 2014; Godoy, 2015). Portanto, é crucial realizar pesquisas específicas para essas formações devido às particularidades do ambiente e sua importância na proteção da linha de costa.

Dessa maneira, este estudo visou entender as origens, fatores e desdobramentos dos processos relacionados aos deslocamentos dunares e soterramento de manguezais, como as implicações sociais diretas – soterramento das construções locais – como as indiretas, com a mudança da paisagem e sua dinâmica na RESEX Cururupu/MA (Fig. 1). Além disso, foi proposta a investigação da possibilidade dos impactos das mudanças meteorológicas em tais processos costeiros em contraposição à normalidade da dinâmica sedimentar até então conhecida.

Como ponto central da pesquisa, também foram selecionadas imagens da série Landsat (1; 4; 5; 8 e 9), com um intervalo temporal de 1986 até 2023, para a elaboração de uma base de dados cartográficos, utilizados posteriormente para a análise espaço-temporal dos corpos sedimentares da área de estudo.

2 Métodos ou materiais e métodos

No delineamento metodológico, foram selecionados e adaptados métodos e fontes para atender aos objetivos da pesquisa. Assim, realizou-se a busca por estudos sobre análise espacial de dunas costeiras, como Silva e Dourado (2012), que utilizam recortes temporais para investigar o comportamento sedimentar. Definiu-se o período de 1986 a 2023, com intervalos de cerca de dez anos, permitindo identificar mudanças na paisagem ao longo do tempo.

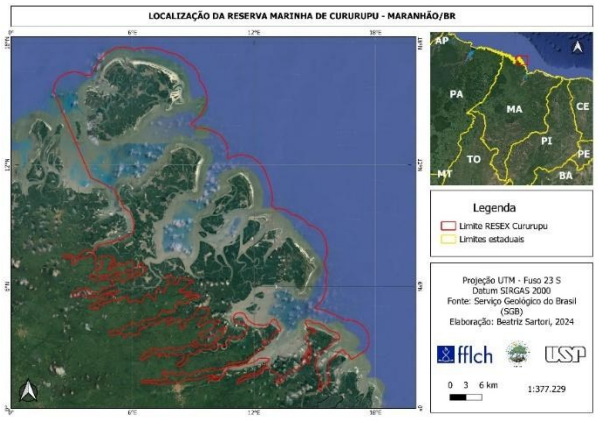


Fig. 1. Localização da RESEX Cururupu/MA.

Dessa maneira, foram selecionadas 16 imagens da série *Landsat* (1; 4; 5; 8 e 9), com o aproveitamento de cinco produtos, preferencialmente do segundo semestre para haver aproximação das estações do ano e as discrepâncias relativas ao estado da vegetação e umidade relativa geral da área não sejam ruídos para as análises.

Foi aplicado o imageamento por falsa-cor a partir das bandas 2, 3, 4 do *Landsat* 4 e 5, e das bandas 3, 4 e 5 do *Landsat* 8. Tais bandas representam a faixa espectral do verde, vermelho e infravermelho próximo e após a realização da composição falsa-cor, foi associado a cor azul, verde e vermelha para cada intervalo de comprimento de onda, respectivamente. Ou seja, essa aplicação possui como intencionalidade o realce da vegetação na cor vermelha, ao associar a faixa espectral do infravermelho próximo a essa coloração, visto que a reflectância desse comprimento de onda é alta em alvos como a vegetação (Ponzoni & Novo 2001).

Para a caracterização dos campos de dunas da área de estudo, foi utilizada a metodologia Santos et al. (2005). Este autor propõe a nominação de quatro zonas a partir de características específicas – zona de alimentação, entrada, retenção e saída – para ser possível compreender um determinado modelo de evolução dos campos de dunas. Somado a isso, foram realizadas coletas em trabalho de campo na região da Comunidade da Ilha de Lençóis – área de elevada vulnerabilidade socioambiental – com a utilização dos coletores de Leatherman (1978) para a

posterior obtenção da carga eólica (Qp) em Kg. m-1. h-1 (equação 1) (Malta, 2012).

$$Qp' = m.\ h.\ t\ /\ \Delta h.\ \Delta t \quad (1)$$

Em adição às coletas de sedimentos realizadas, também foram efetuadas entrevistas com as comunidades locais, a partir de rodas de conversa e trajetos guiados para exploração e conhecimento de pontos específicos do território local.

3 Resultados

Foi realizado no período de 22/01/2024 até 31/01/2024 o trabalho de campo para a área de estudo da pesquisa, junto ao grupo de pesquisadores do projeto "*Vulnerabilidade Socioambiental na Zona Costeira Maranhense: usos múltiplos, serviços ecossistêmicos e alterações climáticas*", financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, etapa que trouxe diversas contribuições e informações para a pesquisa.

A partir de dados primários, coletados em trabalho de campo e análise da paisagem, evidenciou-se a dinâmica erosiva presente nas praias, além de processos deposicionais, que provocaram soterramento de estruturas já presentes, como o mangue e própria comunidade.

Outra forma de aquisição de dados foi por meio de entrevistas com moradores locais. Durante o trabalho de campo, houve sempre um representante da comunidade acompanhando e auxiliando o percurso, além de atuar como interlocutor das questões e percepções sobre o fenômeno e a busca por soluções.

Na comunidade de Ilha de Lençóis, a liderança local foi um importante colaborador ao facilitar a comunicação entre pesquisadores e demandas locais. Ele relatou as migrações da comunidade devido ao avanço das dunas, o soterramento das casas e os impactos desses deslocamentos, além de indicar uma área antes ocupada por moradias que hoje sofrem inundações periódicas da maré.

Outra faceta analisada em relação ao sistema eólico é a partir de um modelo de evolução proposto por Santos et al. (2005), com a definição de quatro sistemas encadeados representados pelas:

- Zona de Alimentação: praias dissipativas de baixa declividade, receptora de material proveniente da plataforma continental interna e do sistema de drenagem.
- Zona de Entrada: planície de deflação eólica onde o material é transportado.
- Zona de Retenção: ambiente limitado pelas outras zonas, normalmente dominado por dunas móveis.
- Zona de Saída: ambientes soterrados por sedimentos eólicos, submetidos posteriormente a transporte fluvial em direção ao mar.

Essas divisões são mais evidentes na comunidade de Ilha de Lençóis, onde se identificam zonas com características distintas. Na Fig. 2, com base nos autores citados e em trabalhos de campo (2022 e 2024), delimitou-se uma zona de alimentação associada a uma praia extensa e de baixa declividade. Também são observadas duas zonas de entrada — onde foram instalados coletores de Leatherman — uma zona de retenção, com dunas mais desenvolvidas, e uma zona de saída, representada pelo canal de maré, por onde os sedimentos retornam à praia e retroalimentam o sistema.

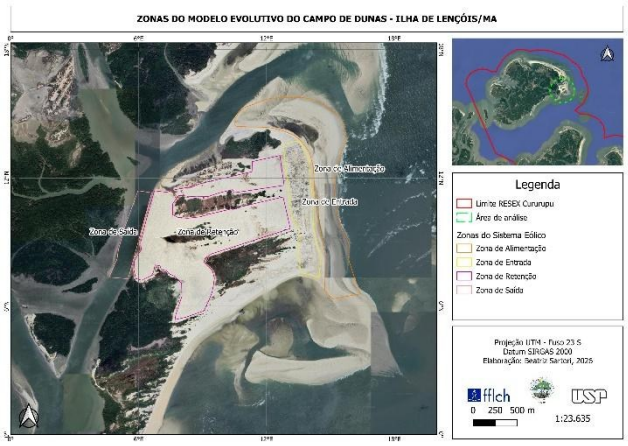


Fig. 2. Mapa com o delineamento das diferentes zonas do sistema eólico da Ilha de Lençóis/MA.

Outra problemática relacionada ao mesmo processo citado anteriormente refere-se é a carga eólica de cada zona de entrada do sistema, dados apresentados na Tabela 1, sendo o primeiro ponto de coleta a zona mais ao norte – como mostra a Figura 2 – demonstrou-se que o volume de sedimentos captado pelo coletor 1 em um período de 24h é quase 15 vezes maior que o ponto 2, outra zona de entrada.

Tabela 1. Dados elaborados da carga eólica a partir de coletas locais na Ilha de Lençóis/MA em jan/2024. Fonte: elaboração dos autores.

Pontos	Coletores	Pesagem (g)	Carga eólica (g/m.h)
1	Superior	0,164	0,04
	Inferior	56,535	19,38
2	Superior	0,164	0,04
	Inferior	4,278	1,47

Outro ponto relevante é a dinâmica sedimentar, com processos de deposição e erosão na RESEX Cururupu. O problema se intensifica quando ocorre próximo às comunidades, gerando impactos na vida local. Um exemplo é a comunidade de Guajerutiua (Fig. 3), onde imagens *Landsat* mostram aumento significativo do corpo sedimentar ao norte.

Dessa maneira, as dinâmicas sedimentares da região se apresentam como grande tensores para as comunidades locais, visto que são identificados soterramentos diretos nas construções e dos manguezais, que são os principais obstáculos para o fluxo de sedimentos.

4 Discussão e Conclusões

A análise indica que a zona de entrada mais ao norte (Fig. 2), onde foi instalado o coletor 1 e registrada maior carga eólica, direciona sedimentos para a comunidade de Ilha de

Lençóis. Assim, materiais oriundos da Plataforma Continental, após chegarem à zona de alimentação, são transportados para oeste, em direção às moradias. Esse processo foi confirmado por moradores em entrevistas, incluindo a necessidade de realocação da escola devido ao soterramento por sedimentos.



Fig. 3. Mapa comparativo das mudanças morfológicas da costa, nos arquipélagos centrais da RESEX Cururupu.

Além disso, a pesquisa sobre a dinâmica sedimentar e a vulnerabilidade socioambiental na Zona Costeira Maranhense evidencia as interações entre processos naturais e comunidades tradicionais. Dados de revisão bibliográfica e campo mostram relações complexas, destacando impactos morfológicos e a adaptação das populações locais.

Os resultados indicam migração de dunas, erosão praial e deposição de sedimentos que afetam manguezais e moradias. Torna-se necessário aprofundar estudos sobre a velocidade desses deslocamentos e a tipologia das dunas, visando melhor compreensão das dinâmicas e possíveis estratégias de mitigação.

Também é essencial investigar o comportamento do manguezal frente ao aumento de sedimentos, dada sua importância ecológica e na proteção costeira, visto que tal ecossistema é um dos principais impedimentos do fluxo sedimentar ser direcionado para as construções das comunidades. Assim, compreender a resposta a essas mudanças é fundamental para ações de conservação socioambiental.

Assim, a continuidade dos estudos sobre a dinâmica dunar e a interação com o manguezal é crucial para fortalecer a resiliência das comunidades e preservar os serviços ecossistêmicos.

5 Referências

Malta, J. V. (2012). Experimento de fluxo de sedimentos em um segmento de campo de dunas eólicas costeiras de Jenipabu - litoral oriental do Rio Grande do Norte [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

Novo, E. M. L. M., & Ponzoni, F. J. (2001). Introdução ao sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Silva, A. S. da, & Dourado, F. de A. (2012). Análise histórica da migração das dunas do Peró, Cabo Frio (RJ). Geo UERJ, 2(23), 437–458. https://doi.org/10.12957/geouerj.2012.4756

Santos, J. H. S., Castro, J. W. A., Gonçalves, R. A., & Santos, N. F. B. (2005). Modelo evolutivo do campo de dunas do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses - MA/Brasil. In Anais do X Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) (pp. 1–6). Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

Santos, A. L. G. dos. (2014). Cartografia dos níveis hierárquicos dos manguezais: uma visão sistêmica [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-06052015-153321/pt-br.html

Santos, J. H. S. (2008). Lençóis Maranhenses atuais e pretéritos: um tratamento espacial [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências.

Lyra, I. N. O. (2022). Estudo geoecológico da paisagem costeira do município de Raposa – MA: bases para o planejamento ambiental [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Maranhão]. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/4359

Godoy, M. D. P. (2015). Alteração nas áreas de mangue em estuários no Estado do Ceará devido a mudanças nos usos do solo e mudanças climáticas [Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará]. Instituto de Ciências do Mar. https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/17669

6 Agradecimentos

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento do projeto de Iniciação Científica nº 2023-1819.

Ao projeto “Vulnerabilidade Socioambiental na Zona Costeira Maranhense: usos múltiplos, serviços ecossistêmicos e alterações climáticas” (processo 423311/2021-2).

Sucesión de la vegetación sobre islas arenosas arrecifales en la comarca indígena de Guna Yala (Panamá)

Gómez Ponce, Cinta[1], Díaz del Olmo, Fernando[1] y Cámara Artigas, Rafael[1]

[1] Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla. c/ Maria de Padilla s/n, 41004 Sevilla, España
rcamara@us.es

Resumen. La Comarca indígena de Guna Yala se encuentra localizada el nordeste del istmo de Panamá, bañada por el más Caribe. Culturalmente están muy vinculados a la explotación marina y sus principales concentraciones poblaciones se encuentran sobre islas. Está conformada por una parte continental con bosque ombrófilo muy bien conservada, y una parte marina dominada por un sistema de arrecife de coral de barrera que encierra en su amplio lagoon diferentes manifestaciones de arrecifes parches y arrecifes frangeantes. Se estudia la sucesión de vegetación a partir de la evolución geomorfológica de cayos arenosos sobre parches de arrecife en el lagoon interior del arrecife de Barrera de Guna Yala en Panamá. Para ello se utilizan técnicas de teledetección para la identificación de los parches arrecifales y técnicas de trabajo de campo para identificar la evolución de la vegetación según las diferentes fases de evolución desde cayos arenosos a islas con vegetación. El sistema arrecifal de Gaymau Dupgan se localiza en el extremo más oriental del Corregimiento de Narganá en el Golfo de Guna Yala. Se realiza una identificación de las unidades ambientales a partir de clasificación de imagen de satélite, y a partir de las islas arenosas y bioconglomeráticas de coral muerto dan lugar a islas con manglar y su evolución posterior a vegetación natural de bosque ombrófilo. Esta aportación supone un claro ejemplo de evolución biogeomorfológica de dinámica reciente y rápida, Se identifican a su vez seis fases en la sucesión hasta la fitoestabilización de los cayos arenosos, así como los efectos de la bajada del nivel del mar en el postflandriense sobre la propia configuración y evolución de estos cayos en su evolución Holocena. El aumento del nivel del mar por el cambio climático establece una situación crítica para la conservación de estas islas, que como hemos mencionado algunas de las cuales están habitadas.

Palabras clave: arrecife de coral, comarca indígena, bosque ombrófilo, manglar, fitoestabilización

Resumo. A região indígena de Guna Yala está localizada no nordeste do istmo do Panamá, banhada pelo Caribe. Culturalmente estão intimamente ligados à exploração marinha e as suas principais concentrações populacionais encontram-se em ilhas. É composto por uma parte continental com uma floresta ombrófila muito bem preservada, e uma parte marinha dominada por um sistema barreira de recifes de corais que contém em sua grande lagoa diferentes manifestações de recifes em manchas e recifes em franja. A sucessão da vegetação é estudada a partir da evolução geomorfológica de ilhotas arenosas em manchas de recifes na lagoa interior da Barreira de Corais de Guna Yala, no Panamá. Para isso, são utilizadas técnicas de detecção remota para identificar manchas de recife e técnicas de trabalho de campo para identificar a evolução da vegetação de acordo com as diferentes fases de evolução, desde ilhotas arenosas até ilhas com vegetação. O sistema de recifes Gaymau Dupgan está localizado no extremo leste do município de Narganá, no Golfo de Guna Yala. A identificação das unidades ambientais é realizada com base na classificação de imagens de satélite, e das ilhas arenosas e bioconglomeráticas de corais mortos dão origem às ilhas com manguezais e sua posterior evolução para vegetação natural de floresta ombrófila. Esta contribuição é um exemplo claro de evolução biogeomorfológica de dinâmica recente e rápida. São identificadas seis fases na sucessão até à fitoestabilização das chaves arenosas, bem como os efeitos da descida do nível do mar no pós-Flandriano na própria configuração e evolução destas chaves na sua evolução Holocénica. A subida do nível do mar devido às alterações climáticas estabelece uma situação crítica para a conservação destas ilhas, que, como já referimos, algumas das quais são habitadas.

Palavras-chave: recife de coral, região indígena, floresta ombrófila, manguezal, fitoestabilização

Abstract. The indigenous region of Guna Yala is located in the northeast of the isthmus of Panama, bathed by the Caribbean. Culturally they are closely linked to marine exploitation and their main population concentrations are found on islands. It is made up of a continental part with a very well-preserved ombrophyllous forest, and a marine part dominated by a barrier coral reef system that contains in its large lagoon different manifestations of patch reefs and franging reefs. The succession of vegetation is studied from the geomorphological evolution of sandy cays on reef patches in the interior lagoon of the Guna Yala Barrier Reef in Panama. To do this, remote sensing techniques are used to identify reef patches and field work techniques to identify the evolution of vegetation according to the different phases of evolution from sandy cays to islands with vegetation. The Gaymau Dupgan reef system is located at the easternmost end of the Narganá Township in the Gulf of Guna Yala. An identification of the environmental units is carried out based on satellite

image classification, and from the sandy and bioconglomeratic islands of dead coral, they give rise to islands with mangroves and their subsequent evolution to natural vegetation of ombrophyllous forest. This contribution is a clear example of biogeomorphological evolution of recent and rapid dynamics. Six phases are identified in the succession until the phytostabilization of the sandy keys, as well as the effects of the drop in sea level in the post-Flandrian on the very configuration and evolution of these keys in their Holocene evolution. The rise in sea level due to climate change establishes a critical situation for the conservation of these islands, which, as we have mentioned, some of which are inhabited.

Keywords: coral reef, indigenous region, ombrophyllous forest, mangrove, phytostabilization

1 Introducción

La comarca de Guna Yala se localiza el noreste de la República de Panamá, en la cuenca del Caribe. Dicha comarca se distribuye en: una parte continental con bosques ombrófilos en los que se practica por parte de los índigenas guna cultivos de roza, tumba y quema; una parte marina con una barrera arrecifal y un gran lagoon, en el que se localizan islas sobre parches de arrecife de diferentes tamaños, algunas de ellas habitadas. Los poblados indígenas se encuentran en estas islas, y sus habitantes viven tradicionalmente de la pesva, o de los cultivos o caza en la parte continental. Actualmente el turismo es una de las actividades importantes en la comarca, pero el Congreso Guna lo tiene muy monitorizado y cobran por dicha actividad extranjera o nacional.

El tránsito costero marino continental se resuelve a través de manglares y ciénagas costeras, y arrecifes frangeantes, allí donde la ausencia de desembocaduras fluviales permite el desarrollo de los corales.

El objetivo de este trabajo es presentar la sucesión de vegetación en la fitoestabilización de los caños arenosos e islas arenosas y bioconglomeráticas de coral muerto, ya que esta evolución se puede constatar en sus diferentes etapas en ejemplos actuales existentes en la Comarca. El trabajo de campo se realizó en el sistema arrecifal de Gaymau Dupgan que se localiza en el extremo más oriental del Corregimiento de Narganá en el Golfo de Guna Yala

2 Métodos o materiales y métodos.

Para la realización de esta investigación se ha procedido a partir de trabajo de campo con inventarios de vegetación y foto aérea. Para ello fue necesario la utilización de una barca para el desplazamiento entre los diferentes ejemplos de las etapas de sucesión existente en la comarca, confirmado a partir del estudio diacrónico de fotogramas aéreos disponible en el Instituto cartográfico de Panamá Tommy Guardia, así como el uso y clasificación de imágenes de satélite Landasat TM y ETM+, a partir de los sitios de entrenamientos geoposicionados en los trabajos de campo.

Se realiza una identificación de las unidades ambientales a partir de clasificación de imagen de satélite, y a partir de las islas arenosas y bioconglomeráticas de coral muerto dan lugar a islas con manglar y su evolución posterior a vegetación natural de bosque ombrófilo.

3 Resultados

Las islas arenosas y bioconglomeráticas presentan diferentes tipologías:

- Islas con terraza coralina emergida: islas rocosas que, desde el punto de vista evolutivo presentan una terraza coralina a +3 m sobre el nivel del mar actual. Son islas bastante desarrolladas, que presentan procesos de karstificación. Este tipo de islas están ocupadas por parcelas de cultivos dedicadas a la explotación de coco, plátano y guineo, mango, entre otras.
- Islas con cubeta interior con o sin manglar: presentan una cubeta muy desarrollada formada por la sucesión vegetal mangle rojo (*Rhizophora mangle*) con cubeta inundada, mangle rojo (*R. mangle*) en posición de cubeta intermedia y mangle rojo y mangle negro (*R. mangle* y *Avicennia germinans*) sobre cubeta no inundada. Los límites entre la cubeta propiamente dicha y la duna costera están ocupados por icaco (*Crisobalanus icaco*) y níger (*Randia sp.*) con algún individuo de mangle botón (*Conocarpus erectus*) que se extiende hasta la duna costera. Islas con cubeta interior con o sin *Achrostichium* y *Rynchophora*: presentan una cubeta muy desarrollada formada por la sucesión vegetal de helecho de manglar (*Acrostichium aureum*) y la malpigiacea *Rynchophora* que se dispone en el tránsito entre la cubeta propiamente dicha y la duna costera.
- Islas rocosas: compuestas por antiguos arrecifes que se han levantado por la actividad tectónica o bien por una bajada del nivel de mar y que están siendo colonizados por especies pioneras tales como el diente de león (*Portulaca oleraceae*) y el lirio de playa (*Hymenocallis litoralis*).

Una vez descritos los tipos de islas, se han registrado seis modelos de ellas según factores geomorfológicos Fig. 1 y biogeográficos y dos modelos identificados según la variabilidad del nivel del mar (Fig. 2), añadido a los dos factores antes mencionados.

El primero de ellos, A1, sobre un substrato formado casi exclusivamente por conglomerados de coral muertos, se desarrolla un nivel procedente de la desagregación del substrato antes mencionado compuesto por arenas arrecifales y detritos de coral. Sobre ellos, se dispone un depósito de arenas arrecifales y, en algunas ocasiones, detritos de coral, que evoluciona hacia la formación de un cayo de arena.

El segundo modelo, A2, conserva las mismas características geomorfológicas que A1, sólo que el nivel correspondiente a arenas arrecifales permanece sumergido y está colonizado por *R. mangle* enano. A este modelo se le pueden

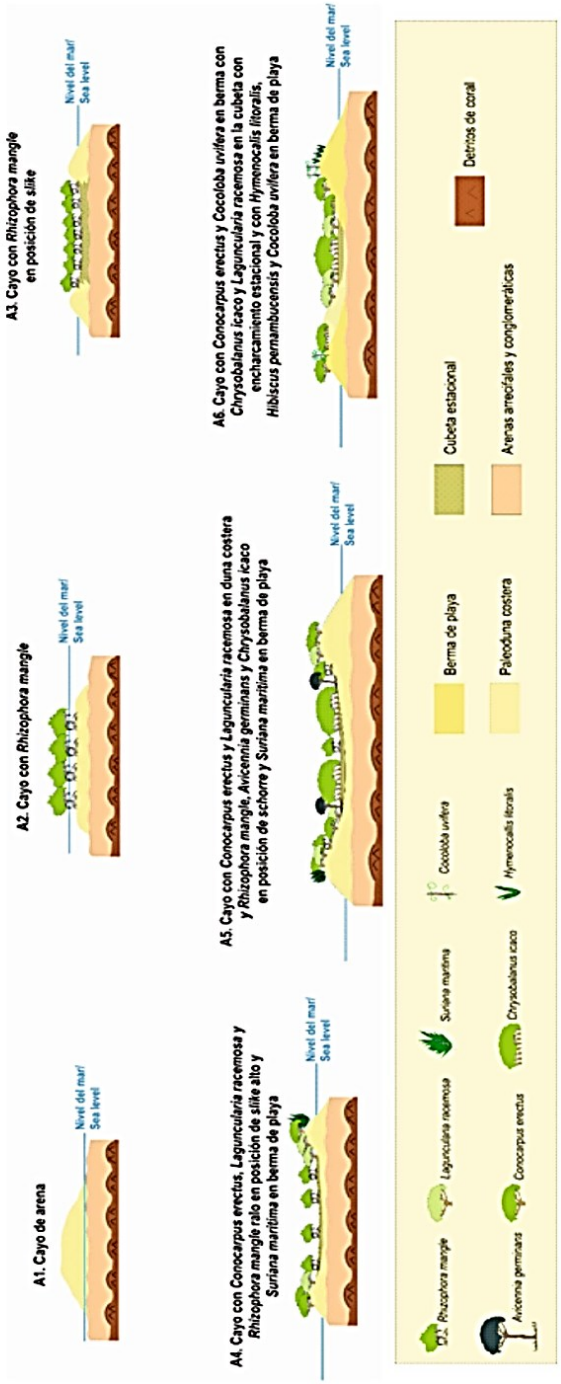


Fig. 1. Sucesión de vegetación en cayos arenosos en Guna Yala

equiparar las islas de Ashuerdup (Sichirdup Dupgan), Ailidup, Nugwa aili (SE del Golfo de Kuna Yala), entre otras.

El modelo A3, evolucionando desde A1, desarrolla en el centro del cayo de arena un nivel inundable en posición de slike bajo, como consecuencia del flujo y reflujo mareal, el cual es colonizado por *R. mangle*.

El modelo A4 presenta, en la duna costera, especies tales como *Suriana maritima*, *C. erectus y L. racemosa*. Esta última invade progresivamente la cubeta inundable, esta vez en posición de *slike* alto (Paskof, 1993), compuesta por *R. mangle* bastante ralo y *Killinga pumila*.

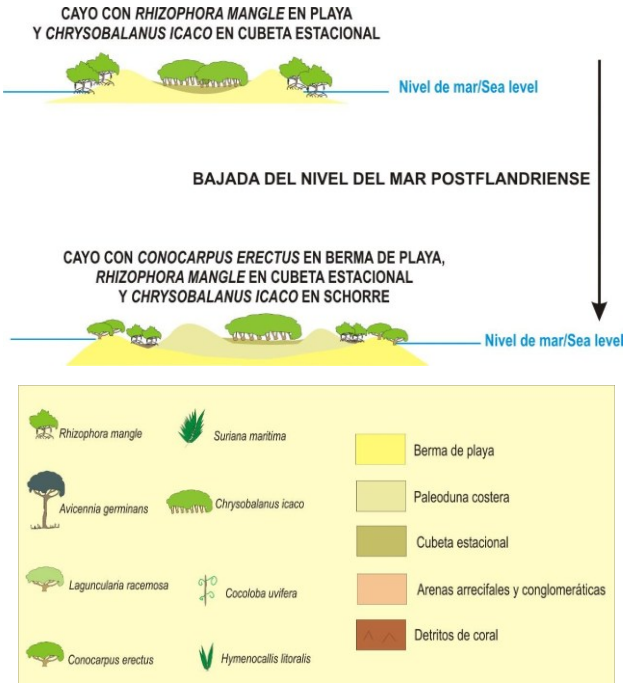


Fig. 2. Variación del nivel del mar y repercusión en la sucesión vegetal sobre los cayos arenosos

Sobre el modelo anterior, en A5 el *R. mangle* va siendo sustituido por *Chrysobalanus icaco*, aunque todavía quedan algunos individuos sobre la cubeta inundable en posición de *schorre* bajo (Paskof, 1993)). En el contacto entre la cubeta y la duna costera existen especies de *A. germinans* y *L. racemosa*. Sobre la duna costera se instalan el *C. erectus* y *S. marítima*.

El modelo A6 presenta sobre la duna costera menor proporción de *C. erectus* y *L. racemosa* que van siendo sustituidas por *C. icaco* y *Cocoloba uvifera*, con *Hibiscus pernanbucensis* y *Hymenocallis littoralis*.

La cubeta presenta un encharcamiento estacional, en posición de *schorre* alto con individuos de *L. racemosa* y *C. icaco* dominante.

Así, con todo ello, las tipologías de islas se pueden resumir en la Fig. 1, donde se definen estas islas desde el punto de vista geomorfológico y biosedimentario y en la Fig. 2, donde se le añaden las variabilidades del nivel del mar.

Partiendo de una isla en fase A3 y A4, con un nivel del mar en torno a 0.5 m por encima del nivel actual, en el máximo transgresivo (6.000 BP), se desarrolla una pantalla de *R. mangle* en posición de *backshore* y *shoreface*.

Una vez alcanzado el mar el máximo nivel para la fecha de 6.000 BP, se producde una bajada progresiva, con algún repunte de subida, hasta los niveles actuales. Como consecuencia de esa bajada continuada, se desarrolla una nueva duna costera, generando una cubeta en posición de *slike* bajo, ocupada por el *R. mangle* que anteriormente se encontraba en posición de *backshore y shoreface*. La nueva duna costera queda ocupada por *Conocarpus erectus*. Asimismo, la cubeta de los modelos A3 y A4 en posición de *slike* y *slike alto*, evoluciona hacia posición de *schorre.*

4 Discusión

No existen actualmente trabajos sobre la sucesión de la vegetación en los cayos de arena y conglomerados arrecifales de Guna Yala, solo la tesis de C. Gómez (2016). Estas islas, en su mayoría, se cultivan con cocoteros, fuentes de ingresos, además de la pesca, de la comunidad indígena d ela Comarca. Las principales aportaciones tratan sobre la problemática de la desaparición de las islas por la subida del nivel del mar debido al cambio climático (Ros et al., 2020; IPCC, 2022; Díaz et al. 2025; Galindo & García, 2025), con mayor vulnerabilidad a las tormentas, que supondrá una cambio y alteración fundamentalmente en la vegetación de manglar y en la de las islas como una vegetación en etapas maduras de la sucesión, y la consiguiente afectación a las islas pobladas.

5 Conclusiones

Esta aportación supone un claro ejemplo de evolución biogeomorfológica de dinámica reciente y rápida, Se identifican a su vez seis fases en la sucesión hasta la fitoestabilización de los cayos arenosos, así como los efectos de la bajada del nivel del mar en el postflandriense sobre la propia configuración y evolución de estos cayos en su evolución Holocena. El aumento del nivel del mar por el cambio climático establece una situación crítica para la conservación de estas islas, que como hemos mencionado algunas de las cuales están habitadas.

6 Referencias

Díaz E., Escalona, S., Ramos, H., Yanisselly L. (2025). Adaptación Climática y Resiliencia Socioambiental en Comunidades Indígenas Costeras: Un Modelo de Reubicación Sostenible para Gardí Sugdub (Guna Yala, Panamá). *Bionatura Journal* 2(4):1-19. https://doi.org/10.70099/BJ/2025.02.04.3

Galindo, L. & García F. (2025). Island communities and sea level rise: Resettlement and maladaptation, the Kuna people of Isberyala, Panama. *International Journal of Disaster Risk Reduction* (119) 105313. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105313

Gómez, C. (2016). *Arrecifes coralinos. Biogeomorfología y aplicaciones cartográficas para la ordenación de los recursos naturales.* Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., et al. (Eds.)]. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

Paskof, R. (1993). *Les littoraux: Impact des aménagements sur leur évolution*. Paris: Masson.

Ros-García, J. M., Irastorza-Ruigómez, L., & González-Lezcano, R. A. (2020). Previsiones del impacto sobre el cambio climático: archipiélago de San Blas (Panamá). *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*. https://doi.org/10.37230/CyTET.2020.205.09

Vegetation Patterns and Coastal Risk in a Mediterranean Protected Area: Biogeographical Implications for Conservation

Daniela Ciccarelli[1], Viola Alessandrini[1], Duccio Bertoni[1] and Nelson Rangel-Buitrago[2]

[1] Università di Pisa, Pisa, Italia
[2] Universitad del Atlántico, Barranquilla, Colombia
daniela.ciccarelli@unipi.it

Abstract. Mediterranean coastal systems represent complex biogeographical mosaics of high ecological value, where natural dynamics and long-term anthropogenic pressures interact at multiple spatial scales. Despite their protected status, many coastal landscapes continue to experience increasing levels of vulnerability, particularly in relation to shoreline erosion, tourism, and land use change. In this context, vegetation plays a central role both as a structural component of coastal ecosystems and as an effective indicator of environmental integrity. In this study, coastal risk patterns within Maremma Regional Park (central Italy), a Mediterranean protected area characterized by a heterogeneous mosaic of dune habitats and varying degrees of human influence, were examined. A vegetation-based approach was applied to explore spatial variability in coastal risk, integrating plant community information with geomorphological and human-related factors. The resulting spatial analysis highlights differences in risk levels across the study area, revealing how well-preserved dune vegetation is associated with lower risk, whereas altered or fragmented plant communities correspond to higher risk conditions. The results highlight the persistence of localized critical sectors even within protected areas and emphasize the biogeographical significance of vegetation patterns in reflecting both past and ongoing pressures. The northern sectors of the park show greater risk linked to urban proximity and intensive tourist use, whereas the southern sectors retain greater ecological continuity but remain sensitive to disturbance. From a conservation perspective, these findings support the need for differentiated management strategies, including access regulation, protection of key plant communities, habitat restoration, and long-term ecological monitoring. By reinforcing the links among vegetation, coastal dynamics, and spatial patterns of risk, this study contributes to a biogeographical understanding of Mediterranean coastal landscapes and highlights the relevance of plant-based indicators for conservation planning under current environmental change.

Keywords: dune habitats, land use, shoreline erosion, tourism, vulnerability

Resumen. Los sistemas costeros mediterráneos representan mosaicos biogeográficos complejos de alto valor ecológico, donde las dinámicas naturales y las presiones antrópicas de larga duración interactúan a múltiples escalas espaciales. A pesar de su estatus de protección, muchos paisajes costeros continúan experimentando niveles crecientes de vulnerabilidad, particularmente en relación con la erosión de la línea de costa, el turismo y los cambios en el uso del suelo. En este contexto, la vegetación desempeña un papel central tanto como componente estructural de los ecosistemas costeros como indicador eficaz de la integridad ambiental. Este estudio analiza los patrones de riesgo costero en el Parque Regional de la Maremma (Italia central), un área protegida mediterránea caracterizada por un mosaico heterogéneo de hábitats dunares y distintos grados de influencia humana. Se adoptó un enfoque basado en la vegetación para explorar la variabilidad espacial del riesgo costero, integrando información sobre comunidades vegetales con factores geomorfológicos y antrópicos. El análisis espacial resultante pone de manifiesto diferencias en los niveles de riesgo a lo largo del área de estudio, mostrando que la vegetación dunar bien conservada se asocia con condiciones de menor riesgo, mientras que las comunidades vegetales alteradas o fragmentadas corresponden a condiciones de mayor riesgo. Los resultados destacan la persistencia de sectores críticos localizados incluso dentro de áreas protegidas, subrayando la relevancia biogeográfica de los patrones de vegetación como reflejo de presiones pasadas y actuales. Los sectores norte del parque presentan mayor riesgo asociado a la proximidad urbana y al uso turístico intensivo, mientras que los sectores sur conservan mayor continuidad ecológica, aunque siguen siendo sensibles a perturbaciones. Desde una perspectiva de conservación, estos resultados respaldan la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas, incluyendo la regulación del acceso, la protección de comunidades vegetales clave, la restauración de hábitats y el monitoreo ecológico a largo plazo. Al reforzar los vínculos entre vegetación, dinámica costera y patrones espaciales de riesgo, este estudio contribuye a una comprensión biogeográfica de los paisajes costeros mediterráneos y destaca la relevancia de los indicadores basados en la vegetación para la planificación de la conservación en el contexto del cambio ambiental actual.

Palabras clave: hábitats dunares, uso del suelo, erosión de la línea de costa, turismo, vulnerabilidad.

Resumo. Os sistemas costeiros mediterrânicos representam mosaicos biogeográficos complexos de elevado valor ecológico, onde dinâmicas naturais e pressões antrópicas de longa duração interagem em múltiplas escalas espaciais. Apesar do seu estatuto de proteção, muitas paisagens costeiras continuam a apresentar níveis crescentes de

vulnerabilidade, particularmente em relação à erosão da linha de costa, ao turismo e às mudanças no uso do solo. Neste contexto, a vegetação desempenha um papel central tanto como componente estrutural dos ecossistemas costeiros quanto como um indicador eficaz da integridade ambiental. Este estudo analisa os padrões de risco costeiro no Parque Regional da Maremma (Itália central), uma área protegida mediterrânica caracterizada por um mosaico heterogéneo de habitats dunares e por diferentes níveis de influência humana. Foi adotada uma abordagem baseada na vegetação para explorar a variabilidade espacial do risco costeiro, integrando informação sobre comunidades vegetais com fatores geomorfológicos e antrópicos. A análise espacial resultante evidencia diferenças nos níveis de risco ao longo da área de estudo, mostrando que a vegetação dunar bem conservada está associada a condições de menor risco, enquanto comunidades vegetais alteradas ou fragmentadas correspondem a condições de maior risco. Os resultados destacam a persistência de setores críticos localizados mesmo em áreas protegidas, sublinhando a relevância biogeográfica dos padrões de vegetação como reflexo de pressões passadas e atuais. Os setores norte do parque apresentam maior risco associado à proximidade urbana e ao uso turístico intensivo, enquanto os setores sul mantêm maior continuidade ecológica, embora permaneçam sensíveis a perturbações. Do ponto de vista da conservação, estes resultados sustentam a necessidade de estratégias de gestão diferenciadas, incluindo regulação de acessos, proteção de comunidades vegetais-chave, restauração de habitats e monitorização ecológica de longo prazo. Ao reforçar as ligações entre vegetação, dinâmica costeira e padrões espaciais de risco, este estudo contribui para uma compreensão biogeográfica das paisagens costeiras mediterrânicas e destaca a relevância de indicadores baseados na vegetação para o planeamento da conservação num contexto de mudança ambiental atual.

Palavras-chave: habitats dunares, uso do solo, erosão da linha de costa, turismo, vulnerabilidade..

1 Introduction

Mediterranean coastal systems represent dynamic biogeographical transition zones, where the interactions among marine, terrestrial, and atmospheric processes shape heterogeneous landscapes (Nordstrom, 2000). Within these systems, coastal dunes play key ecological and functional roles as biodiversity reservoirs and natural buffers against erosion (Hesp, 2002; Maun, 2009). Their dynamics are strongly influenced by interactions between geomorphological processes and vegetation, particularly psammophilous communities that stabilize sediments and modulate environmental conditions (Acosta & Ercole, 2015).

In recent decades, increasing anthropogenic pressures—such as tourism, urbanization, and land use change—together with climate-driven factors, including sea-level rise and extreme events, have intensified coastal vulnerability (Mo et al., 2021; Oppenheimer et al., 2019). Consequently, coastal risk assessment has become central to management strategies (Bonetti & Woodroffe, 2017; McLaughlin & Cooper, 2010), with increasing attention given to the ecological dimension of risk and the role of vegetation in coastal system stability (Abuodha & Woodroffe, 2006).

Vegetation patterns, reflecting the interaction of abiotic gradients and disturbance regimes, provide a suitable basis for a biogeographical interpretation of coastal risk (García-Mora et al., 1999). In this context, vegetation-based indices such as the Vegetation Risk Index (VRI) link plant community structure with geomorphological and anthropogenic factors, improving the spatial assessment of vulnerability (Alessandrini et al., 2024).

In this study, a vegetation-based approach is applied to the coastal dune systems of Maremma Regional Park (southern Tuscany, Italy), a protected area characterized by environmental heterogeneity and a Mediterranean subarid climate (Pinna, 1985). The aim is to explore how vegetation patterns inform coastal risk assessment from a biogeographical perspective. The dataset and core results are based on Ciccarelli et al. (2026) and are reinterpreted in this framework.

2 Study area and methods

The study was conducted in Maremma Regional Park (central Italy), along ~30 km of the southern Tuscan coast, including 14 km of sandy dune systems around the Ombrone River mouth. The coastal plain developed over the last two millennia through fluvial sediment deposition, with progradation phases linked to historical land use changes (Bellotti et al., 2004; Pranzini, 2001). Since the late 19th century, reduced sediment supply has triggered shoreline erosion, which is partly balanced by accretion in adjacent sectors, while coastal defenses have further altered sediment dynamics. The area is characterized by a microtidal regime (<40 cm), moderate wave energy, and fine sandy sediments supporting dune development (Cipriani et al., 2013; Bertoni et al., 2014).

Risk was assessed using the Vegetation Risk Index (VRI) (Alessandrini et al., 2024), which is based on the interaction between hazards and vulnerability (IPCC, 2023). The methodological framework and dataset follow Ciccarelli et al. (2026), with a specific focus here on the biogeographical interpretation of vegetation–risk relationships. The coastline was divided into 13 coastal units (1000 × 500 m) and analyzed in a GIS environment. Hazards included coastal forcing (marine dynamics) and susceptibility (geomorphology, infrastructure, vegetation), while vulnerability integrated socioeconomic, cultural, and ecological components, with particular attention given to plant communities.

The variables were standardized on an ordinal scale and processed using QGIS and R (R Core Team, 2022; QGIS.org). The resulting indices were classified into five risk levels (very low to very high) and mapped to describe spatial variability.

3 Results

Coastal forcing is predominantly moderate throughout the study area, with higher values concentrated south of the Ombrone River, where increased wave exposure and morphodynamic variability enhance coastal dynamics. In contrast, coastal susceptibility generally remains low, with only localized increases associated with reduced dune development and limited protective features.

Socioeconomic vulnerability is largely low, except in the northern sector, where anthropogenic pressures are more pronounced, while cultural vulnerability peaks near the Ombrone River mouth. Ecological vulnerability is consistently medium to high, reflecting the conservation status and continuity of dune vegetation (Figure 1).

Overall vulnerability is predominantly moderate along the coastline. The resulting risk pattern also shows mainly moderate conditions, with localized high-risk sectors and limited areas of low risk (Figure 1).

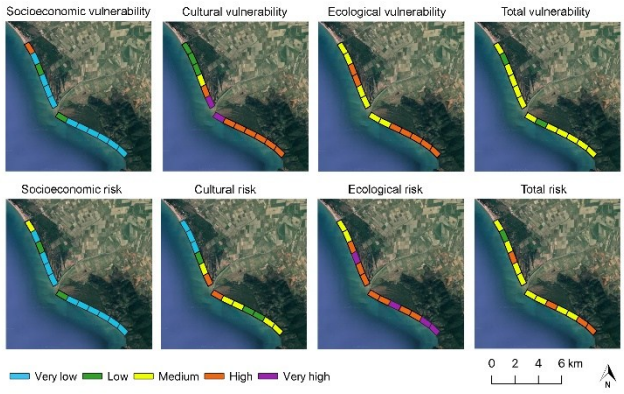


Fig. 1. Spatial distributions of vulnerabilities and overall risks across Maremma Park.

4 Discussion

Spatial assessments of coastal risk highlight the biogeographical significance of vegetation patterns as integrative indicators of coastal dynamics and disturbance regimes. Within Mediterranean dune systems, vegetation reflects the interaction between environmental gradients and disturbance processes and acts as a spatially explicit proxy of ecosystem stability and change. The application of the VRI (Alessandrini et al., 2024) confirms that well-structured psammophilous vegetation is associated with lower risk conditions, whereas fragmented communities are associated with greater vulnerability.

The north–south gradient observed in Maremma Park reflects the interplay between anthropogenic pressure and ecological continuity: northern sectors, which are more exposed to tourism and urban influence, are more vulnerable, whereas southern sectors retain greater natural integrity but remain sensitive to erosion processes. This gradient can be interpreted as a biogeographical pattern shaped by both legacy effects and current disturbance regimes, emphasizing how coastal landscapes function as mosaics where vegetation structure records the cumulative effects of environmental and human drivers.

From a conservation perspective, these results support the adoption of differentiated, spatially explicit management strategies. In more disturbed sectors, regulating access and promoting sustainable tourism are essential (Ioppolo et al., 2013), whereas in more natural areas, priority should be given to habitat protection and dune restoration on the basis of natural processes (Lithgow et al., 2013; Roig-Munar et al., 2012). In this context, the role of native vegetation is crucial, as psammophilous species contribute to sediment stabilization and enhance dune resilience to erosion and extreme events (García-Mora et al., 1999; Feagin et al., 2015).

Although data availability and processing remain context-dependent constraints, the VRI provides a flexible and transferable tool for linking vegetation, coastal processes, and risk patterns, supporting a biogeographical interpretation of coastal vulnerability across Mediterranean landscapes.

5 Conclusions

This study demonstrates that vegetation-based approaches provide an effective framework for interpreting coastal risk from a biogeographical perspective. Vegetation patterns act as key indicators of environmental gradients and disturbance regimes and contribute to coastal stability and resilience. Integrating ecological indicators into risk assessment improves the identification of critical sectors and supports spatially explicit management strategies. These results highlight the importance of conserving dune vegetation as a key component of Mediterranean coastal systems under ongoing environmental change.

6 References

Abuodha, P. A. W., & Woodroffe, C. D. (2006). Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast. https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1189&context=scipapers

Acosta, A. T. R., & Ercole, S. (Eds.) (2015). Gli Habitat delle Coste Sabbiose Italiane: Ecologia e Problematiche di Conservazione. Serie Rapporti, 215/2015. ISPRA, Rome.

Alessandrini, V., Bertoni, D., Rangel-Buitrago, N., & Ciccarelli, D. (2024). Implementing a vegetation-based risk index to support management actions in Mediterranean coastal dunes. *Ocean and Coastal Management*, 252, 107105. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107105

Bellotti, P., Caputo, C., Davoli, L., Evangelista, S. Garzanti, E., Pugliese, F., & Valeri, P. (2004). Morpho-sedimentary characteristics and Holocene evolution of the emergent part of the Ombrone River delta (southern Tuscany). *Geomorphology*, 61, 71–90. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.11.007

Bertoni, D., Biagioni, C., Sarti, G., Ciccarelli, D., & Ruocco, M. (2014). The role of sediment grain-size, mineralogy, and beach morphology on plant communities of two Mediterranean coastal dune systems. *Italian Journal of Geosciences*, 133, 271–281. https://doi.org/10.3301/IJG.2014.09

Bonetti, J., & Woodroffe, C. (2017). Spatial analysis on GIS for coastal vulnerability assessment. In Bartlett, D., & Celliers, L. (Eds.), *Geoinformatics for Marine and Coastal Management* (pp. 367–396). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Ciccarelli, D., Alessandrini, V., Bertoni, D., Rangel-Buitrago, N. (2026). Applying the Vegetation-Based Risk Index (VRI) to Mediterranean Coasts: Lessons from Maremma Park, Italy. *Journal of Coastal Research*, 42(2), 302-314. https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-25-00007.1

Cipriani, L. E., Pranzini, E., Vitale, G., & Wetzel, L. (2013). Adaptation to beach erosion at Maremma Regional Park (Tuscany, Italy). *Geo-Eco-Marina*, 19, 65–76.

Feagin, R. A., Figlus, J., Zinnert, J. C.; Sigren, J., Martínez, M. L., Silva, R., Smith, W. K., Cox, D., Young, D. R., & Carter. G. (2015). Going with the flow or against the grain? The promise of vegetation for protecting beaches, dunes, and barrier islands from erosion. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13, 203–210.

García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J. B., & García-Novo, F. (1999). Plant functional types in relation to foredune dynamics and the main coastal stresses. *Journal of Vegetation Science*, 10, 27–34.

Hesp, P. A. (2002). Foredunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1–3), 245–268.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Ioppolo, G., Saija, G., & Salomone, R. (2013). From coastal management to environmental management: The sustainable ecotourism program for the mid-western coast of Sardinia (Italy). *Land Use Policy*, 31, 460–471. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.08.010

Lithgow, D., Martínez, M. L., Gallego-Fernandez, J. B., Hesp, P. A., Flores, P., Gachuz, S., Rodríguez-Revolo, N., Jiménez-Orocio, O., Mendoz-González, G., & Álvarez-Molina, L. L. (2013). Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, 199, 214–224.

Maun, M. A. (2009). The Biology of Coastal Sand Dunes. Oxford University Press.

McLaughlin, S., & Cooper, J. A. G. (2010). A multiscale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, 9(3), 233–248.

Mo, A., D'Antraccoli, M., Bedini, G., & Ciccarelli, D. (2021). The role of plants in the face of marine litter invasion: A case study in an Italian protected area. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112544.

Nordstrom, K. F. (2000). Beaches and Dunes of Developed Coasts. Cambridge University Press.

Oppenheimer, M., Glavovic, B. C., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., et al. (2019). Sea-level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. In Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Tignor, M., Poloczanska, E., et al. (Eds.), *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (pp. 321–445). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157964

Pinna, M. (1985). Contributi di Climatologia. *Memorie della Società Geografica Italiana*, 39, 147–167.

Pranzini, E. (2001). Updrift river mouth migration on cuspate deltas: Two examples from the coast of Tuscany (Italy). *Geomorphology*, 38, 125–132. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00076-3

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. http://www.R-project.org/

Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. A., Rodríguez-Perea, A., Pons, G. X., Gelabert, B., & Mir-Gual, M. (2012). Risk assessment of beach–dune system erosion: Beach management impacts on the Balearic Islands. *Journal of Coastal Research*, 28(6), 1488–1499.

Patrones biogeográficos de la riqueza florística en bosques templados caducifolios del hemisferio norte

Padullés Cubino, Josep[1,2], Loidi, Javier[3], Fernández-Pascual, Eduardo[4], Jiménez-Alfaro, Borja[4], Marcenò, Corrado[5], Biurrun, Idoia[3], Campos, Juan Antonio[3], Chytrý, Milan[6], Gholizadeh, Hamid[7], Indreica, Adrian[8], Kavgaci, Ali[9], Krestov, Pavel[10], Nakamura, Yukito[11], Naqinezhad, Alireza[12], Novák, Pavel[6], Peet, Robert K.[13], Petřik, Petr[14], Tsiripidis, Ioannis[15], Vassilev, Kiril[16] y You, Haimei[17]

[1] Unidad de Botánica, Universidad Autónoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, España
[2] Centre de Recerca Ecológica i Aplicacions Forestals (CREAF), Cerdanyola del Vallès, España
[3] Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Bilbao, España
[4] Instituto Mixto de Investigación en Biodiversidad (IMIB), Universidad de Oviedo – CSIC – Principado de Asturias, Mieres, España
[5] Department of Chemistry, Biology and Biotechnology University of Perugia, Perugia, Italia
[6] Department of Botany and Zoology, Masaryk University, Brno, República Checa
[7] Department of Life Sciences, University of Siena, Siena, Italia
[8] Department of Silviculture, Transilvania University of Brasov, Brasov, Rumania
[9] Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Food Agriculture and Livestock Vocational School, Burdur, Turquía
[10] Botanical Garden-Institute, Vladivostok, Rusia
[11] Tokyo University of Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo, Japón
[12] Department of Environmental Sciences, College of Science and Engineering, University of Derby, Derby, UK
[13] Department of Biology, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA
[14] Institute of Botany, Czech Academy of Sciences, Průhonice, República Checa
[15] Department of Botany, School of Biology, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Grecia
[16] Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria
[17] Department of City and Environment, Jiangsu Normal University, Xuzhou, China
padullesj@gmail.com

Resumen. Los bosques templados caducifolios del hemisferio norte presentan una distribución disyunta entre Norteamérica, Eurasia occidental y Eurasia oriental, resultado de una historia evolutiva compartida seguida de aislamiento geográfico y cambios climáticos cuaternarios. Aunque se ha documentado ampliamente que estas regiones difieren en diversidad arbórea, aún se conoce poco sobre cómo estos patrones varían entre distintos niveles taxonómicos y formas de vida. En este trabajo analizamos aproximadamente 9600 inventarios de vegetación para comparar la riqueza florística entre las tres grandes regiones biogeográficas del hemisferio norte. La riqueza se evaluó mediante curvas de rarefacción a nivel de especie, género y familia, así como separando las especies en tres formas de vida principales: árboles, arbustos y herbáceas. Nuestros resultados muestran patrones contrastados entre regiones y formas de vida. La riqueza total de especies es mayor en Eurasia oriental, mientras que Norteamérica presenta menor número de especies pero mayor riqueza a nivel de familias. Cuando se consideran las formas de vida por separado, la riqueza de árboles y arbustos es claramente mayor en Eurasia oriental, seguida de Norteamérica y Eurasia occidental. En cambio, las especies herbáceas alcanzan su máxima riqueza en Eurasia occidental, con valores similares en las otras dos regiones. Estos resultados indican que los patrones biogeográficos de diversidad en bosques templados no son consistentes entre formas de vida. La elevada riqueza de especies leñosas en Eurasia oriental podría reflejar una mayor estabilidad climática y la persistencia de linajes antiguos, mientras que la riqueza herbácea en Eurasia occidental sugiere una mayor capacidad de recolonización tras las glaciaciones, probablemente favorecida por ciclos de vida más cortos y mayores capacidades de dispersión. En conjunto, nuestros resultados ponen de manifiesto que la historia climática y biogeográfica ha afectado de manera diferencial a los distintos componentes de las comunidades vegetales, generando patrones divergentes de diversidad entre formas de vida.

Palabras clave: Bosques templados, biogeografía, riqueza de especies, formas de vida, Eurasia, Norteamérica.

Resumo. As florestas temperadas caducifólias do hemisfério norte apresentam uma distribuição disjunta entre a América do Norte, a Eurásia ocidental e a Eurásia oriental, resultante de uma história evolutiva comum seguida de isolamento geográfico e mudanças climáticas quaternárias. Embora esteja bem estabelecido que estas regiões diferem na diversidade arbórea, ainda é pouco conhecido como esses padrões variam entre diferentes níveis taxonómicos e formas de vida. Neste trabalho analisamos aproximadamente 9600 inventários de vegetação para comparar a riqueza florística entre as três grandes regiões biogeográficas do hemisfério norte. A riqueza foi avaliada através de curvas de rarefação ao nível de espécies, géneros e famílias, bem como separando as espécies em três formas de vida principais: árvores, arbustos e herbáceas. Os resultados mostram padrões contrastantes entre regiões e formas de vida. A riqueza total de espécies é mais elevada na Eurásia oriental, enquanto a América do Norte apresenta menor número de espécies mas maior riqueza ao nível de famílias. Quando se consideram as formas de vida separadamente, a riqueza de árvores e arbustos é

claramente mais elevada na Eurásia oriental, seguida pela América do Norte e pela Eurásia ocidental. Em contraste, as espécies herbáceas atingem a sua maior riqueza na Eurásia ocidental, com valores semelhantes nas outras duas regiões. Estes resultados indicam que os padrões biogeográficos de diversidade nas florestas temperadas não são consistentes entre formas de vida. A elevada riqueza de espécies lenhosas na Eurásia oriental poderá refletir uma maior estabilidade climática e a persistência de linhagens antigas, enquanto a elevada riqueza herbácea na Eurásia ocidental sugere uma maior capacidade de recolonização após as glaciações. Em conjunto, estes resultados evidenciam que a história climática e biogeográfica afetou de forma diferenciada os vários componentes das comunidades vegetais, gerando padrões divergentes de diversidade entre formas de vida.

Palavras-chave: Florestas temperadas, biogeografia, riqueza de espécies, formas de vida, Eurásia, América do Norte.

Abstract. Temperate deciduous forests of the Northern Hemisphere are distributed across three disjunct regions, North America, West Eurasia, and East Eurasia, reflecting a shared evolutionary origin followed by geographic isolation and Quaternary climatic changes. Although regional differences in tree diversity are well documented, it remains unclear how these patterns vary across taxonomic levels and plant growth forms. Here, we analyze approximately 9,600 vegetation plots to compare floristic richness across the three major biogeographic regions of the Northern Hemisphere. Richness was assessed using rarefaction curves at the species, genus, and family levels, and by separating species into three main growth forms: trees, shrubs, and herbs. Our results reveal contrasting patterns among regions and growth forms. Total species richness is highest in East Eurasia, whereas North America has fewer species but higher family-level richness. When considering growth forms separately, tree and shrub richness peak in East Eurasia, followed by North America and West Eurasia. In contrast, herbaceous species reach their highest richness in West Eurasia, with similar values in the other regions. These findings indicate that biogeographic patterns of diversity in temperate forests are not consistent across growth forms. The high richness of woody species in East Eurasia may reflect greater climatic stability and the persistence of ancient lineages, whereas the high herbaceous richness in West Eurasia suggests a greater capacity for postglacial recolonization. Overall, our results highlight that climatic and biogeographic history have differentially shaped the various components of plant communities, leading to divergent diversity patterns among growth forms.

Keywords: Temperate forests, biogeography, species richness, growth forms, Eurasia, North America.

1 Introducción

Los bosques templados caducifolios del hemisferio norte constituyen un bioma ampliamente distribuido pero fragmentado en tres grandes regiones: Norteamérica, Eurasia occidental y Eurasia oriental. Estas regiones comparten un origen evolutivo común ligado a la expansión de las angiospermas durante el Cretácico y Paleógeno, pero posteriormente quedaron aisladas por cambios tectónicos y climáticos que limitaron los intercambios florísticos y favorecieron trayectorias evolutivas independientes (Tiffney, 1985; Qian, 2000; Milne y Abbott, 2002).

Las glaciaciones cuaternarias jugaron un papel clave en la configuración actual de la diversidad, provocando extinciones, desplazamientos de rango y recolonizaciones diferenciales entre regiones (Bennett et al., 1991; Svenning et al., 2008). En este contexto, Eurasia oriental ha sido identificada como un importante refugio climático que permitió la persistencia de numerosos linajes leñosos, mientras que Eurasia occidental experimentó mayores tasas de extinción debido a la orientación este-oeste de las cordilleras y la limitada disponibilidad de refugios (Latham y Ricklefs, 1993; Magri et al., 2017).

Aunque estos patrones han sido ampliamente documentados para árboles, se desconoce en qué medida se generalizan a otros niveles taxonómicos y a distintos componentes funcionales de la comunidad vegetal. En particular, las especies herbáceas podrían responder de manera distinta a los filtros históricos debido a sus estrategias de vida, mayor capacidad de dispersión y ciclos vitales más cortos. Por tanto, una evaluación conjunta de distintos niveles taxonómicos y formas de vida resulta clave para comprender los determinantes de la diversidad vegetal a escala continental.

En este trabajo analizamos cómo varía la riqueza florística entre regiones biogeográficas y entre árboles, arbustos y herbáceas, con el objetivo de evaluar si los patrones clásicos de diversidad se mantienen a través de distintos componentes de la comunidad.

2 Métodos o materiales y métodos

Se utilizaron 9615 inventarios de vegetación procedentes de bases de datos internacionales (EVA y sPlot), representativos del bioma de bosques templados caducifolios en el hemisferio norte (Fig. 1). Los inventarios fueron filtrados para asegurar su comparabilidad en términos de tipo de vegetación, cobertura forestal y localización biogeográfica, y se asignaron a una de las tres regiones de estudio: Norteamérica, Eurasia occidental y Eurasia oriental.

La nomenclatura taxonómica fue estandarizada para evitar inconsistencias derivadas de sinónimos o cambios taxonómicos, y las especies fueron clasificadas en tres formas de vida principales (árboles, arbustos y herbáceas) en base a su estrategia estructural dominante. Esta clasificación permitió

analizar la diversidad desde una perspectiva funcional, complementaria a los niveles taxonómicos tradicionales.

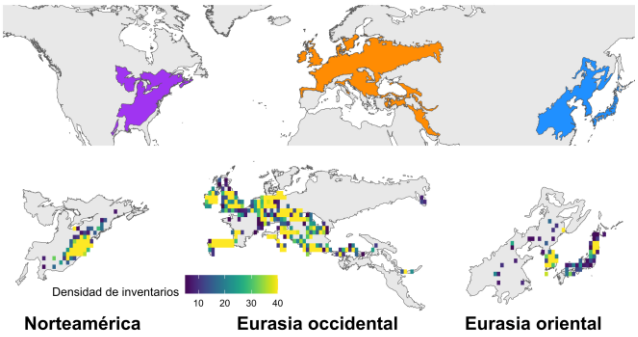


Fig. 1. Ubicación del bioma de los bosques caducifolios en el hemisferio norte, dividido en tres grandes regiones: Norteamérica (morado), Eurasia occidental (naranja) y Eurasia oriental (azul). También se muestra la densidad de inventarios de vegetación utilizados en las tres regiones.

Para comparar la riqueza florística entre regiones se calcularon curvas de rarefacción a nivel de especie, género y familia. Este enfoque permite estandarizar las diferencias en esfuerzo de muestreo y tamaño de muestra, proporcionando estimaciones comparables de riqueza esperada para un número equivalente de inventarios. Además, se calcularon intervalos de confianza del 95% mediante métodos de remuestreo, lo que permitió evaluar la incertidumbre asociada a las estimaciones de riqueza.

Las curvas se calcularon tanto para el conjunto total de especies como de forma independiente para cada forma de vida, con el fin de evaluar si los patrones de diversidad eran consistentes entre componentes funcionales. Todas las analíticas se realizaron en R, utilizando funciones específicas para estimación de riqueza y representación gráfica.

3 Resultados

La riqueza florística presenta patrones contrastados entre regiones y niveles taxonómicos (Fig. 2). A nivel de especies, Eurasia oriental muestra sistemáticamente la mayor riqueza a lo largo de todo el gradiente de esfuerzo de muestreo, mientras que Norteamérica presenta valores más bajos. Sin embargo, este patrón se invierte parcialmente al considerar niveles taxonómicos superiores, ya que la riqueza de familias es mayor en Norteamérica, seguida de Eurasia oriental y Eurasia occidental. Este resultado sugiere diferencias en la estructura taxonómica de la diversidad entre regiones, con una mayor diversificación a niveles infragenéricos en Eurasia oriental.

Al considerar las formas de vida, emergen diferencias aún más marcadas. La riqueza de árboles y arbustos es claramente máxima en Eurasia oriental, seguida de Norteamérica y Eurasia occidental, lo que reproduce los patrones clásicos descritos para la flora leñosa. En cambio, las especies herbáceas alcanzan su máxima riqueza en Eurasia occidental, con valores relativamente similares en las otras dos regiones. Este patrón indica una inversión en los gradientes de diversidad en función de la forma de vida.

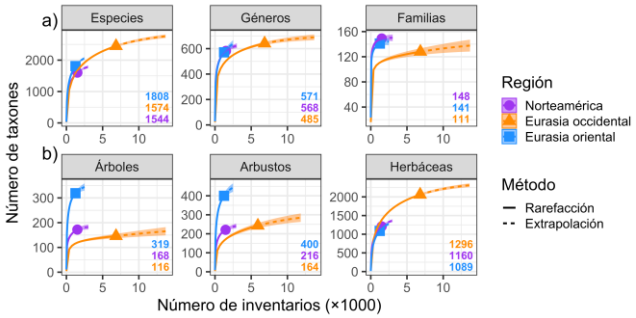


Fig. 2. Curvas de rarefacción (a) para los principales niveles taxonómicos (especies, géneros y familias) y (b) para las formas de crecimiento (árboles, arbustos y herbáceas) a través de los inventarios en las tres regiones. Las áreas sombreadas representan intervalos de confianza del 95%. Nótese las diferencias en la escala del eje y. Los valores en la esquina inferior derecha indican la riqueza de especies acumulada para cada región, estandarizada al número total de inventarios en Eurasia oriental.

Además, las curvas de rarefacción muestran pendientes y formas diferenciadas entre regiones, lo que sugiere variaciones en la tasa de acumulación de especies. En Eurasia oriental, la acumulación de especies leñosas es más pronunciada, mientras que en Eurasia occidental las herbáceas muestran una mayor contribución a la riqueza total incluso a bajos niveles de esfuerzo de muestreo.

Estos patrones se mantienen de forma consistente a nivel de géneros y en los distintos grupos funcionales analizados, lo que indica que las diferencias observadas no son únicamente el resultado de efectos de escala taxonómica, sino que reflejan procesos biogeográficos subyacentes que afectan de manera diferencial a los distintos componentes de la comunidad vegetal.

4 Discusión

Los resultados confirman que los patrones biogeográficos clásicos de diversidad arbórea no se generalizan a toda la comunidad vegetal, y que la forma de vida modula de manera decisiva las respuestas a los procesos históricos. La elevada riqueza de especies leñosas en Eurasia oriental es consistente con su mayor estabilidad climática y la persistencia de linajes antiguos durante el Cuaternario (Xiang et al., 2007; Magri et al., 2017), lo que habría permitido una menor tasa de extinción y progresiva acumulación de diversidad.

En contraste, la mayor riqueza herbácea en Eurasia occidental sugiere una dinámica distinta, probablemente asociada a una mayor resiliencia frente a perturbaciones climáticas y a una rápida recolonización tras las glaciaciones. Las especies herbáceas, al presentar ciclos de vida más cortos y mayores capacidades de dispersión, pueden responder más

rápidamente a la disponibilidad de hábitats, lo que facilita su expansión en contextos postglaciales (Birks, 2015).

La mayor riqueza de familias en Norteamérica, a pesar de su menor riqueza específica, sugiere además una historia evolutiva diferenciada, caracterizada por la coexistencia de linajes más distantes filogenéticamente. Este patrón podría reflejar diferencias en los procesos de diversificación y extinción, así como en la conectividad histórica entre regiones (Tiffney, 1985; Wen et al., 2016).

Asimismo, la divergencia entre formas de vida apunta a que los filtros ambientales y los procesos históricos han actuado de manera diferencial sobre distintos grupos funcionales. Mientras que las especies leñosas parecen estar más limitadas por la estabilidad climática a largo plazo, las herbáceas parecen responder más fuertemente a procesos dinámicos como la perturbación, la dispersión y la colonización.

En conjunto, estos resultados subrayan la necesidad de considerar múltiples dimensiones de la biodiversidad al analizar patrones biogeográficos, ya que enfoques centrados exclusivamente en un grupo funcional o nivel taxonómico pueden ofrecer una visión parcial o incluso sesgada de los procesos que estructuran la diversidad a gran escala.

5 Conclusiones

La diversidad florística de los bosques templados del hemisferio norte muestra patrones contrastados entre regiones y formas de vida, evidenciando que los gradientes biogeográficos no son uniformes a través de los distintos componentes de la comunidad vegetal. Mientras que Eurasia oriental destaca por su elevada riqueza en especies leñosas, Eurasia occidental presenta una notable diversidad de especies herbáceas, lo que sugiere respuestas diferenciadas a la historia climática y biogeográfica del Cuaternario. En conjunto, estos resultados indican que los procesos históricos han actuado de manera desigual sobre los distintos grupos funcionales, y subrayan la importancia de integrar perspectivas taxonómicas y funcionales para comprender los patrones de diversidad a gran escala.

6 Referencias

Bennett, K., Tzedakis, P., & Willis, K. (1991). Quaternary refugia of north European trees. *Journal of Biogeography, 18*, 103–115. https://doi.org/10.2307/2845248

Birks, H. J. B. (2015). Some reflections on the refugium concept and its terminology in historical biogeography. *Biological Journal of the Linnean Society, 115*, 1–12. https://doi.org/10.1080/14888386.2015.1117022

Latham, R. E., & Ricklefs, R. E. (1993). Continental comparisons of temperate-zone tree species diversity. En R. E. Ricklefs & D. Schluter (Eds.), *Species diversity in ecological communities: Historical and geographical perspectives* (pp. 294–314). University of Chicago Press.

Magri, D., Di Rita, F., Aranbarri, J., Fletcher, W., & González-Sampériz, P. (2017). Quaternary disappearance of tree taxa from southern Europe: timing and trends. *Quaternary Science Reviews, 163*, 23–55. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.02.014

Milne, R. I., & Abbott, R. J. (2002). The origin and evolution of Tertiary relict floras. *Advances in Botanical Research, 38*, 281–314. https://doi.org/10.1016/S0065-2296(02)38033-9

Qian, H., & Ricklefs, R. E. (2000). Large-scale processes and the Asian bias in species diversity of temperate plants. *Nature, 407*, 180–182. https://doi.org/10.1038/35025052

Svenning, J.-C., Normand, S., & Kageyama, M. (2008). Glacial refugia of temperate trees in Europe: insights from species distribution modelling. *Journal of Ecology*, 96, 1117–1127. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01422.x

Tiffney, B. H. (1985). The Eocene North Atlantic land bridge: its importance in Tertiary and modern phytogeography of the Northern Hemisphere. *Journal of the Arnold Arboretum, 66*, 243–273. https://doi.org/10.5962/BHL.PART.13183

Wen, J., Nie, Z.-L., & Ickert-Bond, S. M. (2016). Intercontinental disjunctions between eastern Asia and western North America in vascular plants highlight the biogeographic importance of the Bering land bridge from Late Cretaceous to Neogene. *Journal of Systematic and Evolution*, 54, 469–490. https://doi.org/10.1111/jse.12222

Xiang, Q.-Y., Zhang, W. H., Ricklefs, R. E., Qian, H., Chen, Z. D., Wen, J., & Li, J. H. (2007). Regional differences in rates of plant speciation and molecular evolution: a comparison between eastern Asia and eastern North America. *Evolution*, 58, 2175–2184. https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2004.tb01596.x

A contribuição da Distribuição Geográfica de Espécies no processo de Educação Ambiental em cenários de Alterações Climáticas. Um estudo abrangendo Áreas Protegidas no Nordeste do Brasil

Coutinho, Solange Fernandes Soares

Centro de Estudos em Dinâmicas Sociais e Territoriais (Cedist), Diretoria de Pesquisas Sociais (Dipes), Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), Ministério da Educação do Brasil. Rua Dois Irmãos, 92, Apipucos, CEP: 52.171-010, Recife/Pernambuco, Brasil
solange.coutinho@fundaj.gov.br

Resumo. Discutir a relevância da distribuição geográfica de espécies da flora e da fauna em Áreas Protegidas no entendimento e constatação de alterações climáticas foi o objetivo do trabalho, que representa um recorte da pesquisa "Unidades de Conservação como Lugares Educadores", realizada pela Fundação Joaquim Nabuco, instituição do Ministério da Educação do Brasil, a partir de revisão bibliográfica, oficinas, elaboração de representações cartográficas e trabalhos de campo envolvendo pescadores, professores e gestores educacionais e do meio ambiente. A educação ambiental e nela a educação climática tidas como direitos humanos, motivou o desenvolvimento do estudo.

Palavras-chave: Áreas protegidas, educação ambiental, distribuição biogeográfica, alterações climáticas

Resumen. El objetivo de este trabajo, que forma parte de la investigación «Unidades de Conservación como Espacios Educativos», llevada a cabo por la Fundación Joaquim Nabuco, institución del Ministerio de Educación de Brasil, fue analizar la relevancia de la distribución geográfica de las especies de flora y fauna en Áreas Protegidas para la comprensión y documentación del cambio climático. Esta investigación se basó en una revisión bibliográfica, talleres, la creación de representaciones cartográficas y trabajo de campo con pescadores, docentes y gestores educativos y ambientales. La educación ambiental, y en particular la educación climática, considerada como un derecho humano, motivó el desarrollo de este estudio.

Palavras-chave: Áreas protegidas, educación ambiental, distribución biogeográfica, cambio climático

Abstract. Discussing the relevance of the geographic distribution of flora and fauna species in Protected Areas for understanding and documenting climate change was the objective of this research, which represents a segment of the research "Conservation Units as Educational Places," conducted by the Joaquim Nabuco Foundation, an institution of the Brazilian Ministry of Education. This research was based on literature review, workshops, the creation of cartographic representations, and fieldwork involving fishermen, teachers, and educational and environmental managers. Environmental education, and within it climate education, considered as human rights, motivated the development of this study.

Keywords: Protected areas, environmental education, biogeographic distribution, climate change

1 Introdução

O trabalho deriva-se da pesquisa Unidades de Conservação (UCs) como Lugares Educadores, desenvolvida na Fundação Joaquim Nabuco (Fundaj), instituição do Ministério da Educação (MEC) do Brasil, incluindo duas UCs da Região Nordeste do País. Fundamenta-se em revisão bibliográfica, pesquisas de campo, dados primários obtidos através de oficinas de Educação Ambiental, Educomunicação, Qualidade Ambiental através de Imagens e Mapeamentos Colaborativos. Tem como objetivo refletir sobre as relações entre Áreas Protegidas, mais especificamente Unidades de Conservação incluídas no Sistemas Nacional de Unidades de Conservação do Brasil (SNUC), (Brasil, 2000) e Educação Climática, buscando evidenciar e disseminar a relevância das UCs para a constatação de alterações climáticas em contexto biodiverso, que podem se dar ou já estão se dando, incluindo possibilidades de descumprimentos de propósitos para os quais as UCs foram criadas, por deixarem de corresponder à função de proteção de espécies da flora e da fauna ameaçadas de extinção, por exemplo, através do entendimento do ambiente como produto das interações e interdependências entre seus componentes físicos, biológicos, sociais, culturais, históricos, políticos e todos mais que lhes façam parte. Como público-alvo envolveu professores, pescadores, guias de turismo, gestores educacionais e do meio ambiente, e lideranças locais da Reserva Extrativista (Resex) Acaú-Goiana e do Parque Nacional (Parna) do Catimbau.

Teve como objetivo específico o despertar para a interpretação das características socioecológicas dos lugares objetos do estudo e neste recorte ressaltar a relevância de se ter nas variações fenológicas – padrões biológicos tanto da flora como da fauna em termos de crescimento e

reprodução – e nas ausências e introduções recentes de espécies, a base para constatação de transformações nos arranjos ecológicos locais, direta ou indiretamente promovidas pela espécie humana, que possam acontecer, ou que já acontecem, utilizando como elementos de sensibilização a Educação Ambiental, fundamentada na relação entre os potenciais biológicos das espécies e os elementos abióticos do meio, como temperatura, umidade e luminosidade, e bióticos – as relações intra e interespecíficas.

2 Materiais e métodos

A pesquisa foi desenvolvida com base em metodologia qualiquantitativa e teve como procedimentos metodológicos oficinas e atividades de campo. Durante as oficinas, buscou-se promover reflexões sobre os significados da presença e da ausência de espécies potencialmente compatíveis com a geoecologia do lugar, considerando isso bioindicativos da qualidade ambiental da UC, comparando com outras áreas não protegidas, seguindo o objetivo geral da pesquisa que foi o de reconhecer as Unidades de Conservação como Lugares Educadores. O estudo do qual este recorte faz parte foi submetido e aprovado pelo Comitê Nacional de Ética, contou com a anuência do Instituto Chico Mandes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) responsável pela gestão das Unidades trabalhadas. Cada participantes assinou um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), inclusive para captação de imagem e som.

3 Resultados

3.1 A relevância da distribuição geográfica de espécies em áreas protegidas para a compreensão e identificação de alterações climáticas

O estudo possibilitou a redação de textos escrito que foram discutidos em fóruns científicos e publicados em anais de eventos e periódicos, e trabalhos de campo embasados na revisão da literatura, entrevistas com gestores de Unidades de Conservação, representantes de povos tradicionais e originários, professores, alunos e gestores ambientais e educacionais.

No decorrer dos trabalhos a equipe de pesquisadores da Fundaj buscou motivar o entendimento da relação entre os condicionantes ecológicos e sociais e a distribuição geográfica das espécies a partir de conhecimento científico e relatos dos representantes do público-alvo, que se pronunciaram expondo seus entendimentos e constatações sobre modificações biogeográficas com base nas suas vivências de trabalho, por exemplo. O intuito foi o de identificar e destacar ausências e inserções de espécies vegetais e animais nas paisagens biogeográficas das áreas protegidas investigadas, objetivando ressaltar as relações dessas modificações com as alterações climáticas, em especial aquelas presentes em áreas protegidas. Nesse contexto, concorda-se com Coutinho & Cavalcanti (2024) ao afirmarem que a paisagem biogeografia deve ser compreendida para além do campo visual, levando em conta a correlação do que se estar vendo com outros elementos não visíveis da paisagem e até alguns que se pode perceber através do olfato e da audição, como cheiros e sons. Para tanto, é preciso estar em um estado de observação que permita perceber as diferentes informações presentes nos lugares geográficos.

O propósito foi ir além das constatações, sem negar a relevância que têm, destacando causas e consequências socioecológicas das mudanças na distribuição geográfica dos seres vivos. Para tanto, a vegetação foi o ponto de partida para identificação da fauna correspondente, dos elementos físico-químicos, das relações bióticas e atuações antrópicas. Segundo Figueiró (2015 p.172), "a comunidade vegetal tende sempre a evoluir em direção a uma situação de equilíbrio ecológico com as condições locais de fauna, solo e clima", ao que se acrescenta os aspectos geomorfológicos que no caso das UCs objetos do estudo são significativos. "É nesse sentido que a leitura da paisagem constitui um convite, uma abertura à percepção, um estímulo aos sentidos" (Coutinho *et al*., 2022, p. 263).

Acreditando na importância da educação, seja ela formal ou não forma, foi elaborado um material de apoio denominado "Bloco de Notas", que foi utilizado nas visitas de campo (Fig. 1) e posteriormente socializado com as pessoas que participaram da pesquisa durante os encontros presenciais nas oficinas, onde também foram feitos treinamentos visando o georreferenciamento de pontos de identificação de ocorrências biogeográficas (Fig. 2), a partir do uso de aplicativo de celular, o que apesar de não oferecer localização precisa, possibilita o registro de visualizações nos lugares, especialmente porque também foi construído coletivamente uma representação cartográfica de cada UC objeto de estudo, onde os participantes puderam apontar áreas degradadas e conservadas utilizando o conhecimento que têm sobre a história ambiental dos lugares, motivando discussões baseadas nos dados socioecológicos do passado, do presente e dos que estão sendo projetados para o futuro, já não tão distante, nas modelagens de dados científicos, como as que dão concretude científica aos relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), órgão das Nações Unidas criado em 1988 para avaliar cientificamente as mudanças climáticas.

3.2 O significado da Educação Climática na proteção de Unidades de Conservação

É nesse sentido que aqui se traz a função da educação, seja ela formal ou não formal, na sua contribuição ao conhecimento e, principalmente, à compreensão das alterações climáticas sejam elas mudanças de climas ou mudanças nos climas, e o que significa adaptações a elas, por entender-se necessário discutir formas de atender às necessidades de percepção das relações de causa e consequências das alterações climáticas, com base na efetiva e real incorporação da Educação, em especial da Educação Ambiental, na sua

função de oferecer sensibilização e, assim, oportunidade de mudanças de valores e adoção de novos hábitos e ações relacionados à sustentabilidade, aliando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos na Agência 2030, como se pode perceber no ODS 4 que trata da Educação inclusiva, equitativa e de qualidade. Mas como ser alcançada se não oferecer oportunidade de se ter acesso à Educação Climática, uma vez que é direito de todos ter conhecimento e compreensão do que está acontecendo no Planeta e nos lugares onde residem, trabalham e se divertem?



Fig. 1. Professora utilizando o Bloco de Notas na visita ao Parna do Catimbau, no município de Buíque, estado de Pernambuco. À esquerda se vê a representação cartográfica da UC, elaborada pela Fundaj. Foto: acervo da pesquisa



Fig. 2. Mapeamento colaborativo da Resex Acaú-Goiana, no município de Pitimbu, estado da Paraíba. À esquerda destaca-se a representação cartográfica da delimitação da UC, elaborada pela equipe da Fundaj. Foto: acervo da pesquisa

Na tentativa de responder a essa questão, a Presidência da República do Brasil alterou a Política Nacional de Educação Ambiental (Brasil, 1999) instituindo a Lei Nº 14.926 (Brasil, 2024) para assegurar atenção especial às mudanças do clima, à proteção da biodiversidade e aos riscos e vulnerabilidades a desastres socioecológicos nos âmbitos da educação formal e não formal a partir de 2025. Já o Plano Nacional de Educação (PNE) 2026/2036, destacou a Educação Ambiental como um dos objetivos a ser alcançado – o de promover a educação ambiental e o enfrentamento das mudanças do clima em todos os estabelecimentos de ensino (Brasil, 2026), composto por três metas e vinte e cinco estratégias, entre elas a 15, para implementar estratégias em educação ambiental que promovam a integração entre saberes e a transversalidade entre as áreas de conhecimento.

4 Discussão

Destaca-se que na Reserva Extrativista Marinha-costeira Acaú-Goiana, criada para proteção dos ambientes que oportunizam atividades relativas à pesca artesanal, as identificações privilegiaram espécies que compõem comunidades presentes em ambientes aquáticos tanto do talossociclo, como do limnociclo e das áreas de manguezais submetidas a mudanças nos climas, isso é: nos elementos do clima, sem necessariamente configurar mudança de clima.

Por sua vez, no Parque Nacional do Catimbau, localizado no domínio do clima semiárido no interior da região Nordeste do Brasil, as identificações e posteriores discussões se concentraram nas especificidades da flora e da fauna no bioma caatinga, sistema ecológico endêmico do Brasil, onde já foi constatado cientificamente mudança de clima através de estudos realizados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), divulgado em 2023 (Brasil, 2023), quando foi reconhecida a substituição local de clima semiárido por clima árido, o que, de acordo com as capacidades biológicas das espécies, pode promover alterações biogeográficas, atestando o real significado dos bioindicadores no reconhecimento das transformações climáticas, uma vez que a velocidade com que estão se dando não permite adaptações biológicas às novas condições ecológicas dos habitats, como as que se deram em mudanças climáticas que aconteceram no tempo geológico.

Isso é tão verdadeiro que a espécie humana, que tem tempo de vida relativamente curto, vem podendo constatar essas alterações. Segundo Pinto et al. (2022, p.76), “as populações humanas alteram o habitat local no qual estão inseridas de tal forma que as mudanças causadas são percebidas espacialmente, temporalmente e evolutivamente”.

5 Conclusões

A pesquisa evidenciou a reduzida utilização das Unidades de Conservação como Lugares Educadores, especialmente frente às modificações climáticas, sejam elas relativas à mudança de clima ou alterações na pluviometria, na temperatura e no período de luminosidade de um mesmo clima. Identificou limitações na inserção das UCs em programas e projetos desenvolvidos em diferentes escalas de gestão e, apesar do reconhecimento da relevância das UCs para a educação climática, revelou ainda ser frágil a inserção delas como espaços de aprendizagem formal e não formal.

Todavia, ressaltou a preocupação dos que participaram da pesquisa com as variações nos quantitativos referentes

Bosque relicto de haya (*Fagus mexicana* Martínez) en Teziutlán, Puebla, México: diagnóstico preliminar de su estructura poblacional

Lázaro-Arias, Amellalli[1,2] y Luna-Vega, Isolda

[1] Anticipation and Relational Science Lab, Universidad Nacional Autónoma de México Universidad NacionalAutónoma de México, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P.04510, Ciudad de México, México
[2] Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av.Universidad 3000, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México,México

amellalli.arias@ciencias.unam.mx

Resumen. En México los bosques mesófilos de montaña (BMM) cubren menos del 1% de su territorio y albergan una alta biodiversidad y altos niveles de endemismo. En algunos fragmentos de estos bosques al oriente del país habitan poblaciones de *Fagus mexicana* Martínez, cuyo límite meridional se encuentra en la Sierra Norte de Puebla. A pesar de su relevancia biogeográfica y de conservación la información disponible sobre las poblaciones de *F. mexicana* en Teziutlán, Puebla, es escasa y en gran medida histórica, lo que limita la toma de decisiones para su conservación. En este estudio se presenta un diagnóstico preliminar de la estructura de la población de *F. mexicana* en Teziutlán, combinando análisis cartográficos mediante SIG, muestreo en campo en parcelas circulares establecidas de forma aleatoria en distintas unidades topográficas y análisis estadísticos. Se encontró a la especie sólo en dos de las parcelas establecidas a 1451 msnm y a 1348 msnm. Se registraron 82 individuos, clasificados en categorías de desarrollo con base en el diámetro a la altura del pecho y la altura. Los resultados muestran una estructura dominada por individuos juveniles, con ausencia de plántulas y baja proporción de adultos, así como diferencias significativas entre unidades topográficas con dominancia de adultos en ladera y de juveniles encima (Mann-Whitney U, $p < 0.05$). Estos patrones sugieren procesos de regeneración episódica y posibles limitantes en el establecimiento temprano. Este estudio constituye una línea base para el monitoreo de estas poblaciones y resalta la necesidad de ampliar el esfuerzo de muestreo y profundizar en los factores ecológicos que determinan la dinámica poblacional de la especie en su límite de distribución.

Palabras clave: Bosque mesófilo de montaña, especie relictual, conservación, Sierra Madre Oriental.

Resumo. No México as florestas mesófilas de montanha (BMM) cobrem menos de 1% do território nacional e abrigam alta biodiversidade e elevados níveis de endemismo. Em alguns fragmentos no leste do país ocorrem populações de *Fagus mexicana* Martínez, cujo limite meridional de distribuição se encontra na Sierra Norte de Puebla. Apesar de sua relevância biogeográfica e para a conservação, a informação disponível sobre as populações de *F. mexicana* em Teziutlán, Puebla, é escassa e em grande parte histórica, o que limita a tomada de decisões para sua conservação. Este estudo apresenta um diagnóstico preliminar da estrutura populacional de *F. mexicana* em Teziutlán, combinando análise cartográfica por meio de SIG com amostragem de campo em parcelas circulares estabelecidas aleatoriamente em diferentes unidades topográficas. A espécie foi registrada apenas em duas das parcelas, a 1451 m e 1348 m de altitude. Foram registrados 82 indivíduos, classificados em categorias de desenvolvimento com base no diâmetro à altura do peito e na altura. Os resultados indicam uma estrutura dominada por indivíduos juvenis, com ausência de plântulas e baixa proporção de adultos, além de diferenças significativas entre unidades topográficas com dominância de adultos na ladeira e juvenis na cima (Mann–Whitney U, $p < 0,05$). Esses padrões sugerem processos de regeneração episódica e possíveis limitações no estabelecimento inicial. Este estudo constitui uma linha de base para o monitoramento dessas populações e destaca a necessidade de ampliar o esforço amostral e aprofundar a investigação dos fatores ecológicos que determinam a dinâmica populacional da espécie em seu limite de distribuição.

Palavras-chave: Floresta mesófila de montanha, espécie relicta, conservação, Sierra Madre Oriental

Abstract. In Mexico mountain cloud forests (MCF) cover less than 1% of their territory and harbor high biodiversity and levels of endemism. In some fragments in eastern Mexico, populations of *Fagus mexicana* occur, whose southernmost distribution limit is located in the Sierra Norte de Puebla. Despite its biogeographic and conservation relevance, available information on *F. mexicana* populations in Teziutlán, Puebla, is scarce and largely historical, limiting informed conservation decision-making. This study presents a preliminary assessment of the population structure of *F. mexicana* in Teziutlán, combining GIS-based cartographic analysis with field sampling in circular plots randomly established across different topographic units. The species was recorded only in two of those plots, at 1451 m and 1348 m a.s.l. A total of 82 individuals were recorded and classified into developmental categories based on DBH and height. The results show a structure dominated by juvenile individuals, with absence of seedlings and a low proportion of adults, as well as significant differences between topographic units, with adults' dominance on a slope and juveniles' on a peak. (Mann–Whitney U, $p < 0.05$). These patterns suggest episodic regeneration processes and potential constraints on early establishment. This study provides a baseline for monitoring these populations and highlights the need to expand sampling effort and further investigate the ecological factors that shape population dynamics at the species' distribution limit.

Keywords: Mountain cloud forest, relict species, conservation, Sierra Madre Oriental

1 Introducción

Los *tropical montane cloud forest* o bosques mesófilos de montaña (BMM) de México cubren menos del 1% del territorio del país (Rzedowski, 2006), sin embargo, concentran una diversidad biológica elevada respecto a su poca extensión, con altos niveles de endemismo y una combinación de elementos florísticos tropicales y templados (Ponce-Vargas et al., 2006). Por su posición latitudinal y su origen como refugios glaciares, los BMM mexicanos representan sistemas biogeográficamente únicos cuya conservación es urgente ante el avance del cambio de uso de suelo y el cambio climático (Ponce-Reyes et al., 2012).

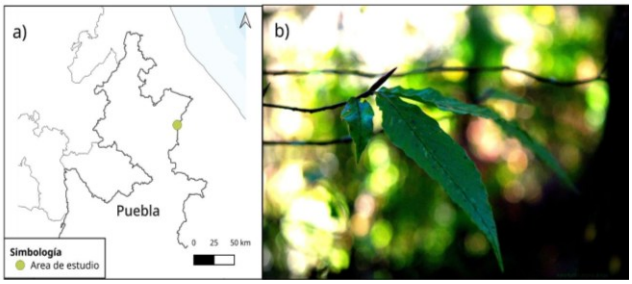


Fig. 1. a) Localización del área de estudio en el municipio de Teziutlán, Puebla, México. b) Hojas y yema apical de Fagus mexicana Martínez en el bosque mesófilo de montaña del área de estudio. [Fotografía: Amellalli Lázaro-Arias, Noviembre 2025]

En el oriente del país, algunos fragmentos de BMM a lo largo de la Sierra Madre Oriental albergan poblaciones relictuales de *Fagus mexicana* Martínez (Fig. 1.b), el único representante del género en México y el más meridional del mundo (Fox & Sharp, 1954).

Esta especie, listada en la categoría de endémica y en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010, persiste en una distribución archipelágica condicionada por requerimientos microambientales estrictos de humedad, temperatura y tipo de suelo (Pérez Rodríguez, 1994; Rodríguez-Ramírez et al., 2016). En el municipio de Teziutlán, Puebla (Fig. 1), se ha registrado una población de *F. mexicana*, una de las poblaciones más meridionales de distribución del género a nivel mundial, documentadas desde 1952 (Fox & Sharp, 1954; Ehnis, 1981), aunque sin estudios estructurales sistemáticos hasta la fecha, lo que limita la toma de decisiones basada en evidencia para plantear estrategias de conservación.

El municipio de Teziutlán forma parte de la Región Terrestre Prioritaria 105 (Arriaga et al., 2000) y ha sido reconocido como zona de alta prioridad para la conservación de BMM por la CONABIO (2008); sin embargo, la zona enfrenta presiones por turistificación y cambio de uso de suelo, como apuntan los habitantes de la localidad (comunicación personal, marzo 2026).

Este proyecto presenta un diagnóstico estructural preliminar de la población de *F. mexicana* en Teziutlán como primera aproximación sistemática al conocimiento de esta especie, con miras a establecer esfuerzos y estrategias de conservación.

2 Métodos

El área de estudio se ubica al norte del municipio de Teziutlán, Puebla, México (19°52'N, 97°19'O), en la transición entre la Faja Volcánica Transmexicana y la Sierra Madre Oriental, a 1349–1451 msnm. La zona corresponde a clima templado húmedo C(f) con lluvias todo el año (INEGI, 1994) y BMM como vegetación dominante.

La delimitación espacial de *F. mexicana* fue realizada con el procesamiento de capas vectoriales de uso de suelo y vegetación (INEGI, 2021) y curvas de nivel (resolución 20 m); se generaron capas derivadas de pendiente y orientación de ladera para caracterizar las condiciones topográficas del área. Para la caracterización estructural de *F. mexicana* se establecieron aleatoriamente cuatro parcelas circulares concéntricas siguiendo una modificación del formato P del IFRI (Ostrom & Wertime, 1995), con radio de 10 m. En cada parcela con presencia de *Fagus mexicana* (Ladera: 1451 msnm, pendiente 20°, orientación N; Cima: 1349 msnm) se registró para individuos arbóreos y arbustivos diámetro a la altura del pecho (DAP) y para individuos menores diámetro a la base; altura total de 82 individuos y coberturas.

Los individuos se clasificaron en cuatro clases ecológicas (plántulas, altura < 30 cm; juveniles ≥ 0.30 m y DAP < 2.5 cm; adultos jóvenes o subadultos DAP 2.5–10 cm; adultos maduros: DAP > 10 cm), siguiendo Pérez Rodríguez (1994) y Rodríguez-Ramírez et al. (2018). Fueron calculados estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimo y máximo) para DAP y altura total y se comparó la distribución diamétrica entre parcelas mediante la prueba U de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$).

3 Resultados

La delimitación espacial del bosque mediante SIG apunta a una distribución restringida y discontinua del BMM en el área de estudio (Fig. 2). Los sitios de muestreo se ubican en una franja de vegetación mesófila delimitada al norte por el Río Nautla y al sur por la carretera Teziutlán-Tlapacoyan. Fueron encontrados 82 individuos (Tabla 1) únicamente en dos de las cuatro parcelas. Las condiciones topográficas fueron contrastantes. La parcela 1 (Ladera, 1451 msnm, orientación N) albergó 9 individuos; la parcela 2 (Cima, 1349 msnm) albergó 73 individuos (Tabla 2).

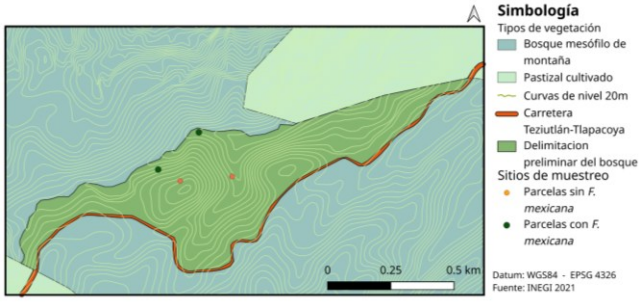


Fig. 2. Distribución del bosque mesófilo de montaña y sitios de muestreo de *F. mexicana* en Teziutlán, Puebla, México.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de DAP y altura de *Fagus mexicana* en Teziutlán, Puebla (n = 82).

Variable	Mínimo	Máximo	Media ± DE	Mediana
DAP (cm)	0.10	65.00	4.95 ± 11.54	1
Altura (m)	0.36	25.00	3.66 ± 5.49	1.36

Tabla 2. Comparación estructural de *F. mexicana* entre unidades topográficas, Teziutlán, Puebla.

Variable	Parcela 1 (1451 msnm, n = 9)	Parcela 2 (1349 msnm, n = 73)
DAP media ± DE (cm)	21.32 ± 19.34	2.93 ± 8.40
DAP rango (cm)	0.40 – 65.00	0.10 – 42.80
Altura media ± DE (m)	12.13 ± 6.84	2.61 ± 4.31
Plántulas	0 (0%)	0 (0%)
Juveniles	2 (22.2%)	68 (93.2%)
Subadultos	0 (0%)	1 (1.4%)
Adultos maduros	7 (77.8%)	4 (5.5%)
Mann-Whitney U=538.5 (p = 0.0018)		

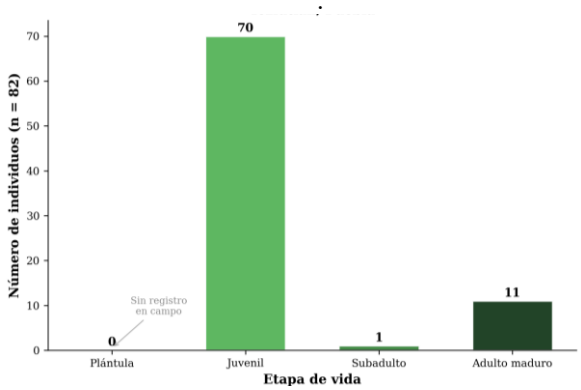


Fig. 3. Estructura poblacional por etapa de vida

La distribución por etapas de vida evidenció la ausencia de plántulas y el predominio de juveniles (85.4%), una escasa representación de adultos, tanto de jóvenes (1.2%), como de maduros (13.4%), algo notable es que, de los 82 individuos, 70 fueron juveniles (Fig. 3).

Se detectaron diferencias significativas en la estructura entre unidades topográficas (Mann-Whitney U = 538.5, p = 0.0018): la ladera presentó dominancia de adultos maduros (77.8%), mientras que la cima mostró dominancia de juveniles (93.2%) con muy escasa presencia de adultos (5.5%) (Tabla 2) (Fig. 4).

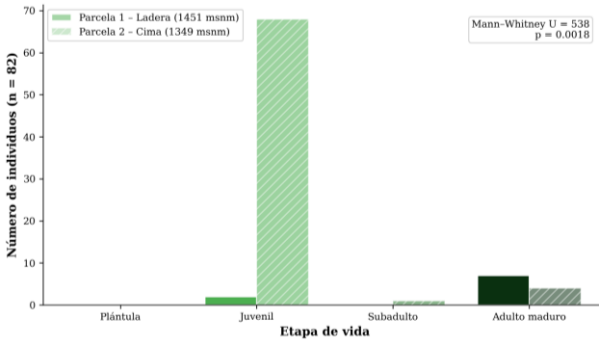


Fig. 4. Estructura poblacional por unidad topográfica

4 Discusión

De manera preliminar, la estructura poblacional observada muestra un patrón con dominancia de individuos adultos en laderas y una alta proporción de juveniles en zonas de cima. Esto sugiere una dinámica poblacional fuertemente condicionada por la heterogeneidad ambiental asociada a la topografía. Y aunque este contraste en cuanto a establecimiento y supervivencia puede interpretarse como resultado de la alta variabilidad de condiciones microambientales —la disponibilidad de humedad, profundidad de suelo y exposición— de los BMM (Rodriquez-Ramirez, et al., 2016), los datos son aún insuficientes.

Los datos obtenidos hasta ahora indican que las laderas son sitios de mayor estabilidad ambiental, favoreciendo la permanencia de individuos adultos, mientras que las zonas más expuestas representan ambientes más dinámicos donde el paso de una etapa de vida a otra podría verse limitada por insuficiente retención de humedad, la apertura del dosel (Toledo-Aceves, 2017; Godínez-Ibarra et al., 2007; Argüelles-Marrón, 2008), muestreos más extensos son requeridos para poder hacer tal inferencia de forma adecuada.

La ausencia de plántulas (altura < 30 cm) en los sitios muestreados es relevante en el contexto reproductivo de la especie. De acuerdo con información aportada por ejidatarios de la zona, el año 2025 correspondió a un año semillero para *F. mexicana* en Teziutlán. Considerando que la dispersión ocurre entre junio y septiembre, hasta enero de forma tardía y su germinación es rápida en condiciones de humedad (Godínez-Ibarra et al., 2007) los muestreos realizados en noviembre de 2025 y marzo de 2026, habrían podido registrar plántulas si el establecimiento hubiera sido exitoso. Godínez-Ibarra et al. (2007) documentaron que la herbivoría es la principal causa de mortalidad en plántulas de *F. grandifolia* subsp. *mexicana*, con una supervivencia de apenas 2.8% a los 10 meses, esto sugiere que el tiempo

como plántula puede ser muy breve para ser capturado con muestreos puntuales.

Sin embargo, la abundancia de juveniles registrada en este trabajo sugiere que el reclutamiento fue exitoso en algún momento previo (Godínez-Ibarra et al., 2007). A pesar de las diferencias estructurales detectadas, es importante señalar que los resultados presentados son aún limitados, y considerando que los datos estadísticos pueden no ser suficientes para el entendimiento causal (Rosen, 1985,1991), el alcance inferencial de los resultados es aún restringido, por lo que no pueden ser extrapolables a toda la dinámica del municipio. La incorporación de un mayor número de unidades de muestreo, así como de variables ambientales directas (e.g., humedad del suelo, cobertura de dosel, intensidad de perturbación), y una aproximación relacional que utilice a los pocos datos disponibles como primer punto de partida para después realizar un estudio causal usando la técnica de análisis de bucles tipo II (Lane, 2024) podrían arrojar luz en la correlación en las tendencias detectadas en este estudio con posibles mecanismos causales y así informar estrategias de conservación.

5 Conclusiones

Las poblaciones de *Fagus mexicana* en Teziutlán presentan una estructura poblacional diferenciada entre unidades topográficas, lo que sugiere que la heterogeneidad ambiental a escala local influye en su dinámica. La dominancia de individuos juveniles, junto con la ausencia de plántulas, indica que la regeneración de la especie podría ser episódica y limitada en sus etapas tempranas.

Estos resultados constituyen una aproximación inicial a la población de *F. mexicana* en Teziutlán, y resaltan la necesidad de ampliar esfuerzos de muestreo, incorporar variables ambientales que permitan explicar con mayor precisión su regeneración y persistencia, socializar resultados con comunidades locales y tomadores de decisiones y sugerir estrategias de conservación.

6 Referencias

Argüelles Marrón, B. (2018). Ecología de semillas y plántulas de Fagus grandifolia subsp. mexicana para la conservación y restauración del bosque mesófilo de montaña [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (Coords.). (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2008). Categoría de prioridad para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México. Escala: 1:250,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Ehnis, E. A. (1981). Fagus mexicana Martínez, su ecología e importancia [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fox, W., & Sharp, A. (1954). La distribución de Fagus en México. *Botanical Sciences,* 17, 31–33. https://doi.org/10.17129/botsci.993

Godinez-Ibarra, O., López-Mata, L., García-Moya, E., Valdez-Hernández, J. I., De los Santos-Posadas, H., & Trinidad-Santos, A. (2007). Lluvia de semillas y emergencia de plántulas de Fagus grandifolia subsp. Mexicana en La Mojonera, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 78, 117–128. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.394

INEGI. (1994). Teziutlán, Estado de Puebla. Cuaderno Estadístico Municipal. Secretaría de Gobernación / H. Ayuntamiento de Teziutlán / INEGI.

INEGI. (2021). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000, Serie VII. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

Lane, P. A. (2024). Using Relational Biology with Loop Analysis to Study the North Atlantic Biological Carbon Pump in a 'Hybrid' Non-Algorithmic Manner. *Mathematics, 12*(24), 3972. https://doi.org/10.3390/math12243972

Ostrom, E., & Wertime, R. A. (1995). IFRI Research Strategy. International Forestry Resources and Institutions Program, Indiana University.

Pérez Rodríguez, P. M. (1994). Revisión sobre el conocimiento dendrológico, silvícola y un censo de las poblaciones actuales del género Fagus en México [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V. H., Watson, J. E. M., VanDerWal, J., Fuller, R. A., Pressey, R. L., & Possingham, H. P. (2012). Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change,* 2, 448–452. https://doi.org/10.1038/nclimate1453

Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara, O., & Ruiz-Jiménez, C. A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 77(2), 177–190. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2006.002.333

Rodríguez-Ramírez, E. C., Luna-Vega, I., & Rozas, V. (2018). Tree-Ring research of Mexican beech (Fagus GrandifoliaSubsp.Mexicana) a relict tree endemic to eastern Mexico. *Tree-Ring Research,* 74(1), 94–107. https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.1.94

Rodríguez-Ramírez, E. C., Sánchez-González, A., & Ángeles-Pérez, G. (2016). Relationship between vegetation structure and microenvironment in Fagus grandifolia subsp. Mexicana forest relicts in Mexico. *Journal of Plant Ecology,* 11(2), 1–11. https://doi.org/10.1093/jpe/rtw138

Rosen, R. (1991) *Life itself: A comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. Columbia University Press.

Rosen, R. (2012/1985). *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1269-4

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1ª ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Toledo-Aceves, T. (2017). Germination rate of endangered cloud forest trees in Mexico: potential for ex situ propagation. *Journal of Forest Research* 22, 61-63

7 Agradecimientos

Al Mtro. Enrique Soto Astorga y Biol. Lopez Camarillo por su revisión a una versión previa. A pobladores del Municipio Teziutlán por su apertura y colaboración.

como plántula puede ser muy breve para ser capturado con muestreos puntuales.

Sin embargo, la abundancia de juveniles registrada en este trabajo sugiere que el reclutamiento fue exitoso en algún momento previo (Godínez-Ibarra et al., 2007). A pesar de las diferencias estructurales detectadas, es importante señalar que los resultados presentados son aún limitados, y considerando que los datos estadísticos pueden no ser suficientes para el entendimiento causal (Rosen, 1985,1991), el alcance inferencial de los resultados es aún restringido, por lo que no pueden ser extrapolables a toda la dinámica del municipio. La incorporación de un mayor número de unidades de muestreo, así como de variables ambientales directas (e.g., humedad del suelo, cobertura de dosel, intensidad de perturbación), y una aproximación relacional que utilice a los pocos datos disponibles como primer punto de partida para después realizar un estudio causal usando la técnica de análisis de bucles tipo II (Lane, 2024) podrían arrojar luz en la correlación en las tendencias detectadas en este estudio con posibles mecanismos causales y así informar estrategias de conservación.

5 Conclusiones

Las poblaciones de *Fagus mexicana* en Teziutlán presentan una estructura poblacional diferenciada entre unidades topográficas, lo que sugiere que la heterogeneidad ambiental a escala local influye en su dinámica. La dominancia de individuos juveniles, junto con la ausencia de plántulas, indica que la regeneración de la especie podría ser episódica y limitada en sus etapas tempranas.

Estos resultados constituyen una aproximación inicial a la población de *F. mexicana* en Teziutlán, y resaltan la necesidad de ampliar esfuerzos de muestreo, incorporar variables ambientales que permitan explicar con mayor precisión su regeneración y persistencia, socializar resultados con comunidades locales y tomadores de decisiones y sugerir estrategias de conservación.

6 Referencias

Argüelles Marrón, B. (2018). Ecología de semillas y plántulas de Fagus grandifolia subsp. mexicana para la conservación y restauración del bosque mesófilo de montaña [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (Coords.). (2000). Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

CONABIO. (2008). Categoría de prioridad para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México. Escala: 1:250,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Ehnis, E. A. (1981). Fagus mexicana Martínez, su ecología e importancia [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Fox, W., & Sharp, A. (1954). La distribución de Fagus en México. *Botanical Sciences,* 17, 31–33. https://doi.org/10.17129/botsci.993

Godinez-Ibarra, O., López-Mata, L., García-Moya, E., Valdez-Hernández, J. I., De los Santos-Posadas, H., & Trinidad-Santos, A. (2007). Lluvia de semillas y emergencia de plántulas de Fagus grandifolia subsp. Mexicana en La Mojonera, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 78, 117–128. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.394

INEGI. (1994). Teziutlán, Estado de Puebla. Cuaderno Estadístico Municipal. Secretaría de Gobernación / H. Ayuntamiento de Teziutlán / INEGI.

INEGI. (2021). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000, Serie VII. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

Lane, P. A. (2024). Using Relational Biology with Loop Analysis to Study the North Atlantic Biological Carbon Pump in a 'Hybrid' Non-Algorithmic Manner. *Mathematics, 12*(24), 3972. https://doi.org/10.3390/math12243972

Ostrom, E., & Wertime, R. A. (1995). IFRI Research Strategy. International Forestry Resources and Institutions Program, Indiana University.

Pérez Rodríguez, P. M. (1994). Revisión sobre el conocimiento dendrológico, silvícola y un censo de las poblaciones actuales del género Fagus en México [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V. H., Watson, J. E. M., VanDerWal, J., Fuller, R. A., Pressey, R. L., & Possingham, H. P. (2012). Vulnerability of cloud forest reserves in Mexico to climate change. *Nature Climate Change,* 2, 448–452. https://doi.org/10.1038/nclimate1453

Ponce-Vargas, A., Luna-Vega, I., Alcántara, O., & Ruiz-Jiménez, C. A. (2006). Florística del bosque mesófilo de montaña de Monte Grande, Lolotla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 77(2), 177–190. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2006.002.333

Rodríguez-Ramírez, E. C., Luna-Vega, I., & Rozas, V. (2018). Tree-Ring research of Mexican beech (Fagus GrandifoliaSubsp.Mexicana) a relict tree endemic to eastern Mexico. *Tree-Ring Research,* 74(1), 94–107. https://doi.org/10.3959/1536-1098-74.1.94

Rodríguez-Ramírez, E. C., Sánchez-González, A., & Ángeles-Pérez, G. (2016). Relationship between vegetation structure and microenvironment in Fagus grandifolia subsp. Mexicana forest relicts in Mexico. *Journal of Plant Ecology,* 11(2), 1–11. https://doi.org/10.1093/jpe/rtw138

Rosen, R. (1991) *Life itself: A comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life*. Columbia University Press.

Rosen, R. (2012/1985). *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical, and Methodological Foundations*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1269-4

Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1ª ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Toledo-Aceves, T. (2017). Germination rate of endangered cloud forest trees in Mexico: potential for ex situ propagation. *Journal of Forest Research* 22, 61-63

7 Agradecimientos

Al Mtro. Enrique Soto Astorga y Biol. Lopez Camarillo por su revisión a una versión previa. A pobladores del Municipio Teziutlán por su apertura y colaboración.

La mortandad del alcornocal en Andalucía (España): análisis de factores edáficos y bióticos relacionados.

Jurado Doña, Vicente[1], Díaz del Olmo, Fernando[1,2], Recio Espejo, José Manuel[2] y Cámara Artigas, Rafael[1]

[1]Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Universidad de Sevilla. c/ Maria de Padilla s/n, 41004 Sevilla, España
[2]Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal. Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales s/n. 14071 Córdoba, España
vjurado@us.es

Resumen: El estudio se llevó a cabo en el Parque Natural de Los Alcornocales en el sur de España. Tratamos de correlacionar la muerte del arbolado principal (*Quercus suber*) con la presencia de determinados microorganismos patógenos de raíz. Sorprendentemente no se detectó la presencia de *Phytophthora cinnamomi* y en cambio, la presencia del complejo *Pythium* spp. (entre ellos probablemente *P. spiculum*) estuvo correlacionada positivamente con una mayor fracción arenosa de los suelos y, negativamente, con la fracción de finos (arcillas + limos) y con la humedad higroscópica, lo que concede a estos oomicetos un papel principal en el decaimiento. El pH no alcanzó valores significativos y la densidad arbórea sugiere que la competencia entre los árboles y la facilidad de infección a través de las raíces podría propiciar un debilitamiento de esos bosques tan importantes desde el punto de vista ambiental y socioeconómico, de ahí que la gestión forestal debería tender a mejorar la estructura del suelo (finos y materia orgánica) facilitando la infiltración y con ello tasas de propagación más lentas y reducir la densidad del arbolado.

Palabra clave: alcornocal, oomicetos, cambio climático.

Resumo: O estudo foi realizado no Parque Natural de Los Alcornocales, no sul de Espanha. Procurou-se correlacionar a morte da principal população arbórea (*Quercus suber*) com a presença de certos microrganismos patogénicos das raízes. Surpreendentemente, o *Phytophthora cinnamomi* não foi detetado; vez, a presença do complexo *Pythium* spp. (incluindo, provavelmente, *P. spiculum*) apresentaram uma correlação positiva com uma maior fracção arenosa do solo e uma correlação negativa com a fracção fina (argilas e siltes) e humidade higroscópica, sugerindo um papel fundamental destes oomicetos no declínio. O pH não atingiu valores significativos e a densidade de árvores sugere que a competição entre elas e a facilidade de infecção pelas raízes podem levar ao enfraquecimento destas florestas, tão importantes do ponto de vista ambiental e socioeconómico. Assim sendo, a gestão florestal deve visar a melhoria da estrutura do solo (partículas finas e matéria orgânica), facilitando a infiltração e, consequentemente, diminuindo as taxas de propagação, bem como reduzindo a densidade de árvores.

Palavra-chave: montado de sobro, oomicetos, alterações climáticas.

Abstract: The study was conducted in the Los Alcornocales Natural Park in southern Spain. We sought to correlate the death of the main tree population (*Quercus suber*) with the presence of certain root-pathogenic microorganisms. Surprisingly, *Phytophthora cinnamomi* was not detected; instead, the presence of the *Pythium* spp. complex (including, probably, *P. spiculum*) was positively correlated with a higher sandy soil fraction and negatively correlated with the fine fraction (clays and silts) and hygroscopic moisture, suggesting a key role for these oomycetes in the decline. The pH did not reach significant values and the tree density suggests that competition between trees and the ease of infection through the roots could lead to a weakening of these forests, which are so important from an environmental and socioeconomic point of view. Therefore, forest management should aim to improve soil structure (fines and organic matter), facilitating infiltration and thus slowing propagation rates, and reducing tree density.

Keyword: cork oak forest, oomycetes, climate change

1 Introducción

En las últimas décadas se han hecho patentes procesos de decaimiento forestal (*forest decline*) generalizado en varias partes del mundo. En Andalucía (sur de la Península Ibérica), los bosques están formados fundamentalmente por especies del género *Quercus,* (familia Fagaceae) la mayor parte de los cuales son encinares (*Quercus ilex*), alcornocales (*Quercus suber*) y quejigares (*Quercus faginea* y *Quercus canariensis*) que en algunas áreas pequeñas constituyen bosques densos termófilos pero que, en general, han sido manejados y modificados por el hombre y el ganado desde hace milenios (San Miguel, 1994; Smith, 2018). En la actualidad numerosos estudios indican que el principal factor de decaimiento de encinas y alcornoques en la región mediterránea es la especie exótica *Phytophthora cinnamomi* (Brasier, 1996; Camilo-Alves et al., 2013) si bien algunas especies de *Pythium* están asociadas también a la enfermedad (Romero et al., 2007). La textura del suelo se ha revelado un factor importante en la difusión de los patógenos transmitidos por el suelo (Gómez-Aparicio et al., 2012). Como referencia clásica, Erwin & Ribeiro (1996) indican que la humedad constituye un factor limitante crítico en la infección por *Phytophthora*, al condicionar la movilidad de sus esporas y la persistencia del inóculo en el suelo.

El alcornoque (*Quercus suber*) es una especie singular desde el punto de vista biogeográfico. De distribución circunmediterránea presenta un claro aprovechamiento económico desde hace siglos en Portugal y España. Su corteza suberosa (corcho) cubre el tronco y ramas, y está formada por células muertas impregnadas de suberina, un biopolímero que le confiere una elevada elasticidad y baja conductividad por lo que el árbol presenta una buena resistencia frente a los incendios forestales y también lo protege parcialmente del ataque de hongos e insectos. En los últimos años se ha hecho muy patente la muerte de una parte del arbolado lo que está provocando cambios en la dinámica poblacional y desde luego una caída en la producción de corcho en Andalucía (Jurado-Doña et al., 2022). La explotación del alcornocal constituye una fuente importante de riqueza y creación de empleo en entornos rurales en Andalucía y también en otras regiones de España y Portugal.

2 Métodos

El área de estudio se ubica en el Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz-Málaga) declarado en 1989. Se localiza en el sur de la Península ibérica entre los 36º 21' N y los 5º 32' O, e incluye las denominadas Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar (Figura 1). La Sierra del Aljibe alcanza la máxima cota del Parque (1092 msnm). Se trata de un conjunto de sierras constituidas básicamente por las denominadas areniscas del Aljibe (de edad oligo-miocena) que descansan sobre materiales arcillosos. Los suelos son muy ácidos, pobres en nutrientes y de textura franco-arenosa (Ibarra, 1993), con una tasa de filtración relativamente elevada. La vegetación principal está formada por bosques de alcornoques (*Quercus suber*), los más extensos y mejor conservados de la Península Ibérica (Jurado-Doña et al., 2022). El alcornoque es reemplazado por el marcescente *Quercus canariensis* en elevaciones más altas y áreas más húmedas, como en los márgenes de los arroyos. En los sitios más abiertos aparecen bosques de acebuches (*Olea europaea* var. *sylvestris*) sobre suelos margosos, que constituyen zonas de pasto para ganado vacuno y caprino y sobre sustratos menos ácidos la coscoja (*Quercus coccifera*) que adopta a veces porte arbóreo. El estrato arbustivo es denso y variado en especies leñosas (Arroyo, 1997).

Se seleccionaron 13 parcelas de 100 x 100 m (1ha) en bosques de alcornoques a lo largo de un gradiente norte-sur dentro del Parque Natural. El muestreo se llevó a cabo entre los años 2021-2022. Las parcelas seleccionadas estaban agrupadas en dos áreas distanciadas unos 30-35 km y recogían una amplia heterogeneidad. En cada parcela se calcularon determinados parámetros selvícolas: densidad arbórea, índice de mortalidad, diámetro a 1,30 m, área basal y cobertura arbustiva. En total se muestrearon 530 árboles.



Fig. 1. Localización del Parque Natural de Los Alcornocales (en verde) y de las parcelas estudiadas agrupadas en dos áreas: Norte (rojo) y Sur (azul).

En cada parcela se tomaron muestras de suelo para analizar distintas variables edáficas (pH, textura, humedad higroscópica y materia orgánica). Para detectar la posible presencia de los oomicetos responsables del decaimiento forestal se tomaron muestras de suelo y de raíces (30-40 cm de profundidad) a 1 metro aproximadamente del tronco del árbol elegido (afectado, pero no muerto). Las muestras se remitieron al laboratorio de Ecología Aplicada de la Universidad de Córdoba. En una de las parcelas del área norte (N) y en otra del área sur (S) se efectuó una extracción doble de suelo y raíces a distinta profundidad: una primera a 30-40 cm (al igual que en las restantes muestras) y otra más profunda a 2,5 metros aproximadamente

3 Resultados

Evaluamos la normalidad de todas las variables mediante la prueba de Shapiro-Wilk y debido a que algunas variables no

se ajustaban a la normalidad se utilizó una prueba no paramétrica. El análisis de correlación de Spearman evidenció tendencias coherentes entre la presencia del oomiceto *Pythium spp*. y determinadas variables edáficas y bióticas. Sorprendentemente en las 15 muestras analizadas no se detectó la presencia de *Phytophthora cinnamomi*. Ya sabíamos que es un microorganismo difícil de detectar porque presenta una distribución agregada en manchas (Gómez-Aparicio et al., 2012) y porque sospechamos que las esporas puedan ubicarse a varios metros de profundidad sobre todo tras varios años de sequía. Las lluvias de primavera de los años del muestreo han sido escasas y ya se conoce que las lluvias de primavera provocan una mayor abundancia de esporas en el suelo (Serrano et al., 2021). Sin embargo, sí detectamos la presencia de oomicetos del género *Pythium* que aparecieron en el 73 % de las muestras. La importancia de *Pythium spiculum* en el decaimiento de las especies de *Quercus* en Andalucía ya había sido referida en estudios previos (Romero et al., 2007; Serrano et al., 2012). Nuestros resultados revelan una correlación positiva significativa entre la fracción arenosa y la abundancia de *Pythium*. Asimismo, el contenido de finos (arcillas + limos, -0.61) y la humedad higroscópica (-0.59) mostraron una correlación negativa significativa y la densidad arbórea mostró una tendencia positiva próxima al nivel de significación estadística (Tabla 1 y Figura 2). Este hallazgo indica que las esporas de *Pythium spp*. no solo persisten, sino que muestran una mayor densidad en suelos arenosos con baja capacidad higroscópica, lo que se traduce en condiciones más secas y pobres. Se ha demostrado recientemente en estudios de laboratorio, que *P. cinnamomi* predomina en suelos húmedos a moderadamente secos y *Pythium spiculum* predomina en suelos secos (González et al., 2025). La correlación negativa con la humedad higroscópica del suelo y con el contenido de finos refuerzan esta interpretación. A este estrés edáfico se suma el factor biótico: nuestros datos sugieren que una mayor densidad de árboles/ha actúa como vector de propagación mecánica y agravante del estrés fisiológico por competencia intraespecífica. Así, nuestros datos de campo aportan una prueba experimental robusta de la importancia de este oomiceto en el decaimiento forestal que respondería mejor a las nuevas condiciones propiciadas por el cambio climático mientras que la presencia de *P. cinnamomi* se vería minimizada o atenuada en horizontes superficiales sometidos a desecación prolongada, como se había sugerido anteriormente (Homet et al., 2019; Serrano et al., 2021).

Resulta sorprendente que el pH no adquiera un peso significativo, lo que nos lleva a sospechar que la acidez del sustrato no condiciona la presencia de los patógenos, en este caso de *Pythium* spp. Por último, habría que destacar, la amplia dispersión geográfica de las parcelas aquí estudiadas recogiendo así una amplia heterogeneidad ambiental a lo largo del Parque Natural y, en este sentido, la importancia de seguir realizando trabajos de campo en Biogeografía.

4 Referencias

Arroyo, J. (1997). Plant diversity in the region of the strait of Gibraltar: a multilevel approach. *Lagascalia*, *19*(1), 393-404.

Brasier, C. M. (1996). *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. In *Annales des sciences forestières* (Vol. 53, No. 2-3, pp. 347-358). EDP Sciences.

Camilo-Alves, M. I., da Clara, M. I. E., & Alves, A. (2013). Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: A review. *European Journal of Forest Research,* 132(3), 411–432. https://doi.org/10.1007/s10342-013-0688-z

Erwin, D. C., & Ribeiro, O. K. (1996). *Phytophthora diseases worldwide* American Phytopathological Society (APS Press) (pp. xii+-562).

Gómez-Aparicio, L., Ibáñez, B., Serrano, M. S., De Vita, P., Ávila, J. M., Pérez-Ramos, I. M., & Marañón, T. (2012). Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: Implications for tree regeneration. *Ecology*, 93(1), 24–35. https://doi.org/10.1890/11-0114.1

González, M., Serrano, M. S., Romero, M. Á., & Sánchez, M. E. (2025). The Role of Soil Moisture in the Infection of *Quercus sub*er L. Roots by *Phytophthora cinnamomi* Rands and *Pythium spiculum* Paul. *Forests*, *17*(1), 33. https://doi.org/10.3390/f17010033

Homet, P., González, M., Matías, L., Godoy, O., Pérez-Ramos, I. M., García, L. V., & Gómez-Aparicio, L. (2019). Exploring interactive effects of climate change and exotic pathogens on *Quercus suber* performance: Damage caused by *Phytophthora cinnamomi* varies across contrasting scenarios of soil moisture. *Agricultural and Forest Meteorology*, *276*, 107605. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.06.004

Ibarra, P. (1993). *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar: un análisis paisajístico integrado.* Junta de Andalucía, Sevilla.

Jurado Doña, V., López-Jurado, J., González Román, A., Sánchez-Salguero, R., Matías, L., & Díaz del Olmo, F. (2022). Influence of site conditions and land management on *Quercus suber* L. population dynamics in the southern Iberian Peninsula. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *15*(2), 77. https://doi.org/10.3832/ifor3753-015

Romero, M. A., Sánchez, J. E., Jiménez, J. J., Belbahri, L., Trapero, A., Lefort, F., & Sánchez, M. E. (2007). New Pythium taxa causing root rot on mediterranean *Quercus* species in southwest Spain and Portugal. *Journal of Phytopathology*, *155*(5), 289-295. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01230.x

San Miguel, A. (1994). *La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión.* Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

Serrano, M. D., Vita, P. D., Fernández-Rebollo, P., Coelho, A. C., Belbahri, L., & Sánchez, M. E. (2012). *Phytophthora cinnamomi* and *Pythium spiculum* as main agents of *Quercus* decline in southern Spain and Portugal. En M. L. Merlo (Ed.), *The Dehesa: A sustainable ecosystem* (pp. 55–72). Nueva York: Nova Science Publishers.

Serrano, M. S., Pérez, F. J., & Gómez-Aparicio, L. (2021). Disentangling the interactive effects of climate change and *Phytophthora cinnamomi* on coexisting Mediterranean tree species. *Agricultural and Forest Meteorology*, *298*, 108295. http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108295

Serrano, M. S., Villa-Sanabria, E., Homet, P., Gutiérrez, E., & Gómez-Aparicio, L. (2024). Impact of a drier climate on the exotic pathogen *Phytophthora cinnamomi* in Mediterranean forests differing in soil properties and species composition. *Forest Ecology and Management*, *556*, 121721. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121721

Smith, J. A. (2018). *Biogeography and landscape ecology*. Oxford: University Press.

Tabla 1. Datos físico-químicos de las parcelas

PARCELAS	Altitud	Árboles/ha	Árboles muertos	Área basal	Cob. arbustiva	Presencia de *Pythiumspiculum*	Presencia de *Phytophthora cinnamomi*	pH	M.O. %	Arenas %	Finos %	humedad higroscópica %
MARRUFO-1	554	260	17	58,42	2	0	0	4,9	7,5	24,1	75,9	4,1
MARRUFO-2	510	314	21	69,08	2	150	0	4,3	5,1	49,8	50,2	2,2
MARRUFO-3	430	285	1	36,13	2	20	0	4,4	4,0	47,1	52,9	3,1
MARRUFO 3 (2,5 M)	430	285	1	36,13	2	0	0	4,5	5,0	20,1	79,9	4,8
MARRUFO-4	530	390	24	44,26	3	10	0	5,2	4,2	58,1	41,9	2,0
HERNÁN MARTÍN	530	333	67	28,97	2	90	0	5,1	4,2	45,0	55,0	2,2
LA JARDA	320	280	32	26,04	3	10	0	5,7	4,0	43,0	57,0	3,2
MONTES JEREZ	330	314	92	30,45	2	27	0	5,6	4,0	42,0	58,0	2,0
MURTA 1 (2,5 M)	295	330	37	47,85	4	0	0	4,5	8,0	5,9	94,1	9,3
MURTA	295	330	37	47,85	4	20	0	4,6	9,3	8,9	91,1	9,6
EL PALANCAR	190	91	4	13,65	3	0	0	6,9	9,2	12,3	87,7	8,7
VALDEINFIERNO-1	190	80	21	9,28	4	16	0	4,9	6,0	46,9	53,1	3,3
VALDEINFIERNO-2	120	58	26	19,00	3	5	0	4,7	8,8	8,1	91,9	7,6
LA TEJA	240	150	14	20,55	4	5	0	7,1	8,5	12,0	88,0	7,8
MOGEA LUENGA	260	423	12	46,50	3	50	0	6,8	4,5	54,5	45,5	3,5

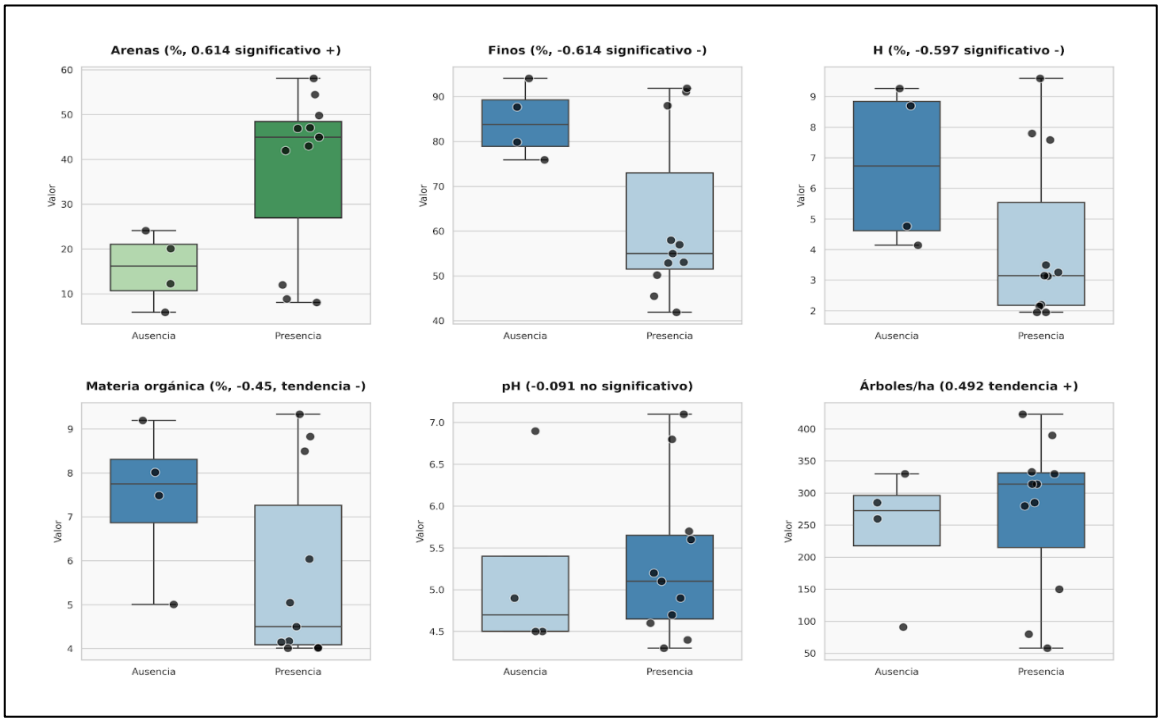


Fig. 1. Box-plots de 6 de las variables estudiadas. Las 3 de arriba resultaron significativas

¿Por qué nos quemamos, si siempre nos inundamos? Respuesta ecológica del Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina) ante la manifestación de eventos climáticos extremos

Contreras, Felix Ignacio

Grupo de Geografía Física, Centro de Ecología Aplicada del Litoral – CECOAL (CONICET/UNNE), ruta provincial 5 km 2,5 CP:3400, Corrientes, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Avda. Libertad 5470 CP: 3400, Corrientes, Argentina.
ignaciocontreras@gmail.com

Resumen. Durante la última década, el noroeste de Corrientes (Argentina) registró eventos climáticos extremos de magnitud histórica, alternando excesos hídricos (2015-2019) con déficits pluviométricos persistentes (2020-2023). Esta variabilidad interanual impactó profundamente los sistemas naturales, siendo el Parque Provincial San Cayetano (PPSC), un mosaico de palmares y pastizales en la llanura de inundación del río Riachuelo, un caso paradigmático. En 2020, un incendio afectó el 80% de su superficie; posteriormente, un período muy húmedo en 2024 (>2.000 mm) precedió a una severa sequía en el verano de 2025 (>50°C), desencadenando otro incendio generalizado el 3 de marzo de ese año. Este trabajo analiza las dinámicas de las unidades de paisaje del PPSC ante extremos hidrológicos, evaluando las variables ambientales que potencian la severidad del fuego. Los resultados preliminares indican que, si bien los incendios impactan totalmente a pastizales y palmares, estas comunidades exhiben una elevada resiliencia mediante una rápida regeneración herbácea y reactivación foliar. No obstante, persisten interrogantes sobre la respuesta de la fauna asociada y el avance de especies exóticas en la sucesión ecológica posdisturbio. Aunque los paisajes del PPSC están altamente expuestos a ambos extremos hídricos, muestran una notable capacidad de recuperación. Este escenario refuerza la necesidad de un monitoreo continuo e integrado para anticipar impactos y fortalecer la gestión adaptativa del área protegida ante el cambio climático global.

Palabras clave: Eventos climáticos extremos, Resiliencia ecológica, Dinámica del paisaje, Subtrópico, Argentina.

Resumo. Durante a última década, o noroeste de Corrientes (Argentina) registrou eventos climáticos extremos de magnitude histórica, alternando excessos hídricos (2015-2019) com déficits pluviométricos persistentes (2020-2023). Essa variabilidade interanual impactou profundamente os sistemas naturais, sendo o Parque Provincial San Cayetano (PPSC), um mosaico de paisagem de palmeirais e pastagens na planície de inundação do rio Riachuelo, um caso paradigmático. Em 2020, um incêndio afetou 80% de sua superfície; posteriormente, um período muito úmido em 2024 (>2.000 mm) precedeu uma severa seca no verão de 2025 (>50°C), desencadeando outro incêndio generalizado em 3 de março daquele ano. Este trabalho analisa as dinâmicas das unidades de paisagem do PPSC diante de extremos hidrológicos, avaliando as variáveis ambientais que potencializam a severidade do fogo. Os resultados preliminares indicam que, embora os incêndios impactem totalmente as pastagens e os palmeirais, essas comunidades exibem uma elevada resiliência por meio de uma rápida regeneração herbácea e reativação foliar. No entanto, persistem questionamentos sobre a resposta da fauna associada e o avanço de espécies exóticas na sucessão ecológica pós-distúrbio. Embora as paisagens do PPSC estejam altamente expostas a ambos os extremos hídricos, mostram uma notável capacidade de recuperação. Este cenário reforça a necessidade de um monitoramento contínuo e integrado para antecipar impactos e fortalecer a gestão adaptativa da área protegida diante das mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Eventos climáticos extremos, Resiliência ecológica, Dinâmica da paisagem, Subtrópico, Argentina.

Abstract. Over the last decade, northwestern Corrientes (Argentina) has recorded extreme climatic events of historical magnitude, alternating between hydrological excesses (2015–2019) and persistent rainfall deficits (2020–2023). This interannual variability has profoundly impacted natural systems, with the San Cayetano Provincial Park (SCPP), a landscape mosaic of palm groves and grasslands within the Riachuelo River floodplain, serving as a paradigmatic case. In 2020, a large-scale wildfire affected 80% of its area; subsequently, an exceptionally wet period in 2024 (>2,000 mm) preceded a severe drought in the summer of 2025 (>50°C), triggering another widespread fire on March 3rd of that year. This study analyzes the landscape unit dynamics of the SCPP in the face of hydrological extremes, evaluating the environmental variables that drive fire severity. Preliminary results indicate that although wildfires completely impact grasslands and palm groves, these communities exhibit high resilience through rapid herbaceous regeneration and foliar reactivation. However, questions remain regarding the response of associated fauna and the encroachment of invasive species during post-disturbance ecological succession. While SCPP landscapes are highly exposed to both hydrological extremes, they demonstrate a remarkable capacity for recovery. This scenario underscores the need for continuous,

integrated monitoring to anticipate impacts and strengthen protected area adaptive management against global climate change.

Keywords: Extreme climate events, Ecological resilience, Landscape dynamics, Subtropics, Argentina.

1 Introducción

La ocurrencia de eventos climáticos cada vez más extremos y frecuentes ha despertado la atención de los tomadores de decisiones y de la población en general. Sin embargo, el conocimiento sobre sus repercusiones paisajísticas y sus dinámicas espacio-temporales sigue siendo de exclusividad del ámbito científico-académico.

En este contexto, el nordeste argentino (NEA) ha registrado escenarios completamente contrapuestos, asociados a ciclos hidrológicos normales de inundación y sequía, los cuales se potenciaron y prolongaron debido a las fases de El Niño (2015-2018) y la Niña (2019-2022).

Dado que el NEA es la región más húmeda del país, las inundaciones constituyen las amenazas más frecuentes, siendo el disturbio para el cual la sociedad posee mayor adaptación. No obstante, las sequías extremas demostraron que aquellos ambientes que naturalmente son anegadizos también pueden convertirse en escenarios de incendios de gran magnitud. Fue así como en octubre de 2020, en el Parque Provincial San Cayetano (PPSC), se inició un incendio asociado a la actividad ganadería que afectó la totalidad del mosaico paisajístico compuesto por de pastizales (*Andropogon lateralis* Nees) y palmares (*Copernicia alba* Morong), el cual representa el 80% de su superficie. Tiempo después, las precipitaciones abundantes en los años 2023-2024, demostraron que este paisaje era muy resiliente al fuego, al recuperar rápidamente la vigorosidad de los pastizales, las plantas herbáceas y los palmares; un comportamiento que difiere notablemente de los bosques, los cuales fueron afectados por diferentes niveles de severidad de fuego.

Esta secuencia de disturbios (inundación, sequía, incendio, exceso pluviométrico, nueva sequía e incendio) plantea interrogantes sobre cómo responden las distintas unidades de paisaje del PPSC ante eventos climáticos extremos y opuestos. Asimismo, cabe preguntarse cuáles son las variables ambientales que intervienen en la ocurrencia y severidad de los incendios; como también; en qué medida la resiliencia de las comunidades vegetales es suficiente para garantizar la recuperación estructural y funcional de los ecosistemas entre eventos sucesivos.

El presente trabajo tiene por objetivo analizar las dinámicas de las unidades de paisaje del PPSC frente a eventos climáticos extremos, con énfasis en la identificación de las amenazas latentes y las variables ambientales que potencian la ocurrencia y severidad de los incendios. Asimismo, se evalúa la resiliencia de los sistemas naturales presentes en el área protegida y se proponen lineamientos para su monitoreo y gestión adaptativa en el contexto del cambio climático.

2 Materiales y métodos.

2.1 Área de estudio

El PPSC, de 76 hectáreas (ha), fue creado en el año 2015 con la finalidad de conservar la flora y fauna autóctona, la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos asociados al arroyo Riachuelo. Se encuentra en la localidad homónima, perteneciente al municipio de Riachuelo, a unos 18 km al sudeste de la ciudad capital de la provincia de Corrientes, Argentina.

El clima es cálido subtropical húmedo con inviernos eventualmente secos. La temperatura media anual es de 21°C, aunque las temperaturas máximas absolutas pueden superar 50°C. En cuanto a las precipitaciones, se registran 1.400 mm de media anual entre los meses de octubre y mayo, con máximos en las estaciones intermedias (Contreras, et al., 2020). Particularmente, el del PPSC se encuentra dentro del valle fluvial, por lo que presenta altas probabilidades de inundarse por el desborde del río (Contreras *et al*., 2022).

2.2 Análisis de la variabilidad climática y monitoreo térmico en bosques y pastizales

El análisis de la variabilidad climática y la severidad de los eventos se realizó mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (Pr) y Evapotranspiración (SPEI, por sus siglas en inglés), el cual expresa el balance hídrico de una determinada región (Vicente-Serrano *et al*., 2012).

Los datos utilizados corresponden al índice mensual SPEI-1 y abarca el período desde 1950 hasta la actualidad. Estos valores permiten conocer la distribución y el porcentaje de ocurrencia de eventos extremos durante el año, permitiendo además realizar comparaciones en diferentes escalas de tiempo (Contreras *et al.*, 2020). Los conjuntos de datos corresponden a la cuadricula Lat. -27,75 y Long: -58,25 correspondientes a la ubicación del PPSC.

La severidad de eventos extremos se ha clasificado en función de sus valores de SPEI (Contreras *et al*., 2020): Inundación extrema (IE) (SPEI > 2,0), severa (1,99 > SPEI > 1,5), moderada (1,49 > SPEI > 1), normal (1,0 > SPEI <-1,0), sequía extrema (SE) (SPEI < -2,0), severa (-1,5 < SPEI <-1,99), moderada (-1,0 < SPEI <-1,49).

Por otra parte, las temperaturas del bosque y de los pastizales fueron registradas mediante un sensor de datos (*data logger)* Hobo Pendant MX Temperatura/Luz, colocado a 1,5 m de altura. El instrumental fue configurado para registrar un valor por hora entre el 15/09/2024 y el 05/03/2025.

2.3 Identificación de superficies quemadas

La identificación de superficies quemadas se realizó mediante el cálculo del índice de Calcinación Normalizado (NBR, *Normalized Burn Ratio)*, el cual permite delimitar espacialmente las áreas afectadas por incendios (Delegido, 2018). La operación arroja resultados en un rango entre -1 y 1; el índice muestra valores bajos para las áreas afectadas por incendios, mientras que para las áreas no afectadas adquiere valores altos (Key *et al*., 2006; Anaya *et al*., 2018). El índice fue calculado en Google Earth Engine (GEE).

3 Resultados

3.1 Consecuencias de la manifestación de eventos extremos

Desde mayo de 2019, los eventos registrados oscilaron entre condiciones normales y sequías extremas hasta el mes de septiembre de 2023, cuando retornan las condiciones normales, las cuales se prolongan hasta el mes de mayo de 2024 con eventos moderados de inundación (Fig. 1). A partir de este momento, vuelven a dominar los eventos de sequía severa y moderada.

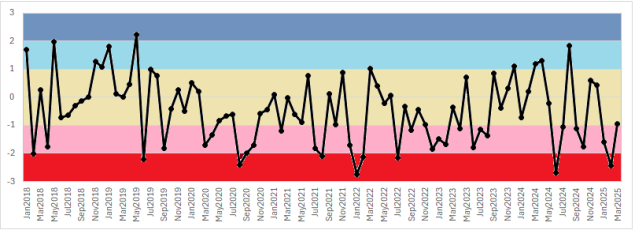


Fig. 1. Valores de SPEI 1 correspondiente al PPSC (2018-2025)

Los incendios registrados, si bien ocurrieron en meses diferentes (octubre 2020 y marzo 2025, respectivamente), se desencadenaron en un contexto de déficit hídrico. Sin embargo, uno de los dos eventos de inundación por desborde del río Riachuelo tuvo lugar durante un momento de sequía severa. Los registros de los sensores térmicos evidenciaron que, en el área de pastizales y palmares, las temperaturas superaron los 50°C al momento de desarrollarse el incendio del 2025, mientras que temperatura máxima en el interior del bosque era de 43°C a las 16 hs.

3.2 Paisajes afectados por el fuego: ¿causalidad o casualidad?

Existen diferencias contrastantes entre los desbordes del río Riachuelo y el desarrollo de los incendios. Para el primer caso, los pastizales son las comunidades afectadas con mayor frecuencia. No obstante, y dependiendo de la severidad hidrometeorológica, los bosques pueden ser alcanzados por el agua, quedando marcas de anegamiento de aproximadamente un metro de altura en las cortezas de los árboles.

En cambio, ambas manifestaciones de incendios (2020 y 2025) han afectado a la totalidad de los pastizales, especies herbáceas y palmares. En lo que respecta a los bosques, solo se ven afectados aquellos árboles que se encuentran en contacto directo con los pastizales, cuyo impacto ecotonal no supera los 10 m lineales.

3.3 Monitoreo posdisturbio

Tanto los pastizales como los palmares han recuperado su vigorosidad meses después de manifestarse ambos disturbios. No obstante, los pastizales y, sobre todo, los palmares, resultaron ser más resilientes frente a los incendios. Por el contrario, la fauna nativa ha demostrado ser muy susceptible a ellos, como es el caso de los monos aulladores (*Alouata caraya*) y reptiles tales como víboras y tortugas.

4 Discusión

El contexto de sequía extrema es la principal variable que incide en el desarrollo de incendios. No obstante, para que ello ocurra, es necesaria la presencia de biomasa que actúe de combustible (Pausas, 2020). En este punto, son los períodos húmedos los que intervienen en esta dinámica, ya que es en ellos cuando la vegetación alcanza su mayor desarrollo. Para el primer caso, la biomasa se generó durante el evento de El Niño (2015-2018), sin embargo, el año 2019 también presentó Precipitaciones superiores a lo normal.

No obstante, para el incendio de octubre de 2020, el período lluvioso previo dio paso a una sequía con un valor de SPEI de -1,3 (oct-may); pero si se considera hasta la fecha de la manifestación del fuego, ese valor disminuyó a -2,8. Para el segundo incendio, los valores registrados fueron de -2,3, lo que representa también un cuadro de sequía extrema. Sin embargo, una gran diferencia es que, para el primer caso, el incendio se desarrolló luego de los meses históricamente más secos del año, mientras que el segundo ocurrió en el período del año en el cual estacionalmente se registran las mayores precipitaciones.

Las diferencias térmicas entre el pastizal y el bosque se asocian al microclima formado dentro de estos últimos, donde las escasas corrientes de aire, el sombreado del dosel y un mayor contenido de humedad relativa, contribuyen a que las temperaturas no logren valores extremos. Se infiere que esta amortiguación térmica podría ser la principal razón por el cual el fuego no ingresa en la formación boscosa. Por otro lado, los espacios abiertos, el suelo desnudo, las ráfagas de viento y la facilidad de combustión son los causales de que el macrosistema de pastizales sea muy susceptible al fuego. Sin embargo, y pese a quemarse en su totalidad, su resiliencia es casi inmediata en comparación con la de los bosques, cuyos árboles afectados al punto lograr su muerte.

Las consecuencias del incendio de 2020 fueron más severas que las ocurridas en el 2025. Las grandes diferencias estriban en la cantidad de fauna afectada. En el primer caso, se registró la pérdida de grupos de monos que habían sido

objeto de estudio continuo durante más de 30 años. Si bien para el 2025 las superficies afectadas eran las mismas, no se registraron pérdidas faunísticas de esa magnitud. Esto deja la incertidumbre acerca de si se debió a que los disturbios ocurrieron en momentos del año diferentes, o bien a que la comunidad de primates aún no había logrado recuperarse del primer evento, lo que demuestra su fragilidad.

Las grandes diferencias estriban en la cantidad de fauna afectada. Para el primer caso, se registró la pérdida tropas de monos, que habían sido objeto de estudio continuo durante más de 30 años. Si bien para el 2025 las superficies afectadas eran las mismas, no se registraron las pérdidas de animales. Esto deja la incertidumbre acerca de si se debió a que ocurrieron en momentos del año diferente o bien hasta el momento no logró recuperarse demostrando su fragilidad.

5 Conclusiones

El PPSC ha experimentado en la última década una sucesión de eventos climáticos extremos de magnitud histórica, inundaciones, sequías e incendios, cuya frecuencia y encadenamiento no tienen precedentes en el registro instrumental disponible.

Los incendios afectan de forma total a los pastizales inundables y a los palmares, pero estas comunidades exhiben una marcada adaptación al fuego, con una rápida regeneración herbácea y reactivación foliar. Sin embargo, persisten interrogantes sobre la respuesta de la fauna asociada y el potencial avance de especies exóticas en los procesos de reinicio ecológico posincendio.

El monitoreo continuo y la anticipación de potenciales amenazas en contextos climáticos opuestos, es decir diseñar estrategias de manejo del fuego durante inundaciones y viceversa, son indispensables para anticipar riesgos y fortalecer la gestión adaptativa del área protegida ante la intensificación proyectada del cambio climático.

6 Referencias

Anaya, J., Sione, W. & Rodríguez-Montellano, A. (2018). Burned area detection based on time-series analysis in a cloud computing environment. *Revista de Teledetección*, 51, 61-73. https://doi.org/10.4995/raet.2018.8618

Contreras, F.I., Ferrelli, F., Y Piccolo, Mc. (2020). Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua periurbanos subtropicales: Aporte al ordenamiento del espacio urbano de Corrientes (Argentina). *Finisterra*. 55(114), 3 – 22. https://doi.org/10.18055/Finis19436

Contreras, F. I., Saucedo, G. I. & Smichowski, H. (2022). Análisis de la frecuencia de inundaciones en el Parque Provincial San Cayetano (Corrientes, Argentina). *ScientiAmericana.* 9(1), 35-46. http://dx.doi.org/10.30545/scientiamericana

Delegido, J., Pezzola, A., Casella, A., Winschel, C., Urrego, E.P., Jimenez, J.C., & Moreno, J. (2018). Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando Sentinel-2 y su comparación con Landsat-8. *Revista de Teledetección*, *51*, 47-60.

Pausas, J. G. (2020). *Incendios forestales*. Los libros de la Catarata.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorín-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E. & Sánchez-Lorenzo, A. (2012): "Análisis comparativo de diferentes índices de sequía para aplicaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas", *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, Serie A, nº 8. http://hdl.handle.net/10261/62168

7 Agradecimientos

Este estudio fue financiado parcialmente por la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, en el marco del Proyecto PI 24Q002. Asimismo, el autor expresa su profundo agradecimiento a la Secretaria General de Ciencia y Técnica, Dra. Laura Leiva, y, por su intermedio, al Sr. Rector de la UNNE, Dr. Gerardo O. Larroza, por el crucial apoyo institucional y financiero otorgado para cubrir las plazas de movilidad, haciendo posible la presentación presencial de estos resultados en la ciudad de Barcelona.

Distribución y dinámica reciente del acebo (*Ilex aquifolium*) en los Puertos de Marabio (Asturias)

Flórez Álvarez, Eduardo[1], Rodríguez Pérez, Carmen[1] y Beato Bergua, Salvador[1]

[1]Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, C/ Francisco Rodríguez García, s/n. 33011 Oviedo, España
UO283483@uniovi.es

Resumen. Se analiza la distribución y ecología de *Ilex aquifolium* en los Puertos de Marabio mediante trabajo de campo, inventarios fitosociológicos y revisión bibliográfica. El acebo presenta gran plasticidad ecológica, ocupando sotobosques, acebedas y formaciones seriales en función de la litología, la humedad y la presión ganadera, siendo más abundante en ambientes frescos. El abandono del pastoreo favorece el cierre del paisaje y la expansión de formaciones leñosas, actuando esta especie como colonizadora e indicador de las transformaciones recientes del paisaje montano cantábrico.

Palabras clave: Dinámica del paisaje, sucesión vegetal, pastoreo extensivo, *Ilex aquifolium*, Macizo central asturiano.

Resumo. Analisa-se a distribuição e a ecologia de *Ilex aquifolium* nos Puertos de Marabio através de trabalho de campo, inventários fitossociológicos e revisão bibliográfica. O azevinho apresenta elevada plasticidade ecológica, ocorrendo em sub-bosques, azevinhais e comunidades seriais em função da litologia, da disponibilidade hídrica e da pressão de pastoreio, sendo mais abundante em ambientes frescos. O abandono do pastoreio favorece o encerramento da paisagem e a expansão das formações lenhosas, atuando esta espécie como colonizadora e como indicador das transformações recentes da paisagem montanhosa cantábrica.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem, sucessão vegetal, pastoreio extensivo, *Ilex aquifolium*, Maciço Central das Astúrias.

Abstract. The distribution and ecology of *Ilex aquifolium* in the Puertos de Marabio are analysed through fieldwork, phytosociological surveys, and a literature review. Holly exhibits high ecological plasticity, occurring in forest understories, holly woodlands, and successional communities depending on lithology, moisture availability, and grazing pressure, being more abundant in cool environments. The abandonment of grazing promotes landscape closure and the expansion of woody vegetation, with this species acting both as a coloniser and as an indicator of recent transformations in the Cantabrian mountain landscape.

Keywords: Landscape dynamics, vegetation succession, extensive grazing, *Ilex aquifolium*, Central Asturian Massif.

1 Introducción

El acebo (*Ilex aquifolium*) es una especie ampliamente distribuida en Asturias y característica de numerosas comunidades forestales de la clase QUERCO-FAGETEA, donde participa principalmente en los estratos arbustivo y subarbustivo. Presenta una elevada plasticidad ecológica y desempeña un papel estructural relevante en los bosques eurosiberianos húmedos de la región orocantábrica. En Asturias, se integra en hayedos, robledales, bosques mixtos con fresno, rebollares y abedulares, además de formar comunidades propias, como las acebedas incluidas en la alianza *Ilici-Fagion* (INDUROT, 1994). Su óptimo ecológico se sitúa en el piso montano bajo ombroclimas húmedos e hiperhúmedos, aunque tolera una amplia diversidad de condiciones edáficas, desde suelos oligotrofos hasta eutrofos, siempre con disponibilidad hídrica suficiente.

Desde el punto de vista dinámico, el acebo actúa tanto en comunidades climácicas como en etapas seriales de sustitución, especialmente en ambientes forestales alterados o en proceso de recolonización. Su tolerancia a la sombra, resistencia al ramoneo y baja palatabilidad favorecen su persistencia y expansión en paisajes antropizados, donde puede formar matorrales densos y acebedas. Estas características resultan especialmente visibles en áreas de montaña sometidas históricamente al pastoreo extensivo, donde el acebo participa activamente en la configuración de mosaicos de transición entre pastizales, matorrales y bosques.

En el Principado de Asturias, *Ilex aquifolium* está catalogado como especie de "interés especial", contando con un plan autonómico de manejo orientado a garantizar su conservación y compatibilizarla con los aprovechamientos ganaderos y forestales (Decreto 147/2001). Aunque la especie no figura en el Catálogo Español de Especies Amenazadas ni en la Directiva Hábitats, se beneficia indirectamente de la protección de los hábitats forestales incluidos en la Red Natura 2000. Este marco de gestión es relevante en territorios montanos como los Puertos de Marabio, donde la dinámica del acebo está vinculada a la evolución de los usos tradicionales del territorio y a los procesos de matorralización.

El presente trabajo tiene como objetivos caracterizar las formaciones vegetales asociadas a *Ilex aquifolium* en los Puertos de Marabio, analizar su distribución en relación con los factores ambientales y evaluar su papel en las dinámicas recientes de cierre y transformación del paisaje de montaña.

2 Materiales y métodos

Este trabajo está integrado en una investigación más amplia sobre la dinámica del paisaje en los Puertos de Marabio con el objetivo de caracterizar las formaciones vegetales y analizar su relación con la dinámica paisajística y los usos tradicionales. Para ello, se combinó el análisis bibliográfico, con trabajo de campo, fotointerpretación y tratamiento cartográfico. El enfoque metodológico se planteó desde una perspectiva integrada del paisaje, siguiendo la concepción sistémica propuesta por Georges Bertrand (1972), en la que los componentes bióticos, geomorfológicos y antrópicos son considerados de forma conjunta. La primera fase consistió en la revisión bibliográfica sobre la vegetación y el paisaje del área de estudio, consultando estudios fitogeográficos y ambientales de ámbito regional y local, así como documentación de los espacios naturales protegidos presentes en el territorio. Paralelamente, se analizaron recursos espaciales mediante visores cartográficos institucionales.

El trabajo de campo se desarrolló entre los años 2024 y 2026, complementado con observaciones previas realizadas, lo que permitió incorporar una perspectiva diacrónica en el análisis de las transformaciones recientes del paisaje vegetal. Durante estas campañas se recorrieron los principales sectores de los Puertos de Marabio, prestando especial atención a la distribución de las formaciones vegetales, su composición florística, las dinámicas de colonización leñosa y sus relaciones con el sustrato litológico, los suelos, la geomorfología y los usos ganaderos tradicionales.

Con el fin de caracterizar las principales comunidades vegetales vinculadas a la presencia de *Ilex aquifolium*, se realizaron tres inventarios fitosociológicos en parcelas seleccionadas por su representatividad florística y estructural, representativas de las distintas formaciones identificadas. Los inventarios se efectuaron mediante parcelas de 20 × 20 m, registrando para cada una de ellas variables topográficas y ambientales, como altitud, orientación, pendiente, tipo de suelo, litología y clase agrológica. Asimismo, se describió la estructura vertical de la vegetación mediante la diferenciación de estratos y se estimó la cobertura-abundancia de cada taxón utilizando criterios fitosociológicos de dominancia siguiendo la escala de Braun-Blanquet (1979). A partir de estos inventarios se seleccionaron tres formaciones representativas: un tojal preforestal con acebo disperso y majuelo en Sobrecueto/Praudongo, un hayedo acidófilo con acebo en Cetares y una acebeda calcícola con fresno en Grandizu. El análisis comparado de estas parcelas permitió identificar diferentes estadios sucesionales y evaluar la relación entre la distribución del acebo, la litología y la dinámica de cierre del paisaje.

2.1 El caso de estudio

Los Puertos de Marabio constituyen un espacio intramontañoso situado en torno a los 1.000 m de altitud, al suroeste de Oviedo (Fig. 1), localizado entre los afloramientos carbonatados del Macizo de Caldoveiro y Peña Gradura y la alineación cuarcítica de Santa Cristina. El área conforma una superficie de topografía suave que actúa como divisoria hidrográfica entre las cuencas del Cubia y del Teverga. Su singularidad geomorfológica viene definida por una marcada impronta kárstica, originada por el contacto entre los materiales pizarrosos de la Formación San Emiliano y las calizas de la Formación Valdeteja, circunstancia que ha favorecido la presencia en este límite de varios sumideros de grandes dimensiones.



Fig. 1. Localización del área de estudio.

La vegetación potencial se corresponde principalmente con hayedos y rebollares de afinidad eurosiberiana, adscritos a las series *Blechno spicanti-Fago sylvaticae*, *Linario triornithophorae-Querco pyrenaicae* y, de forma más puntual, *Carici sylvaticae-Fago sylvaticae*. Sin embargo, la acción humana ha transformado profundamente la cubierta vegetal mediante el uso ganadero tradicional, el fuego, la siega y el desbroce, favoreciendo la expansión de tojales, brezales, escobonales y otros matorrales en detrimento de las formaciones arbóreas (Fig. 2). Así, el paisaje vegetal conforma un mosaico estructurado por pastizales, acebedas, matorrales y manchas residuales de hayedo y rebollar. Este territorio alberga además diversos hábitats de interés comunitario, entre los que destacan los brezales secos europeos, los hayedos acidófilos con acebo y los bosques de *Ilex aquifolium*.



Fig. 2. Vista general de Puertos de Marabio desde Caldoveiro

Desde el punto de vista patrimonial, los Puertos de Marabio conservan numerosos elementos vinculados al aprovechamiento tradicional de los pastos de montaña, como muros de

piedra seca y cabañas. Aunque parte de estos elementos se encuentran actualmente en proceso de deterioro o cambio de uso debido a las transformaciones socioeconómicas recientes, el área mantiene un notable valor paisajístico y cultural. Esta relevancia se refleja en su inclusión dentro de diferentes figuras de protección, entre ellas el Parque Natural y la Reserva de la Biosfera de Las Ubiñas-La Mesa, así como en su reconocimiento como paisaje de interés cultural de Asturias (Fernández Salinas, 2013).

3 Resultados

Los inventarios fitosociológicos y el análisis paisajístico realizado en los Puertos de Marabio evidencian una elevada heterogeneidad vegetal y estructural, asociada tanto a las diferencias litológicas y topográficas como a la intensidad y persistencia de los usos ganaderos tradicionales. La distribución de *Ilex aquifolium* muestra una clara preferencia por ambientes húmedos y relativamente frescos, especialmente en espacios de transición entre pastizales, matorrales y formaciones arbóreas (Fig. 3). Durante el trabajo de campo, el acebo se identificó principalmente formando parte de acebedas con abedul y fresno, así como asociado a *Crataegus monogyna* y, de manera más puntual, a hayedos y avellanedas situadas en las vertientes occidentales de Gradura. Por el contrario, su presencia resulta escasa en los rebollares desarrollados sobre los sustratos silíceos de Santa Cristina, próximos a Villamayor.



Fig. 3. Tojal-brezal y pastos arbustivos con acebo junto a un rodal de *Quercus pyrenaica*. Acebedas incipientes colonizando pastos herbáceos. Al fondo, la sierra cuarcítica de Santa Cristina.

El inventario de Sobrecueto/Praudongo refleja una comunidad de carácter serial dominada por *Ulex europaeus*, acompañada por *Daboecia cantabrica* y *Pteridium aquilinum*, con presencia dispersa de *Ilex aquifolium*, *Crataegus monogyna*, *Fraxinus excelsior* y *Betula celtiberica*. La estructura de la vegetación y la abundancia del tojal indican un estadio preforestal abierto vinculado a dinámicas de recolonización leñosa sobre antiguos espacios pastorales. La coexistencia de especies pratenses, arbustivas y arbóreas sugiere una transición entre comunidades de pasto manejado y etapas iniciales de regeneración forestal. Asimismo, la presencia de gramíneas como *Agrostis capillaris* y *Festuca rubra* pone de manifiesto la persistencia parcial de superficies aprovechadas por el ganado.

El inventario de Cetares se caracteriza por el predominio de *Fagus sylvatica* y por la presencia de *Ilex aquifolium* en el sotobosque, acompañado de *Corylus avellana*, *Ruscus aculeatus* y diversas especies nemorales. La elevada cobertura arbórea y la escasa representación del estrato herbáceo reflejan una estructura propia de hayedos montanos relativamente maduros desarrollados sobre sustratos silíceos. En esta formación, el acebo aparece integrado como elemento secundario del sotobosque y de las fases de regeneración intermedia, más que como especie dominante.

Por su parte, el inventario de Grandizu muestra una comunidad claramente diferenciada por su desarrollo sobre sustrato calizo y por la dominancia de *Ilex aquifolium* en prácticamente todos los estratos. La presencia subordinada de *Fraxinus excelsior*, *Corylus avellana* y *Crataegus monogyna* configura una acebeda estructurada, vinculada a ambientes eutrofos y en contacto con antiguos espacios de pastoreo y matorrales calcícolas (Fig. 4). La aparición de *Genista occidentalis* y *Ulex europaeus* en los estratos inferiores indica la existencia de contactos seriales con aulagares y comunidades arbustivas abiertas.

En conjunto, los inventarios evidencian una dinámica general de expansión leñosa y progresivo cierre del paisaje vegetal, relacionada con la reducción del manejo ganadero tradicional. Las diferencias observadas entre parcelas sugieren además una estrecha relación entre litología y estructura de la vegetación: los sustratos silíceos favorecen el desarrollo de hayedos acidófilos y tojales, mientras que los enclaves calizos presentan una mayor presencia de acebedas y bosques mixtos mesófilos. La composición actual del paisaje vegetal responde, por tanto, a la interacción entre factores ecológicos y procesos históricos de uso del territorio.



Fig. 4. Fotografía invernal de acebeda-avellaneda colonizando una vertiente carbonatada sobre Puertos de Marabio.

4 Discusión

La distribución de *Ilex aquifolium* en los Puertos de Marabio se ajusta a los patrones ecológicos y fitogeográficos descritos para la montaña cantábrica asturiana. El acebo prospera principalmente en ambientes montanos húmedos e hiperhúmedos, integrado tanto en el sotobosque de hayedos y bosques mixtos como en comunidades seriales y orlas arbustivas asociadas a espacios abiertos de uso ganadero. En Marabio, se concentra especialmente en acebedas mixtascon fresno y abedul, así como en áreas de transición entre pastos, tojales y formaciones forestales. Por el contrario, su

presencia es escasa en los rebollares silíceos de Santa Cristina, un entorno más seco y luminoso. Este patrón confirma su carácter ecotonal en el ámbito orocantábrico, donde actúa como especie tolerante a la sombra y al ramoneo, capaz de persistir tanto en fases maduras del bosque como en etapas intermedias de recolonización leñosa.

Los inventarios realizados muestran además distintas estrategias ecológicas de acuerdo con las condiciones edáficas y a la dinámica del paisaje. En sectores silíceos y oligotrofos, el acebo se asocia a tojales y abedulares acidófilos vinculados al abandono progresivo de antiguos pastos montanos, mientras que en enclaves calizos y eutrofos, como Grandizu, forma acebedas densas acompañadas de fresno, avellano y majuelo, relacionadas con bosques mixtos húmedos de afinidad mesófila. Su expansión está estrechamente ligada a la reducción del manejo ganadero tradicional y al cierre progresivo del paisaje vegetal. Históricamente, Marabio ha funcionado como espacio de pastoreo extensivo estacional, donde el ganado consume preferentemente especies palatables y evita el acebo debido a sus hojas coriáceas y espinosas, favoreciendo así su supervivencia y expansión relativa. A ello se suman prácticas tradicionales de manejo —desbroces, quemas y aprovechamiento de leña— que han mantenido un paisaje en mosaico y han favorecido el papel colonizador del acebo en etapas intermedias de sucesión. Su protección legal actual en Asturias ha reforzado además su valor ecológico y paisajístico dentro del dominio eurosiberiano representado por la clase QUERCO-FAGETEA.

El estudio de Carlo et al. (2013) realizado en los Puertos de Marabio emplea a *Ilex aquifolium* como especie modelo para analizar la dispersión de semillas por aves frugívoras en paisajes heterogéneos. Según estos autores, y en línea con las redes ecológicas descritas por García et al., la dispersión puede alcanzar varios cientos de metros, aunque se dirige preferentemente hacia hábitats con cobertura arbórea debido al comportamiento de las aves dispersoras, principalmente túrdidos (Carlo et al., 2013; García et al., 2018). Como consecuencia, la mayor parte de las semillas se deposita bajo árboles o en formaciones leñosas, limitando la expansión del acebo hacia pastizales abiertos y reforzando la continuidad espacial de sus poblaciones. En este contexto, parece que los usos tradicionales del territorio, especialmente el pastoreo extensivo, han sido más determinantes que las dinámicas naturales en la configuración del paisaje vegetal de Marabio y en la conservación de formaciones de tejos y acebos de alto valor ecológico y cultural, tal como señalan Beato y Rodríguez (2025).

5 Conclusiones

Los resultados evidencian que los Puertos de Marabio constituyen un sistema paisajístico complejo en el que la distribución de *Ilex aquifolium* responde a la interacción entre gradientes ecológicos (litología, humedad edáfica y altitud) y la historia de usos agroganaderos del territorio. El acebo se comporta como una especie de alta plasticidad ecológica y carácter ecotonal, presente tanto en sotobosques de hayedos y bosques mixtos como en comunidades seriales y acebedas vinculadas a espacios de transición entre pastos y matorral. Los inventarios reflejan además una tendencia general al cierre progresivo del paisaje vegetal, asociada a la reducción del pastoreo extensivo, lo que favorece la expansión de formaciones leñosas sobre antiguos pastizales, especialmente en condiciones de baja presión de ramoneo. Las diferencias entre sustratos silíceos y calizos refuerzan el papel determinante de la base geológica en la configuración de las comunidades vegetales, generando un mosaico heterogéneo de acebedas, hayedos, matorrales y formaciones seriales. En este contexto, el acebo adquiere un valor funcional como especie colonizadora de etapas intermedias de sucesión y como indicador del cambio paisajístico, reflejando la transición entre un sistema agroganadero tradicional y dinámicas actuales de recolonización forestal.

6 Referencias

Beato Bergua, S. y Rodríguez Berdasco, J.M. (2025). Sobre lo singular y lo general en el patrimonio forestal: el macizo de Caldoveiro (Asturias, NW de España). En Angelo Furlan, S. Díaz Sanz, C., Lozano Valencia, P.J. (Coords.): *Anais do Congresso Iberoamericano de Biogeografia*. Recife (Brasil): Even3.

Bertrand, G. (1972). Les estructures naturelles de l´espace géographique. L´exemple des Montagnes Cantabriques centrales. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, T. XLIII, Fasc. 2, 175-206.

Braun-Blanquet, J. (1979). *Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. H. Blume.

Carlo, T.A., García, D., Martínez, D., Gleditsch, J.M., y Morales, J.M. (2013). Where do seeds go when they go far? Distance and directionality of avian seed dispersal in heterogeneous landscapes. *Ecology*, 94, 301-307. https://doi.org/10.1890/12-0913.1

Costa, M., Morla, C. y Sainz, H. (Eds.) (1997). *Los bosques ibéricos: una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta. Barcelona.

Decreto 147/2001. *Plan de Manejo del Acebo (Ilex aquifolium)*. Principado de Asturias. Boletín Oficial del Principado de Asturias Nº 14 - viernes, 18 de enero de 2002.

Fernández Salinas. V. (2013): Los paisajes de interés cultural de Asturias, *Ería, Revista Cuatrimestral de Geografía,* 91, 129-149.

García, D., Donoso, I., & Rodríguez-Pérez, J. (2018). Frugivore biodiversity and complementarity in interaction networks enhance landscape-scale seed dispersal function. *Functional Ecology*, *32*(12), 2742-2752.

INDUROT (1994). *Cartografía temática ambiental. Mapa de vegetación. Escala 1:25.000. Memoria*. Oviedo: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Gobierno del Principado de Asturias.

Lessons from a Salamander: Assessing the limitations of distribution models

Verde, Guzmán[1], Tarjuelo, Rocío[1], González-Cascón, Victoria[1] and Aragón, Pedro[1]

[1] Department of Biogeography and Global Change, National Museum of Natural Sciences (CSIC), Calle José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid, Spain
tatamigvg2000@gmail.com

Abstract. Species distribution models (SDMs) are fundamental tools in both theoretical and applied biogeography. However, their correlative nature and reliance on assumptions—such as equilibrium between species distributions and current climate—pose significant limitations, challenging the establishment of robust causal relationships and the reliable characterization of potential distributions. This study empirically tests the sensitivity and predictive capacity of SDMs by leveraging a well-documented natural experiment: the translocation of the gold-striped salamander (*Chioglossa lusitanica*) to Sintra (Portugal) in 1943. We assessed how the inclusion of presence records from this anthropogenic range expansion influences model performance, the importance of predictor variables, and projections of climatic suitability. Using three distinct modeling algorithms and 13 climate variables, we generated ensembles of models under two general circulation models (GCMs), two shared socio-economic pathways (SSPs), and two future time periods (2041-2060; 2081-2100). We compared scenarios built exclusively on native range data against those incorporating the introduced population. Our results demonstrate that the introduced population occupies a climatic space that significantly expands beyond the realized native niche. Consequently, models incorporating the translocation record produced markedly different spatial predictions in the introduction area, generally projecting broader areas of future climatic suitability. These findings highlight that introduced populations can serve as highly valuable evaluation tools to broaden the characterization of a species' realized niche and detect climatic novelties. Furthermore, they underscore the critical need for cautious interpretation of SDM outputs, demonstrating that omitting non-native occurrences can lead to severe underestimations of potential distributions.

Keywords: Climate change, iberian peninsula, biogeographic models, translocation, *Chioglossa lusitanica*

Resumen. Los modelos de distribución de especies (SDM) son herramientas fundamentales en la biogeografía teórica y aplicada. Sin embargo, su naturaleza correlativa y su dependencia de supuestos —como el equilibrio entre la distribución de las especies y el clima actual— plantean limitaciones significativas, desafiando el establecimiento de relaciones causales robustas y la caracterización fiable de las distribuciones potenciales. Este estudio evalúa empíricamente la capacidad predictiva de los SDMs aprovechando un experimento natural bien documentado: la translocación de la salamandra rabilarga (*Chioglossa lusitanica*) a Sintra (Portugal) en 1943. Evaluamos cómo la incorporación del registro de presencia de esta expansión de rango antropogénica influye en el rendimiento del modelo, la importancia de las variables predictoras y las proyecciones de idoneidad climática. Utilizando tres algoritmos de modelización distintos y 13 variables climáticas, generamos conjuntos de predicciones actuales y futuras. Las proyecciones futuras se realizaron bajo dos modelos de circulación general (GCM), dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y dos periodos de tiempo futuros (2041-2060; 2081-2100). Comparamos los escenarios basados exclusivamente en datos del área nativa frente a los que incorporan la población introducida. Nuestros resultados demuestran que la población introducida ocupa un espacio climático que se expande más allá del nicho nativo observado. En consecuencia, los modelos que incorporan el registro de translocación produjeron predicciones espaciales diferentes en el área de introducción, proyectando generalmente áreas más amplias de idoneidad climática futura. Estos hallazgos resaltan que las poblaciones introducidas pueden servir como herramientas de evaluación de gran valor para ampliar la caracterización del nicho realizado de una especie y detectar novedades climáticas. Asimismo, subrayan la necesidad crítica de interpretar con cautela los resultados de los SDM, lo que demuestra que la omisión de registros no nativos puede dar lugar a graves subestimaciones de las distribuciones potenciales.

Palabras clave: Cambio climático, península ibérica, modelos biogeográficos, translocación, *Chioglossa lusitanica*

Resumo. Os modelos de distribuição de espécies (SDMs) são ferramentas fundamentais na biogeografia teórica e aplicada, desempenhando papéis críticos no planeamento da conservação, na gestão de espécies invasoras e na previsão dos impactos das alterações climáticas. No entanto, a sua natureza correlativa e a confiança em pressupostos — como o equilíbrio entre a distribuição das espécies e o clima atual — colocam limitações significativas, desafiando o estabelecimento de relações causais robustas e a caracterização fiável das distribuições potenciais. Este estudo testa

empiricamente a sensibilidade e a capacidade preditiva dos SDMs, aproveitando uma experiência natural bem documentada: a translocação da salamandra-lusitânica (*Chioglossa lusitanica*) para Sintra (Portugal) em 1943. Avaliámos como a incorporação do registo de presença desta expansão de área antropogénica influencia o desempenho do modelo, a importância das variáveis preditoras e as projeções de adequação climática. Utilizando três algoritmos de modelação distintos e 13 variáveis climáticas, gerámos previsões atuais e futuras. As projeções futuras foram realizadas sob dois modelos de circulação geral (GCMs), duas trajetórias socioeconómicas partilhadas (SSPs) e dois períodos de tempo futuros (2041-2060; 2081-2100). Comparámos cenários construídos exclusivamente com dados da área nativa com aqueles que incorporam a população introduzida. Os nossos resultados demonstram que a população introduzida ocupa um espaço climático que se expande significativamente para além do nicho nativo realizado. Consequentemente, os modelos que incorporam o registo de translocação produziram previsões espaciais marcadamente diferentes na área de introdução, projetando geralmente áreas mais amplas de adequação climática futura. Estes resultados evidenciam que as populações introduzidas podem servir como ferramentas de avaliação altamente valiosas para ampliar a caraterização do nicho realizado de uma espécie e detetar a novidades climáticas. Além disso, sublinham a necessidade crítica de uma interpretação cautelosa dos resultados dos SDM, demonstrando que a omissão de ocorrências não nativas pode levar a subestimações severas das distribuições potenciais.

Palavras-chave: Mudança climática, península ibérica, modelos biogeográficos, translocação, *Chioglossa lusitani*

1 Introduction

Species distribution models (SDMs) use species occurrence records and environmental variables to predict climatic suitability (Thuiller, 2003). They are fundamental tools in biogeography and conservation biology, proving especially valuable in contexts such as biological invasions, the identification of suitable habitats, reserve design, translocation planning, and the assessment of potential climate change impacts (Guisan & Zimmermann, 2000).

However, SDMs present a series of limitations derived from assumptions that are rarely met in dynamic natural systems, such as the assumption of equilibrium between a species' current distribution and the climate. This challenge stems from the correlative nature of SDMs, which challenge the establishment of robust causal relationships and limits their capacity to accurately characterize a species' potential distribution (Araújo & Peterson, 2012). This limitation is particularly relevant for invasive species, whose potential distribution often exceeds expectations prior to the invasion. The most robust approach to highlight the inadequacy of estimating potential distributions solely from realized ones is through translocations (Jiménez-Valverde et al., 2008). Nevertheless, there is rarely a detailed, well-documented historical record of when and how an introduction or migration occurred. Additional limitations include the high variability among different modeling algorithms and the inherent uncertainty associated with future climate change scenarios.

The gold-striped salamander (*Chioglossa lusitanica*) is an Iberian endemic with a distribution restricted to the northwestern corner of the Iberian Peninsula, where it shows a strong preference for unpolluted and highly acidic streams, primarily in mountainous landscapes (Vences, 1990). In a faunistic study of the Algarve, Seabra (1943) reported introducing several individuals to the Sintra region (Portugal), as this area exhibited the characteristic features of the species' natural habitat. This historical introduction accounts for the current presence of *C. lusitanica* in the region (Aguilar et al., 2018). Instead of refining the species' well-documented native range, this study treats a translocated population as a 'natural experiment.' We evaluate how including data from this artificial expansion affects niche characterization and future climate change projections.

2 Methods

Occurrence data for the gold-striped salamander (*C. lusitanica*), were obtained from official national digital atlases of Spain and Portugal at a 10 x 10 km resolution. To test the robustness of models to the deviation from the climate equilibrium assumption, we explicitly considered the Sintra population (Portugal), which originates from a well-documented introduction in 1943. We structured our dataset into two distinct scenarios to allow systematic comparisons: one calibrated exclusively with native range occurrences and another incorporating the introduced population.

Current baseline climate conditions were characterized using the WorldClim2 database. To prevent model overparameterization, we applied a two-step pre-selection process. First, we removed highly correlated seasonal variables (Pearson's $r > 0.98$) in favor of their corresponding monthly extremes. Next, we eliminated redundant predictors based on the Variance Inflation Factor (VIF), retaining a final set of 13 ecologically climatic variables: Annual Mean Temperature, Mean Diurnal Range, Isothermality, Temperature Seasonality, Min Temperature of Coldest Month, Mean Temperature of Wettest Quarter, Mean Temperature of Driest Quarter, Annual Precipitation, Precipitation of Wettest Month, Precipitation of Driest Month, Precipitation Seasonality, Precipitation of Warmest Quarter and Precipitation of Coldest Quarter. To visualize potential climatic novelty, we extracted the values of the predictor with the highest relative contribution and compared the climatic space occupied by the introduced population against the gradient of the native distribution.

Species distribution models (SDMs) were implemented using the *biomod2* package in R (Thuiller et al., 2009). To account for algorithmic uncertainty, we employed three distinct modeling techniques: Generalized Additive Models (GAM), Generalized Boosting Models (GBM), and Random Forest (RF). Models were calibrated using a random 80% split of the presence and true absence data and evaluated on the remaining 20% using the Area Under the Curve (AUC) and the True Skill Statistic (TSS). We performed 10 replicate runs per algorithm for both data scenarios. Final

ensemble models were generated by calculating the median predictions of the individual runs. Models were then projected onto current conditions and simulated future scenarios. For future projections, we selected two General Circulation Models (GFDL-ESM4 and UKESM1-0-LL) and two Shared Socio-economic Pathways (SSP1-2.6 and SSP3-7.0) across two periods (2041-2060 and 2081-2100). Finally, continuous suitability probabilities were converted into binary presence/absence maps applying the threshold that maximized the TSS.

3 Results

3.1 Model performance, variable relevance and current climatic favorability

All fitted species distribution models (SDMs) exhibited excellent predictive performance in terms of AUC (≥ 0.95) regardless of the inclusion or exclusion of the introduced population. TSS values varied depending on the algorithm, showing moderate values in RF (TSS ≥ 0.534). Annual Precipitation (Bio12) emerged as the most influential variable determining the species' distribution, showing the highest relative contribution across all modelling scenarios. The frequency histogram of this variable revealed that the introduced Sintra population occupies a distinct climatic space, representing a clear climatic novelty for Annual Precipitation (737 mm) when compared to the gradient of the native range (Fig.1).

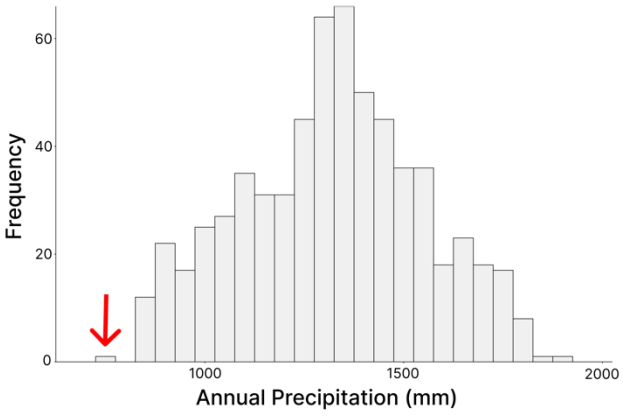


Fig. 1. Histogram of the annual precipitation (BIO12 from the Worldclim2 repository) in the grid-cells with presence records of the golden-striped salamander (*Chioglossa lusitanica*) at the resolution of 10-km^2. Red arrow shows the value at the locality of Sintra (Portugal), where the species was intentionally introduced in 1943.

Current suitability maps revealed that the broad-scale spatial patterns were primarily driven by the choice of modeling algorithm, with minimal visual variation at the regional level regardless of whether the Sintra record was included or excluded. Across both data scenarios, the GAM model projected high-suitability areas more extensively and continuously, exceeding the limits of the observed distribution. In contrast, tree-based models were more conservative; the GBM model circumscribed optimal areas more closely to the known native outline, while RF proved to be the most restrictive (Fig.2).

However, significant local differences emerged specifically within the introduction area. When models were calibrated excluding the translocated record, the Sintra grid cell was consistently predicted as climatically less suitable. In contrast, the inclusion of the Sintra population enabled all algorithms to successfully identify this grid cell as climatically more favorable, effectively capturing the climatic novelty occupied by this population and altering the local suitability surface.

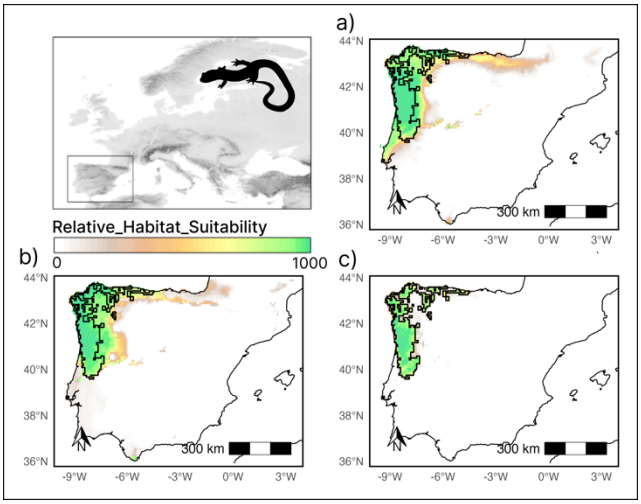


Fig. 2. Predicted current climatic suitability for the golden-striped salamander (*Chioglossa lusitanica*) in the Iberian Peninsula derived from models built with the algorithms: a) GAM, b) GBM and c) RF. Models were built with all presence records (including those of the introduced populations in Sintra, Portugal). The black line contour delimits the current observed distribution of the species. The color gradient indicates the predicted climatic suitability at a 10x10 km resolution.

3.2 SDM projections under future scenarios

Future projections consistently indicated a widespread loss of climatic suitability for *C. lusitanica*. This trend was drastically accentuated under the most pessimistic socioeconomic scenario (SSP3-7.0) and the most distant time period (2081-2100). This general pattern of suitability contraction remained robust across all algorithms and general circulation models (GCMs) evaluated.

The magnitude and spatial extent of this projected suitability loss varied considerably depending on the specific model combination. However, two recurrent spatial patterns emerged: (i) a pronounced decrease in suitability in the southern portion of the species´ range, most conspicuously predicted by the GAM algorithm, and (ii) a reduction along the eastern limit of the distribution, more frequently observed with the RF algorithm. The most extreme scenario of suitability loss was associated with the combination of the most distant period (2081-2100), the climate model with the highest climate sensitivity (UKESM1-0-LL), the SSP3-7.0 scenario and the GAM algorithm. Ultimately, incorporating the introduced population into the calibration data buffered

some of these severe contractions locally, highlighting how truncated native niches can lead to underestimated future suitability under adverse climatic conditions.

4 Discussion

Our results confirm that annual precipitation (Bio12) is the determining factor for the presence of *C. lusitanica*. However, we observed a lower relevance of the temperatures during the warmest month compared to previous works, suggesting that, in this system, hydric stress is more important than thermal stress (Teixeira et al., 2001). The approach adopted in this study allows testing whether conventional models capture the real plasticity of the species or if they remain limited by a realized niche truncated by non-climatic factors. The persistence of this population under lower precipitation conditions than those of its native range demonstrates that the species' realized niche is shaped by geographical barriers and low dispersal capacity, rather than by physiological limits.

From an applied perspective, the observed algorithmic divergence has critical implications. While tree-based models (RF and GBM) showed a conservative behavior linked to the equilibrium of the native area (much more pronounced in RF), the GAM model exhibited greater plasticity, better integrating the climatic novelty of Sintra. This suggests that for species in the process of expansion or for invasive species, algorithms with greater extrapolation capacity like GAM could better represent the potential niche. Nevertheless, we acknowledge inherent limitations: the introduction in Sintra is represented by a single grid cell, which limits statistical power and the analysis of fine gradients. Nonetheless, the exclusive use of climatic variables at this scale responds to a methodological design aimed at highlighting the vulnerabilities of standard projections for the future. To reduce SDM uncertainty, we propose complementing these models with analysis of empirical time series of key climatic variables, as done at a broader scale for European amphibians (Tarjuelo et al., 2025).

5 Conclusions

The introduction of *C. lusitanica* expands its realized range and brings new climatic conditions, as we have seen with the mean annual precipitation, for which the species was not in equilibrium with its current distribution.

While the Random Forest (RF) algorithm yielded the most conservative predictions strictly tied to the core realized distribution, its lower TSS scores suggest a more limited predictive capacity. Consequently, the higher predictive performance of GAM and GBM supports that these algorithms are better reflecting the true potential distribution of *C. lusitanica* regarding the environmental variables used. As expected, the strongest decline in climatic favorability occurs under the SSP3-7.0 scenario for 2081-2100.

6 References

Aguilar, F. F., Madeira, F. M., Crespo, E., & Rebelo, R. (2018). Rediscovery of the golden-striped salamander *Chioglossa lusitanica* of Sintra, Portugal. *Herpetological Journal*, 28(4).

Araújo, M. B., & Peterson, A. T. (2012). Uses and misuses of bioclimatic envelope modeling. *Ecology,* 93(7), 1527-1539. https://doi.org/10.1890/11-1930.1

Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling,* 135(2-3), 147-186. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9

Jiménez-Valverde, A., Lobo, J. M., & Hortal, J. (2008). Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and distributions*, 14(6), 885-890. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00496.x

Seabra, A.F. (1943). Apontamentos sobre a fauna do Algarve (Vertebrados). *Mem. Estud. Mus. Zool. Univ. Coimbra*, 147:1-18.

Tarjuelo, R., Ascensão, F., & Aragón, P. (2025). Assessing vulnerability of relevant sites for amphibian conservation through spatiotemporal analyses of global change factors in Europe. *Earth's Future*, 13(9).

https://doi.org/10.1029/2025EF006211

Teixeira, J., Ferrand, N., & Arntzen, J. W. (2001). Biogeography of the golden-striped salamander Chioglossa lusitanica: a field survey and spatial modelling aproach. *Ecography*, 24(5), 618-624. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2001.tb00495.x

Thuiller, W. (2003). BIOMOD–optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global change biology*, 9(10), 1353-1362. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00666.x

Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD–a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32(3), 369-373. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x

Vences, M. (1990). Untersuchungen zur ökologie, ethologie und geographischen variation von *Chioglossa lusitanica* Bocage, 1864. *Salamandra*, 26(4), 267-297.

7 Acknowledgements

This study is a contribution to the project SPOTIM-PACT (PID2022-139942OB-I00) funded by the MCIN/ AEI/10.13039/501100011033 and “FEDER Una manera de hacer Europa”). G. V. was supported by the JAE-Intro 2024 (JAEINT24_EX_0202).

Avances pedoantracológicos en los bosques serpentinófilos del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (Serranía de Ronda)

Fernández Castaño, Francisca[1], Pardo Martínez, Rubén[1], López Avilés, Alejandro[1] y Gómez Zotano, José[1]

[1] Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Granada, Facultad de Filosofía y Letras, Campus Cartuja, Calle Prof. Clavera, s/n, 18011, Granada, España
franciscafc@ugr.es

Resumen. El Parque Nacional de la Sierra de las Nieves destaca por su litología carbonatada, pero también incluye parte de las peridotitas de Sierra Bermeja, que ocupan el 40% de su superficie. Estos sustratos ultramáficos, junto a un clima mediterráneo húmedo con criptoprecipitaciones, sostienen ecosistemas serpentínicos exclusivos como los pinares de *Pinus pinaster* y los abetales endémicos de *Abies pinsapo*. Históricamente sometidos a una intensa presión antrópica (minería, ganadería y silvicultura), estos bosques presentan hoy una elevada vulnerabilidad ante el escenario de cambio global. No obstante, la escasez de registros paleoecológicos localizados en la zona, impide reconstruir con precisión la historia y dinámica de estas formaciones durante el Holoceno, lo que dificulta la comprensión de su resiliencia a largo plazo. Para abordar esta falta de información, esta investigación aplica, por primera vez en la localidad de Plaza de Armas (Sierra Real), el análisis pedoantracológico para reconstruir la trayectoria evolutiva de estos bosques. Los resultados confirman la presencia holocena de *Abies pinsapo*, *Juniperus* sp. y *Pinus pinaster/halepensis*. No obstante, el hallazgo más relevante es la identificación de *Pinus nigra/sylvestris*, taxón actualmente ausente en la zona, lo que supone la primera evidencia paleoecológica de esta especie sobre suelos serpentiníticos. Estos datos son fundamentales para orientar la gestión conservacionista y adaptativa de los bosques más representativos del Parque Nacional frente a la crisis climática actual.

Palabras clave: Dinámica de la vegetación, pedoantracología, paleobiogeografía, Sierra Bermeja, Parque Nacional.

Resumo. O Parque Nacional da Sierra de las Nieves caracteriza-se pela sua litologia predominantemente carbonatada, embora também inclua parte dos afloramentos de peridotitos da Sierra Bermeja, que ocupam cerca de 40% da sua superfície. Estes substratos ultramáficos, juntamente com um clima mediterrânico húmido influenciado pela precipitação oculta, sustentam ecossistemas serpentínicos únicos, incluindo bosques de *Pinus pinaster* e povoamentos endémicos de *Abies pinsapo*. Historicamente sujeitos a uma intensa pressão antrópica, associada à mineração, à pastorícia e às atividades florestais, estes bosques apresentam atualmente uma elevada vulnerabilidade no contexto das alterações globais. No entanto, a escassez de registos paleoecológicos diretos na área dificulta a reconstrução precisa da história e da dinâmica destas formações florestais ao longo do Holocénico, limitando a compreensão da sua resiliência a longo prazo. Para colmatar esta lacuna de conhecimento, este estudo aplica, pela primeira vez na localidade de Plaza de Armas (Sierra Real), a análise pedoantracológica com o objetivo de reconstruir a composição e a dinâmica destes bosques ao longo do tempo. Os resultados confirmam a presença holocénica de *Abies pinsapo*, *Juniperus* sp. e *Pinus pinaster/halepensis*. Contudo, o resultado mais relevante é a identificação de *Pinus nigra/sylvestris*, um táxon atualmente ausente na área de estudo, constituindo a primeira evidência paleoecológica deste táxon sobre substratos peridotíticos. Estes resultados fornecem informações valiosas para orientar a gestão conservacionista e adaptativa dos ecossistemas florestais mais representativos do Parque Nacional da Sierra de las Nieves face à atual crise climática.

Palavras-chave: Dinâmica da vegetação, pedoantracología, paleobiogeografía, Serra Bermeja, Parque Nacional.

Abstract. Sierra de las Nieves National Park is characterized by its predominantly carbonate lithology, although it also encompasses part of the peridotite outcrops of Sierra Bermeja, which cover approximately 40% of its surface area. These ultramafic substrates, together with a humid Mediterranean climate influenced by occult precipitation, support unique serpentine ecosystems, including forests of Pinus pinaster and endemic stands of Abies pinsapo. Historically subjected to intense human pressure through mining, grazing, and forestry activities, these forests are currently highly vulnerable in the context of global environmental change. However, the scarcity of direct paleoecological records in the area hampers the accurate reconstruction of the history and dynamics of these forest formations throughout the Holocene, limiting our understanding of their long-term resilience. To address this knowledge gap, this study applies pedoanthracological analysis for the first time in the locality of Plaza de Armas (Sierra Real) in order to reconstruct the evolutionary history of these forests. The results confirm the Holocene presence of Abies pinsapo, Juniperus sp., and Pinus pinaster/halepensis. Nevertheless, the most significant finding is the identification of Pinus nigra/sylvestris, a taxon currently absent from the study area, representing the first paleoecological evidence of this taxon occurring on peridotitic substrates. These findings provide valuable information for guiding the conservation and adaptive management of the most representative forest ecosystems of Sierra de las Nieves National Park in the face of the ongoing climate crisis.

Keywords: Vegetation dynamics, pedoanthracology, palaeobiogeography, Sierra Bermeja, National Park.

1 Introducción

La alta sensibilidad de los ecosistemas de montaña ante las perturbaciones climáticas y antrópicas ha despertado un creciente interés por comprender sus dinámicas forestales a largo plazo. En este sentido, la perspectiva paleoecológica es esencial para descifrar la interacción milenaria entre las variaciones del clima, la evolución de la vegetación y la impronta de las actividades humanas (Gil et al., 2009).

En el sur de la península ibérica, el Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (en adelante PNSN) constituye un enclave estratégico y un refugio interglacial de biodiversidad. Alberga formaciones relictas de elevado valor ecológico y alta vulnerabilidad, como los abetales de *Abies pinsapo* y los quejigales de *Quercus faginea* subsp. *alpestris* (Pérez-Latorre et al., 2021). Ambos taxones, situados en el límite superior del bosque, actúan como fronteras ambientales críticas ante el cambio global (Batllori et al., 2009). La imposibilidad de migración altitudinal de estas especies hacia zonas de cumbre amenaza su nicho ecológico y supone un riesgo inminente de pérdida de fitodiversidad (Cheddadi, 2017; Olmedo-Cobo et al., 2021).

Los bosques de coníferas serpentinófilas incluidos en el PNSN (pinsapares y pinares resineros), pese a su relevancia, presentan un conocimiento biogeográfico que sigue siendo deficitario, especialmente en relación con su paleobiogeografía (Pardo-Martínez, 2023), exceptuando el estudio realizado en la vecina Sierra Palmitera (Gómez-Zotano et al., 2017, 2022). En consecuencia, las políticas de conservación se han apoyado tradicionalmente en estudios de hábitat y modelizaciones que omiten las dinámicas ecológicas de largo espectro (Gómez-Zotano & Olmedo-Cobo, 2021). Para subsanar esta laguna de conocimiento, el presente trabajo aplica el análisis pedoantracológico por primera vez en Sierra Real.

Este estudio tiene como objetivo ampliar la red de muestreos pedoantracológicos en el PNSN, aportando información sobre la composición de sus bosques. Estos datos complementan las investigaciones previas desarrolladas en la Serranía de Ronda, centradas en la evolución de la vegetación desde el Pleistoceno superior. Para ello, la investigación se articula en tres ejes:

1. Reconstruir la historia vegetal de Sierra Real para identificar posibles transformaciones en la estructura forestal desde el Pleistoceno superior.
2. Ampliar el registro paleoecológico local mediante la metodología pedoantracológica.
3. Evaluar la función del PNSN como refugio postglacial para la flora, con especial énfasis en la persistencia de las coníferas de montaña.

2 Materiales y métodos

El área experimental de este estudio paleoecológico se enmarca en el PNSN, localizado en el corazón de la Serranía de Ronda (extremo suroccidental de la Cordillera Bética). Este espacio protegido comprende la mitad oriental del macizo ultramáfico de Sierra Bermeja, compuesto por peridotitas, que a su vez se divide en tres sierras menores (Palmitera, Apretaderas y Real). Concretamente, la localidad muestreada se sitúa en Sierra Real, en el paraje conocido como Plaza de Armas 1, emplazada a una altitud de 1282 m s.n.m. (Fig. 1).

Desde el punto de vista biogeográfico, el ámbito de estudio se inserta en la provincia Bética, sector Bermejense (Pérez-Latorre et al., 2021). La singularidad florística de este territorio se complementa, además, con la existencia de un importante número de taxones endémicos y/o amenazados, entre los que destaca *Abies pinsapo* (Pérez-Latorre et al., 2021). El procedimiento pedoantracológico ha seguido el protocolo establecido por Cunill (2010), llevándose a cabo las siguientes tareas:

- En campo, se ha realizado una cata pedoantracológica para la recogida de muestras de suelo (entre 3 y 10 kg por nivel de muestreo).
- En laboratorio, se han tamizado en húmedo las muestras de suelo mediante el empleo de tamices de 5, 2 y 0.8 mm.
- Triado del carbón respecto de la fracción mineral.
- Cálculo de antracomasa (por niveles de muestreo y total).
- Identificación taxonómica.
- Datación radiocarbónica de los carbones seleccionados.
- Análisis e interpretación de los datos obtenidos.

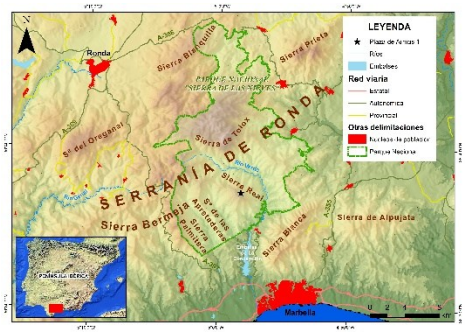


Fig. 1. Mapa de localización de la localidad de estudio (Plaza de Armas, Sierra Real, PNSN).

Las variables geoecológicas de la localidad de estudio se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Georreferenciación y condiciones geoecológicas de la localidad donde se ha efectuado la cata pedoantracológica.

Localidad/ Profundidad cata (cm)/ niveles		Altitud (msnm)	Coordenadas UTM	Orientación/ pendiente (%)	Sustrato/ suelo	Ambiente geoecológico
Plaza de Armas 1/ 46 cm	N.I (0-30 cm)	1282	X= 323758 Y= 4054078	NNE/15	Peridotita Leptosol	Abetal-pinar en ladera
	N.II (31-46 cm)					

3 Resultados

El análisis pedoantracológico realizado en la localidad de Plaza de Armas (Sierra Real) se ha fundamentado en la

realización de dos catas. La presente comunicación se centra en los resultados preliminares de la primera de las dos catas efectuadas (Plaza de Armas 1). Asimismo, aunque las muestras han sido identificadas en su totalidad, aún no se dispone de las cronologías obtenidas mediante C14, ya que los fragmentos seleccionados con mayor interés se encuentran actualmente en proceso de tratamiento en el laboratorio MICADAS (Bremerhaven, Alemania). La segunda cata pedoantracológica realizada en la localidad, Plaza de Armas 2, se halla en fase de procesamiento en el laboratorio.

En Plaza de Armas 1 se han analizado 116 fragmentos de carbón. De estos, 66 han sido identificados en el nivel I y 50 en el nivel II. Del total de muestras analizadas, un 9.5 % han resultado indeterminadas, debido fundamentalmente a procesos de vitrificación y deformación que han imposibilitado su identificación taxonómica. Por su parte, un 3.4 % de los carbones analizados únicamente ha podido adscribirse a la categoría de gimnospermas, sin que haya podido precisarse un nivel taxonómico mayor, mientras que un 5.2 % han resultado angiospermas. Respecto a las identificaciones válidas, los porcentajes que se presentan a continuación se han calculado sobre el total de fragmentos analizados (Fig. 2).

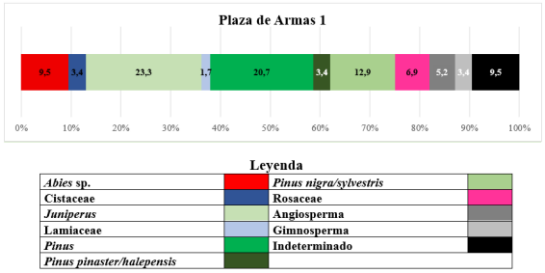


Fig. 2. Identificación taxonómica de Plaza de Armas 1.

4 Discusión

La aplicación del análisis pedoantracológico en una nueva localidad del PNSN ha resultado fundamental para ampliar la información de corte paleoecológico tanto en la Serranía de Ronda como en el contexto de la Cordillera Bética.

Aunque la mayoría de los taxones identificados coincide con la componente vegetal actual, la presencia de *Pinus* tipo *nigra/sylvestris* en Plaza de Armas 1 es de especial relevancia, dado que este taxón se encuentra actualmente ausente en dicha localidad y no existen referencias históricas que hagan alusión al mismo (Gómez-Zotano 2004, 2006). Este registro se suma a las evidencias previas identificadas en Cascajares (Gómez-Zotano et al., 2023), Arroyo de los Lobos 1 (Pardo-Martínez et al., 2021) y Meseta de Quejigales (Pardo-Martínez et al., 2023) consolidando la hipótesis de que el área de distribución de los pinares de *Pinus* tipo *nigra/sylvestris* en el sector suroccidental de la Cordillera Bética fue notablemente más amplia en el pasado.

El citado hallazgo representa la primera evidencia documental paleoecológica de *Pinus* tipo *nigra/sylvestris* sobre sustratos ultramáficos (peridotitas) a nivel nacional. Aunque la identificación anatómica no permite discriminar entre ambas especies y las condiciones paleoambientales pudieron diferir de las actuales, este resultado sugiere una posible mayor amplitud ecológica del taxón que la reconocida.

Estos resultados refuerzan el papel del PNSN como un refugio post-glacial estratégico para diversas coníferas de montaña (Olmedo-Cobo et al., 2021). La coexistencia pretérita documentada de *Abies pinsapo* (Gómez-Zotano et al., 2017; 2022; Olmedo-Cobo et al., 2017; 2019), *Pinus nigra/sylvestris* (Pardo-Martínez et al., 2023; Pardo-Martínez et al., 2024) y *Taxus baccata* (Pardo-Martínez et al., 2024), sugiere que este espacio montañoso proporcionó condiciones microclimáticas y edáficas estables que permitieron la persistencia de estas especies frente a las oscilaciones climáticas del Holoceno (Fierro et al., 2011).

En cuanto al análisis de antracomasa, cabe destacar que la suma total de los dos niveles de muestreo ha sido 226.2mg/kg. Para contextualizar esta cifra, en relación con las catas realizadas en el conjunto del PNSN por Pardo-Martínez et al., (2021, 2024**)** se ha elaborado la tabla 2.

Tabla 2. Antracomasa total de catas realizadas en el PNSN.

LOCALIDADES	mg/kg
Palmitera 1	137379,3
Meseta Quejigales	2313,9
Cañada de Enmedio	1039,4
Fuenfría Alta	651,7
Puerto de los Valientes	475,7
Plaza de Armas 1	226,2
Pilones 1	118,4
Pilones 2	143
Cañada del Cuerno	27,5

El valor promedio de antracomasa (15 819,5 mg/kg) está fuertemente sesgado por el registro excepcional de Palmitera 1 –el valor más alto documentado en la bibliografía pedoantracológica hasta la fecha–. Al excluir esta localidad, el valor promedio desciende a 624,5 mg/kg. En cualquier caso, los valores de Plaza de Armas 1 se sitúan por debajo del promedio pese a situarse en Sierra Bermeja, donde las concentraciones de antracomasa en suelos serpentiníticos son muy elevadas debido a los incendios forestales recurrentes (Gómez-Zotano et al., 2024).

5 Conclusiones

El análisis pedoantracológico se consolida como una herramienta de gran precisión para desvelar pautas paleoecológicas de las coníferas orófilas en el sur peninsular. La identificación de taxones como *Abies* sp., *Pinus pinaster/halepensis* y *Pinus nigra/sylvestris* demuestra la eficacia de esta metodología para caracterizar de forma precisa la composición de la vegetación orófila en las montañas mediterráneas. En particular, el hallazgo de la existencia pretérita de *Pinus nigra/sylvestris* en Sierra Real supone la segunda evidencia documentada de este taxón en el PNSN, lo que ratifica el papel estratégico de este macizo ultramáfico como refugio de biodiversidad tras el Último Máximo Glacial.

Desde una perspectiva aplicada, la integración de estos datos ofrece respuestas empíricas que complementan y corrigen modelizaciones teóricas y estudios fitosociológicos

actuales. Esta información es esencial para fundamentar políticas de gestión, regeneración y expansión natural de estos bosques relictos y endémicos, cuya conservación depende de la comprensión profunda de su dinámica histórica.

Finalmente, la detección de fragmentos de carbón en enclaves no documentados hasta la fecha respecto a la distribución vegetal actual aconseja ampliar la red de muestreos hacia áreas geográficas inexploradas del PNSN. Estas futuras investigaciones permitirán discernir con mayor precisión cómo la variabilidad climática y el impacto antropogénico han modelado la estructura de los bosques de montaña, revelando la posible presencia de otros taxones arbóreos (incluidas coníferas) que pudieron ocupar este territorio en el pasado y cuya memoria ecológica es clave para la resiliencia de los hábitats más amenazados.

6 Referencias

Batllori, E., Blanco-Moreno, J. M., Ninot, J. M., Gutiérrez, E., & Carrillo, E. (2009). Vegetation patterns at the alpine treeline ecotone: The influence of tree cover on abrupt change in species composition of alpine communities. *Journal of Vegetation Science, 20*(5), 814-825. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01085.x

Cheddadi, R. (2017). Microrefugia, climate change, and conservation of *Cedrus atlantica* in the Rif Mountains, Morocco. *Frontiers in Ecology and Evolution,* 5, 114. https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00114

Cunill, R. (2010). *Estudi interdisciplinari de l´evolució del límit superior del bosc durant el període holocènic a la zona de Plaus de Boldís-Montarenyo, Pirineu central català* [Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona].

Fierro, E., Munuerar, M., Fernández-Jiménez, S., Arribas, A., & Carrión, J.S. (2011). Cambios en el paisaje vegetal de la región andaluza durante el Pleistoceno superior y el Holoceno. *Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*, *2*, 15-33.

Gil, G., Carrión, J. S., McClure, S. B., Schmich, S., & Finlayson, C. (2009). Holocene vegetation dynamics in Mediterranean Iberia: Historical contingency and climate-human interactions. *Journal of Anthropological Research, 65*(2), 271-285.

Gómez-Zotano, J. (2004). *El papel de los espacios montañosos como traspaís del litoral mediterráneo andaluz: el caso de Sierra Bermeja (provincia de Málaga)* [Tesis doctoral, Universidad de Granada].

Gómez-Zotano, J. (2006). *Naturaleza y paisaje en la Costa del Sol Occidental*. Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga.

Gómez-Zotano, J., Olmedo-Cobo, J.A., Cunill-Artigas, R. & Martínez-Ibarra, E. (2017). Descubrimiento y caracterización geográfica de una depresión ultramáfica en Sierra Bermeja: nuevos datos geomorfológicos, fitogeográficos y paleoecológicos. *Pirineos*, *172*. https://doi.org/10.3989/Pirineos.2017.172001

Gómez-Zotano, J., & Olmedo-Cobo, J. A. (2021). *Los bosques de la Serranía de Ronda: una perspectiva espacio-temporal*. Editorial La Serranía.

Gómez-Zotano, J., Olmedo-Cobo, J.A & Pardo-Martínez, R. (2022). Palmitera 1. En J.S. Carrión, (Coord.) *Paleoflora y Paleovegetación Ibérica III: Holoceno*. Ministerio de Ciencia e Innovación y Fundación Séneca.

Gómez-Zotano, J., Pardo-Martínez, R., Olmedo-Cobo, J.A. & Martos-Martín, J. (2024). Fire history in the serpentine-soil Spanish fir of Sierra Bermeja. *Fire Ecology, 20*, 49. https://doi.org/10.1186/s42408-024-00280-0

Olmedo-Cobo, J. A., Cunill-Artigas, R., Martínez-Ibarra, E., & Gómez-Zotano, J. (2017). Paleoecología de *Abies* sp. en Sierra Bermeja (sur de la península ibérica) durante el Holoceno medio a partir del análisis pedoantracológico. *Bosque, 38*(2), 259-270. http://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200004

Olmedo-Cobo, J. A., Cunill-Artigas, R., Gómez-Zotano, J., & Pardo-Martínez, R. (2019). Aportaciones del análisis pedoantracológico al conocimiento paleoecológico de *Pinus pinaster* en el sur de España: el caso de Sierra Bermeja. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 80*, 1–34. http://doi.org/10.21138/bage.2667

Olmedo-Cobo, J. A, Pardo-Martínez, R., & Gómez-Zotano, J. (2021). Primeros datos sobre la composición holocena de los bosques de montaña en el Parque Natural Sierra de las Nieves (Serranía de Ronda) a partir del análisis pedoantracológico. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles,* 89. https://doi.org/10.21138/bage.3099

Pardo-Martínez, R. (2023). *Aplicación del análisis pedoantracológico para la reconstrucción del área de distribución del paleoendemismo Abies pinsapo* [Tesis doctoral, Universidad de Granada].

Pardo-Martínez, R., Olmedo-Cobo, J.A., Gómez-Zotano, J., & Alba-Sánchez, F. (2023). Multiproxy analysis for the paleobiogeographical reconstruction of the relict forests of the Serranía de Ronda during the Holocene (Baetic System, Spain). *The Holocene, 33*, 1422–1437. https://doi.org/10.1177/09596836231185835

Pardo-Martínez, R., Menjíbar-Romero, M., Gómez-Zotano, J., & Murillo, J.F. (2024). Paleosol charcoal: 12,700 years of high-altitude mediterranean vegetation history in relation to forest fires in the southwestern baetic cordillera (Spain). *Quaternary International*, *702*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2024.05.012

Pérez-Latorre, A. V., Hidalgo-Triana, N., & Cabezudo, B. (2021). Biogeografía y bosques de la Serranía de Ronda. En J. Gómez-Zotano & J.A. Olmedo-Cobo (Eds.), *Los bosques de la Serranía de Ronda. Una perspectiva espacio-temporal* (pp. 11-58). Editorial La Serranía.

7 Agradecimientos

Esta publicación es parte de los proyectos de I+D+i PALEOPINSAPO II (PID2022-141592NB-100) financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER; y PALEONIEVES (Ref. SPIP2023-03025) financiado por Organismo Autónomo Parques Nacionales, dependiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. También del contrato FPI (Formación de Personal Investigador) (Ref.PREP2022-000951) como parte de la ayuda PID2022-141592NB-I00, financiado por MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y por el FSE+.

Distribución espacial de una aliseda ibérica (*Alnus lusitanica*) en el arroyo del Guindalejo (Ciudad Real, España): implicaciones para su conservación

Buitrago Bravo, Pedro Pablo [1] y Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo [2]

[1] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Castilla-La Mancha, Avda Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España

[2] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, GEOVOL-UCLM,Universidad de Castilla-La Mancha, Avda Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España

rafaelu.gosalvez@uclm.es

Resumen. Los bosques de ribera son ecosistemas esenciales para la conservación de la biodiversidad, la regulación hidrológica y la conectividad ecológica. Su marcada heterogeneidad espacial condiciona la distribución y el crecimiento de las especies arbóreas, estrechamente ligados a gradientes de humedad, estabilidad del sustrato y perturbación fluvial. Analizar la relación espacial entre la vegetación riparia y el cauce resulta clave para definir criterios de gestión y conservación basados en procesos geoecológicos. Este estudio analiza la distribución espacial del aliso ibérico (*Alnus lusitanica*) en el arroyo del Guindalejo (Ciudad Real, España), una población relicta de interés biogeográfico. Se evaluó la influencia de la distancia al cauce sobre la abundancia y el tamaño de los individuos mediante el análisis de 154 árboles georreferenciados, utilizando modelos aditivos generalizados para detectar relaciones no lineales a lo largo del gradiente ripario. Los resultados muestran un patrón espacial definido de la abundancia, con un máximo entre 4 y 6 m, y un descenso acusado más allá de 9–10 m, lo que permite identificar una franja ribereña óptima para la especie. El tamaño, por el contrario, muestra una débil relación, aumentando levemente hacia zonas más estables geomorfológicamente.

Palabras clave: *Alnus lusitanica*, modelo aditivo generalizado, gradientes, dinámica fluvial, conservación.

Resumo. Os bosques ripícolas são ecossistemas essenciais para a conservação da biodiversidade, a regulação hidrológica e a conectividade ecológica. A sua marcada heterogeneidade espacial condiciona a distribuição e o crescimento das espécies arbóreas, estreitamente ligados a gradientes de humidade, estabilidade do substrato e perturbação fluvial. Analisar a relação espacial entre a vegetação ripícola e o curso de água é fundamental para definir critérios de gestão e conservação baseados em processos ecológicos. Este estudo analisa a distribuição espacial do amieiro-ibérico (*Alnus lusitanica*) no ribeiro do Guindalejo (Ciudad Real, Espanha), uma população relicta de interesse biogeográfico. Avaliou-se a influência da distância ao curso de água na abundância e no tamanho dos indivíduos através da análise de 154 árvores georreferenciadas, utilizando modelos aditivos generalizados para detetar relações não lineares ao longo do gradiente ripícola. Os resultados revelam um padrão espacial bem definido da abundância, com um máximo entre 4 e 6 m e um declínio acentuado para além dos 9–10 m, identificando uma faixa ripária ótima. Em contraste, o tamanho dos indivíduos apresenta uma relação fraca, aumentando ligeiramente em direção a zonas geomorfologicamente mais estáveis.

Palavras-chave: *Alnus lusitanica*, modelo aditivo generalizado, gradientes, dinâmica fluvial, conservação.

Abstract. Riparian forests are essential ecosystems for biodiversity conservation, hydrological regulation, and ecological connectivity. Their marked spatial heterogeneity conditions the distribution and growth of tree species, which are closely linked to gradients of moisture, substrate stability, and fluvial disturbance. Analyzing the spatial relationship between riparian vegetation and the channel is therefore key to defining management and conservation criteria based on ecological processes. This study analyzes the spatial distribution of the Iberian alder (*Alnus lusitanica*) in the Guindalejo stream (Ciudad Real, Spain), a relict population of biogeographic interest. The influence of distance to the channel on individual abundance and size was evaluated through the analysis of 154 georeferenced trees, using generalized additive models to detect non-linear relationships along the riparian gradient. The results reveal a well-defined spatial pattern in abundance, with a maximum between 4 and 6 m and a marked decline beyond 9–10 m, identifying an optimal riparian strip. In contrast, individual size shows a weak relationship with distance, increasing slightly toward geomorphologically more stable areas.

Keywords: *Alnus lusitanica*, generalized additive model, gradients, fluvial dynamics, conservation.

3.2 Tamaño (diámetro del tronco a 1,30 cm) con respecto a la distancia al arroyo

Este parámetro presentó una relación más débil con la distancia al arroyo que el de la abundancia (Fig. 3). El GAM detectó un efecto significativo, aunque con baja capacidad explicativa (R^2 ajustado=0,067). La tendencia general indicó un incremento del diámetro conforme aumentaba la distancia al cauce, pasando de aproximadamente 22,3 cm en las zonas más próximas a unos 40,0 cm en las más alejadas. No obstante, se observó una elevada variabilidad en los valores de diámetro a lo largo de todo el gradiente, especialmente en las distancias mayores, lo que se reflejó en una mayor incertidumbre del ajuste en esos tramos.

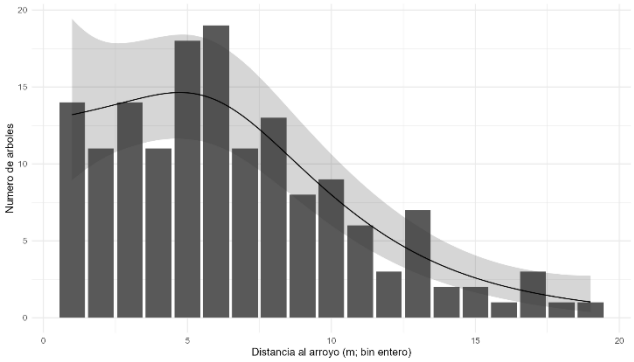


Fig. 2. Distribución del número de alisos (abundancia) con respecto a la distancia la arroyo.

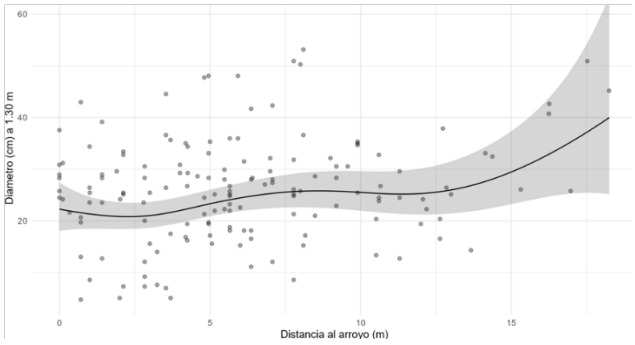


Fig. 3. Relación del tamaño con respecto a la distancia al arroyo

4 Discusión

Los resultados evidencian que la distancia al arroyo actúa como un factor determinante en la distribución espacial de *Alnus lusitanica*, explicando gran parte de la variación en el caso de la abundancia.

El máximo de individuos localizado en torno a 4-6 m, en lugar de en el borde inmediato del cauce, sugiere la existencia de una franja óptima donde se combinan condiciones favorables de disponibilidad hídrica con una menor intensidad de perturbaciones físicas.

En las zonas más próximas al arroyo (0–2 m), procesos como el anegamiento, la erosión o la inestabilidad del sustrato pueden limitar el establecimiento y la supervivencia (Hupp & Osterkamp, 1996), mientras que a distancias intermedias estas limitaciones disminuyen manteniéndose aún la influencia del recurso hídrico.

Este patrón de "ventana de reclutamiento" en zonas de equilibrio geomorfológico es coherente con estudios en sistemas mediterráneos (Garófano-Gómez, 2013), donde se ha observado que los eventos hidrológicos extremos generan daños mecánicos y reducen el crecimiento en individuos situados en el canal activo o en sus inmediaciones (Rodríguez-González et al., 2014).

En este sentido, Richardson et al. (2007) subrayan que el régimen de perturbación natural actúa como un 'filtro ecológico' determinante en la composición y resiliencia de las comunidades vegetales. Estos hallazgos concuerdan con estudios de alisedas en el norte de África, donde factores como la intensidad de las perturbaciones influyen en la abundancia y diversidad, reforzando la idea de una franja óptima de establecimiento (Necer et al., 2019).

El acusado descenso de la abundancia a partir de 9-10 m indica una pérdida progresiva de las condiciones típicamente ribereñas, probablemente asociada a una menor disponibilidad de agua en el suelo y a un aumento de la competencia con otras especies más adaptadas a ambientes menos húmedos.

Este gradiente es consistente con la dependencia de estas especies de condiciones edáficas y de humedad específicas (Ferreira et al., 2005), lo que restringe su distribución a franjas cercanas al cauce conforme la influencia del nivel freático se desvanece (Stella et al., 2013).

En contraste, el tamaño de los individuos muestra una relación débil con la distancia, lo que indica que este factor no es suficiente para explicar la estructura diamétrica de la población analizada.

El incremento del diámetro hacia zonas más alejadas puede interpretarse como resultado de una menor exposición a perturbaciones físicas y una mayor estabilidad del sustrato (Corenblit et al., 2015). En este sentido, se ha documentado que los individuos situados en posiciones más estables de la llanura de inundación presentan mayores tasas de crecimiento (Rivaes et al., 2013), mientras que aquellos cercanos al canal activo muestran anillos más estrechos debido al estrés y al daño mecánico asociados a crecidas (Rodríguez-González et al., 2014).

5 Conclusiones

La abundancia de *Alnus lusitanica* en el Arroyo del Guindalejo está fuertemente condicionada por la distancia al arroyo, mostrando un patrón espacial claro con un máximo en torno a 4–6 m del cauce y un descenso acusado a partir de 9-10 m. Este resultado indica la existencia de una franja ribereña óptima donde se combinan condiciones favorables de humedad con una menor intensidad de perturbaciones.

Por el contrario, el tamaño de los individuos presenta una relación débil con la distancia, aunque se observa una tendencia general de incremento del diámetro hacia zonas más

alejadas del cauce. Esta baja capacidad explicativa sugiere que el crecimiento no depende únicamente de la proximidad al arroyo, sino de factores adicionales como la edad, la competencia o la heterogeneidad ambiental.

En conjunto, la distancia al arroyo actúa como un determinante clave del establecimiento y la distribución de los individuos, mientras que la estructura de tamaños responde a procesos más complejos.

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de conservar una franja ribereña funcional bien definida a lo largo del Arroyo del Guindalejo, especialmente en el intervalo comprendido entre los 4 y 6 m desde el cauce, donde se concentra la mayor abundancia de *Alnus lusitanica*. Por ello, se recomienda priorizar la protección estricta de esta franja óptima, limitando actuaciones que puedan alterar el régimen hídrico, la estructura del suelo o la cubierta vegetal.

Asimismo, dado el descenso acusado de la abundancia a partir de los 9–10 m, resulta aconsejable mantener una zona tampón más amplia, que actúe como área de amortiguación frente a perturbaciones externas (pisoteo, desbroces, aportes de sedimentos o cambios de uso del suelo), garantizando la estabilidad microambiental necesaria para el establecimiento de nuevos individuos.

Finalmente, cualquier actuación de restauración o manejo debería basarse en un enfoque espacialmente explícito, considerando la distancia al cauce como un criterio clave para la delimitación de áreas prioritarias de conservación, sin perder de vista que la funcionalidad ecológica del ecosistema ribereño depende de la interacción de múltiples factores bióticos y abióticos.

6 Referencias

Corenblit, D., Baas, A. C. W., Bornette, G., Darrozes, J., Delmotte, S., Francis, R. A., Gurnell, A. M., Julien, F., Naiman, R. J., & Steiger, J. (2015). Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface system dynamics: A review of foundation concepts and current understanding. *Earth-Science Reviews*, 143, 24–46. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.03.002

Cuerdo, M., Márquez-Corro, J.I., Lara, F., Garilleti, R., Leitch, I.J., Cires, E., del Olmo, D.G., Romero, A., Andrés, C., Ballesteros, E., Prado, A. & Calleja, J.A. (2025). Distribution and morphological differentiation of native alder taxa (Alnus Mill.) in the Iberian Peninsula. *Flora*, 326, 152723. https://doi.org/10.1016/j.flora.2025.152723

Ferreira, M. T., Aguiar, F. C., & Moreira, I. (2005). Contextualizing riparian zones within the river landscape: Conceptual and analytical issues for river management. *Limnetica*, 24(1–2), 157–168.

Garófano-Gómez, V. (2013). Riparian vegetation patterns according to hydrogeomorphological factors at different spatial and temporal scales in Mediterranean rivers. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

Graziano, M. P., Deguire, A. K., & Surasinghe, T. D. (2022). Riparian buffers as a critical landscape feature: Insights for riverscape conservation and policy renovations. *Diversity, 14*(3), 172. https://doi.org/10.3390/d14030172

Herrero J., Cirujano, S., Moreno, M., Peris, J.B., & Stübing, G. (2003). La Vegetación Protegida de Castilla La-Mancha. JCCM.

Hupp, C. R., & Osterkamp, W. R. (1996). Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14(4), 277–295. https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00042-4

Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621

Mandák, B., Vít, P., Krak, K., Trávníček, P., Havrdová, A., Hadincová, V., Zákravský, P., Jarolímová, V,, Bacles, C.F. & Douda, J. 2016. Flow cytometry, microsatellites and niche models reveal the origins and geographical structure of Alnus glutinosa populations in Europe. *Ann. Bot.*, 117(1):107-20. https://doi.org/10.1093/aob/mcv158

Necer, A., Tadjine, A., Belouahem-Abed, D., & Saoudi, M. (2019). Vegetation heterogeneity of black alder forests in and around El-Kala Biosphere Reserve, northeastern Algeria. *Botanical Sciences*, 97(1), 13–34. https://doi.org/10.17129/botsci.1982

Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., … & Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208–217. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x

Peinado, M., Monje, L., & Martínez, J. M. (2008). El paisaje vegetal de Castilla-La Mancha. Editorial Cuarto Centenario.

Rivaes, R., Rodríguez-González, P. M., Albuquerque, A., Pinheiro, A. N., Egger, G., & Ferreira, M. T. (2013). Riparian vegetation responses to altered flow regimes driven by climate change in Mediterranean rivers. *Ecohydrology*, 6(3), 413-425.

Richardson, D. M., Holmes, P. M., Esler, K. J., Galatowitsch, S. M., Stromberg, J. C., Kirkman, S. P., Pysek, P., & Hobbs, R. J. (2007). Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity and Distributions*, 13(1), 126-139.

Rodríguez-González, P. M., Campelo, F., Albuquerque, A., Rivaes, R., Ferreira, T., & Pereira, J. S. (2014). Radial growth of black alder (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) in a Mediterranean river system: Hydrologic and geomorphic influences. *Plant Ecology*, 215(2), 233–245. https://doi.org/10.1007/s11258-013-0292-9

Stella, J. C., Rodríguez-González, P. M., Dufour, S., & Bendix, J. (2013). Riparian vegetation dynamics and interactions with fluvial geomorphology. En S. J. Bennett & A. Simon (Eds.), *Riparian vegetation and the fluvial environment* (pp. 53–74). American Geophysical Union.

Vít, P., Douda, J., Krak, K., Havrdová, A. & Mandák, B. (2017). Two new polyploid species closely related to *Alnus glutinosa* in Europe and North Africa – An analysis based on morphometry, karyology, flow cytometry and microsatellites. *Taxon*, 66(3), 567-583. https://doi.org/10.12705/663.4

Distribución espacial de una aliseda ibérica (*Alnus lusitanica*) en el arroyo del Guindalejo (Ciudad Real, España): implicaciones para su conservación

Buitrago Bravo, Pedro Pablo [1] y Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo [2]

[1] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Castilla-La Mancha, Avda Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España

[2] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, GEOVOL-UCLM,Universidad de Castilla-La Mancha, Avda Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España

rafaelu.gosalvez@uclm.es

Resumen. Los bosques de ribera son ecosistemas esenciales para la conservación de la biodiversidad, la regulación hidrológica y la conectividad ecológica. Su marcada heterogeneidad espacial condiciona la distribución y el crecimiento de las especies arbóreas, estrechamente ligados a gradientes de humedad, estabilidad del sustrato y perturbación fluvial. Analizar la relación espacial entre la vegetación riparia y el cauce resulta clave para definir criterios de gestión y conservación basados en procesos geoecológicos. Este estudio analiza la distribución espacial del aliso ibérico (*Alnus lusitanica*) en el arroyo del Guindalejo (Ciudad Real, España), una población relicta de interés biogeográfico. Se evaluó la influencia de la distancia al cauce sobre la abundancia y el tamaño de los individuos mediante el análisis de 154 árboles georreferenciados, utilizando modelos aditivos generalizados para detectar relaciones no lineales a lo largo del gradiente ripario. Los resultados muestran un patrón espacial definido de la abundancia, con un máximo entre 4 y 6 m, y un descenso acusado más allá de 9–10 m, lo que permite identificar una franja ribereña óptima para la especie. El tamaño, por el contrario, muestra una débil relación, aumentando levemente hacia zonas más estables geomorfológicamente.

Palabras clave: *Alnus lusitanica*, modelo aditivo generalizado, gradientes, dinámica fluvial, conservación.

Resumo. Os bosques ripícolas são ecossistemas essenciais para a conservação da biodiversidade, a regulação hidrológica e a conectividade ecológica. A sua marcada heterogeneidade espacial condiciona a distribuição e o crescimento das espécies arbóreas, estreitamente ligados a gradientes de humidade, estabilidade do substrato e perturbação fluvial. Analisar a relação espacial entre a vegetação ripícola e o curso de água é fundamental para definir critérios de gestão e conservação baseados em processos ecológicos. Este estudo analisa a distribuição espacial do amieiro-ibérico (*Alnus lusitanica*) no ribeiro do Guindalejo (Ciudad Real, Espanha), uma população relicta de interesse biogeográfico. Avaliou-se a influência da distância ao curso de água na abundância e no tamanho dos indivíduos através da análise de 154 árvores georreferenciadas, utilizando modelos aditivos generalizados para detetar relações não lineares ao longo do gradiente ripícola. Os resultados revelam um padrão espacial bem definido da abundância, com um máximo entre 4 e 6 m e um declínio acentuado para além dos 9–10 m, identificando uma faixa ripária ótima. Em contraste, o tamanho dos indivíduos apresenta uma relação fraca, aumentando ligeiramente em direção a zonas geomorfologicamente mais estáveis.

Palavras-chave: *Alnus lusitanica*, modelo aditivo generalizado, gradientes, dinâmica fluvial, conservação.

Abstract. Riparian forests are essential ecosystems for biodiversity conservation, hydrological regulation, and ecological connectivity. Their marked spatial heterogeneity conditions the distribution and growth of tree species, which are closely linked to gradients of moisture, substrate stability, and fluvial disturbance. Analyzing the spatial relationship between riparian vegetation and the channel is therefore key to defining management and conservation criteria based on ecological processes. This study analyzes the spatial distribution of the Iberian alder (*Alnus lusitanica*) in the Guindalejo stream (Ciudad Real, Spain), a relict population of biogeographic interest. The influence of distance to the channel on individual abundance and size was evaluated through the analysis of 154 georeferenced trees, using generalized additive models to detect non-linear relationships along the riparian gradient. The results reveal a well-defined spatial pattern in abundance, with a maximum between 4 and 6 m and a marked decline beyond 9–10 m, identifying an optimal riparian strip. In contrast, individual size shows a weak relationship with distance, increasing slightly toward geomorphologically more stable areas.

Keywords: *Alnus lusitanica*, generalized additive model, gradients, fluvial dynamics, conservation.

Biodiversidade e Macrohabitats na Ilha dos Lençóis (Reserva Extrativista Marinha de Cururupu) Maranhão (Brasil)

Furlan, Sueli Angelo[1] y Pérez Machado, Reinaldo Paul[1]

[1] Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Avenida Professor Lineu Prestes, 338 – Cidade Universitária, CEP 05508-000. São Paulo – SP, Brasil.
sucaangf@usp.br

Resumo. A Reserva Extrativista Marinha de Cururupu, criada em 2004, é a maior RESEX marinha do Brasil, com mais de 59 mil hectares de manguezais. Inserida nas Reentrâncias Maranhenses, área reconhecida como sítio Ramsar, apresenta elevada complexidade paisagística e importância ecológica global. Este estudo analisa os macrohabitats, a biodiversidade e as principais ameaças na Ilha dos Lençóis. A ilha abriga elevada diversidade de fauna e flora, incluindo espécies indicadoras de qualidade ambiental e ameaçadas de extinção, além de sustentar comunidades tradicionais praieiras. Os resultados evidenciam um sistema socioecológico costeiro altamente interdependente, porém vulnerável às mudanças climáticas e às pressões antropogênicas.

Palavras-chave: macrohabitats; biodiversidade; ilhas; RESEX Cururupu.

Resumen. La Reserva Extractiva Marina de Cururupu, creada en 2004, es la mayor reserva extractiva marina de Brasil, con más de 59.000 hectáreas de manglares. Ubicada en las Reentradas Maranhenses, un área reconocida como sitio Ramsar, presenta una alta complejidad paisajística y una importancia ecológica global. Este estudio analiza los macrohábitats, la biodiversidad y las principales amenazas en la Isla dos Lençóis. La isla alberga una gran diversidad de fauna y flora, incluyendo especies indicadoras de la calidad ambiental, especies en peligro de extinción y especies que sustentan comunidades costeras tradicionales. Los resultados destacan un sistema socioecológico costero altamente interdependiente, pero vulnerable al cambio climático y a las presiones antropogénicas.

Palabras clave: macrohábitats; biodiversidad; islas; Reserva Extractiva de Cururupu.

Abstract: The Cururupu Marine Extractive Reserve, established in 2004, is the largest marine RESEX in Brazil, encompassing more than 59,000 hectares of mangroves. Located within the Maranhão Reentrances, a Ramsar site, it features high landscape complexity and global ecological importance. This study examines macrohabitats, biodiversity, and threats on Lençóis Island. The area hosts high biodiversity and supports traditional communities. Results highlight a complex coastal socio-ecological system under increasing environmental pressures**.**

Keywords: macrohabitats; biodiversity; islands; Cururupu RESEX.

1 Introdução

As áreas costeiras sob influência de marés apresentam uma dinâmica ambiental complexa, caracterizada por pulsos de inundação polimodais, variações de salinidade e elevada heterogeneidade dos habitats.

Manguezais, marismas, restingas, lagunas costeiras e estuários constituem os principais macrohabitats, que abrigam espécies adaptadas a condições eurialinas. A RESEX Marinha de Cururupu destaca-se por abrigar extensos manguezais, sistemas dunares e ambientes estuarinos. Localizada nas Reentrâncias Maranhenses, abriga comunidades tradicionais cuja subsistência depende diretamente desses ecossistemas. A área é considerada um hotspot de biodiversidade, com aproximadamente 1.300 espécies de peixes e alta relevância para aves migratórias.

Este estudo tem como objetivo analisar a biodiversidade, os macrohabitats e as ameaças ambientais decorrentes das mudanças climáticas na Ilha dos Lençóis, enfatizando sua importância socioecológica.

A região apresenta elevada complexidade paisagística, incluindo a maior floresta contínua de manguezal da costa norte brasileira e a terceira maior cobertura mundial desse ecossistema, além de um extenso sistema de dunas eólicas

As Reentrâncias Maranhenses são reconhecidas como sítio Ramsar e área crítica hemisférica para aves migratórias, destacando sua importância ecológica global. A Ilha dos Lençóis integra o sistema insular da RESEX, inserida em um contexto de ambientes costeiro-marinhos e estuarinos. A RESEX é ocupada por comunidades tradicionais praieiras distribuídas em 12 comunidades, cujos modos de vida estão profundamente vinculados à diversidade de macrohabitats, como manguezais, praias, dunas, ilhas sedimentares, lagu-

nas e estuários. Essa interdependência entre a biodiversidade e as práticas socioculturais caracteriza a região como um sistema socioecológico costeiro amazônico. A área abriga aproximadamente 1.300 espécies de peixes, muitas delas ameaçadas ou em declínio devido às mudanças climáticas e à pesca comercial em larga escala.

2 Materiais e métodos

Reserva Extrativista (RESEX) Marinha de Cururupu, criada em 2004, é a maior RESEX marinha do Brasil, com mais de 59 mil hectares de manguezais (Fig. 1).

A pesquisa baseou-se em levantamento bibliográfico, análise de dados secundários, registro de trabalho de campo e sistematização de informações sobre a biodiversidade e os macrohabitats da RESEX Marinha de Cururupu, com foco na Ilha dos Lençóis.

Foram utilizados dados provenientes de inventários do ICMBio, de documentos do Plano de Ação Nacional para Manguezais (Brasil, 2016; 2024) e da literatura científica sobre ecossistemas costeiros amazônicos. A análise incluiu a identificação de macrohabitats e um levantamento qualitativo preliminar da fauna e da flora, bem como das principais pressões ambientais.

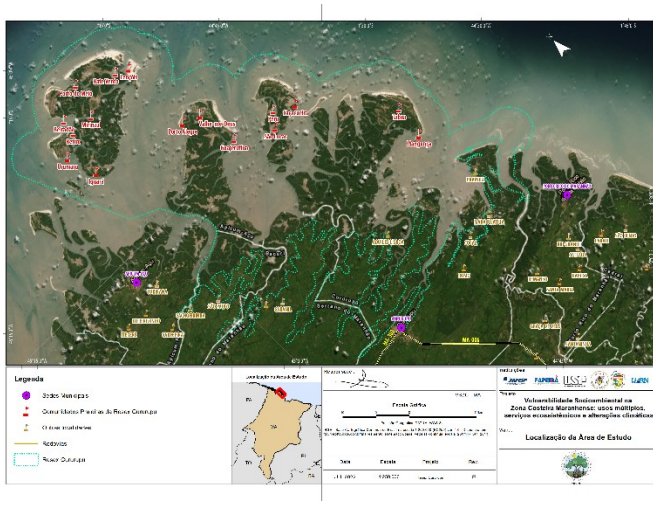


Fig. 1. Mapa de Localização da Resex Marinha de Cururupu. Fonte**:** Edson Alves Filho.

3 Resultados

A RESEX Cururupu apresenta elevada biodiversidade e cerca de 90% de seus manguezais estão preservados (Santos & Furlan (2025). A Ilha dos Lençóis, com aproximadamente 560 ha, abriga manguezais, restingas, dunas móveis, apicuns e florestas relictuais, lagunas e estuários.

A fauna inclui peixes, crustáceos, moluscos, aves migratórias e mamíferos aquáticos. Espécies como o peixe-boi-marinho (*Trichechus manatus*) e o boto-cinza (*Sotalia guianensis*) indicam alta qualidade ambiental. A Tabela 1 apresenta uma síntese reduzida da biodiversidade da RESEX e suas funções ecológicas. Os manguezais são visitados por espécies marinhas e terrestres (Lacerda, 2002). Na Fig. 3 vemos o belíssimo Guará (*Eucocimus ruber*) ave ameaçada de extinção muito frequente nos manguezais da zona costeira do Maranhão.

Tabela 2. Síntese da biodiversidade da RESEX Cururupu. Fonte**:** Elaborado pelos autores.

Grupo	Nome científico	Nome comum	Obs. ecológicas
FLORA Manguezais	*Rhizophora mangle*	Mangue-vermelho	Estabilização costeira
	Avicennia germinans	Mangue-preto	Tolerante à salinidade
	Laguncularia racemosa	Mangue-branco	Sucessão ecológica
FLORA Restinga	*Attalea speciosa*	Babaçu	Uso socioeconômico
	Genipa americana	Jenipapo	Frutífera
PEIXES	*Cynoscion acoupa*	Pescada-amarela	Comercial
CRUSTÁCEOS	*Ucides cordatus*	Caranguejo-uçá	Espécie-chave
MOLUSCOS	*Crassostrea rhizophorae*	Ostra	Indicador ambiental
MAMÍFEROS	*Trichechus manatus*	Peixe-boi	Ameaçado
AVES	*Eudocimus ruber*	Guará	Espécie símbolo
RÉPTEIS	*Eretmochelys imbricata*	Tartaruga-de-pente	Ameaçada



Fig. 2. Macrohabitats de lagunas salinas - Ilha dos Lençóis. (Imagem obtida por drone – José Fernando Bezerra).



Fig. 3. Guará (*Eucocimus ruber*) – espécie ameaçada de extinção. Endêmica dos manguezais Ilha dos Lençóis. (Foto: Laura de Almeida Gomes Macario).



Fig. 4 – Bosque de *Rhizophora mangle*. Manguezal Ilha dos Lençóis (MA-Brasil) (Foto Ana Lucia G. Santos)

O modo de vida das comunidades insulares é influenciado por diversos macrohabitats (Fig. 2), sobretudo manguezais, litoral recortado por macromarés, ilhas sedimentares, lagunas, praias arenosas e dunas (Diegues, 2000). Esse conjunto caracteriza a área como um sistema socioecológico costeiro amazônico, com alta interdependência entre biodiversidade e modos de vida tradicionais (Diegues, 2000; Furlan s.d.). As principais ameaças a esse sistema são: pesca predatória com captura incidental de espécies ameaçadas, avanço de dunas sobre manguezais (Santos, 2008), poluição, pressão turística, conflitos fundiários e pressões econômicas externas.

4 Discussão

Os resultados evidenciam a relevância da RESEX Cururupu como um sistema socioecológico costeiro de alta biodiversidade. A diversidade de macrohabitats sustenta uma complexa rede ecológica e econômica, essencial às comunidades tradicionais.

A presença de espécies ameaçadas e migratórias reforça a importância da área global. Contudo, pressões antrópicas e mudanças climáticas comprometem a resiliência dos ecossistemas. A escassez de inventários taxonômicos limita a compreensão da dinâmica ecológica, destacando a necessidade de pesquisas integradas e monitoramento.

Além das lacunas relacionadas aos inventários florísticos e à dinâmica geomorfológica das ilhas sedimentares, como a Ilha dos Lençóis, destaca-se a escassez de estudos sistemáticos sobre a fauna de crustáceos e outros organismos marinhos associados aos manguezais da Ilha. Embora esses grupos desempenhem papel central na ciclagem de nutrientes, estruturação das cadeias tróficas e manutenção da produtividade pesqueira, ainda são pouco documentados na região. Espécies como o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) e camarões do gênero *Penaeus*, exploradas pelas comunidades locais, carecem de estudos populacionais, ecológicos e monitoramento de longo prazo. Essa lacuna limita a compreensão da resiliência dos ecossistemas frente às pressões antrópicas e mudanças climáticas, comprometendo a elaboração de estratégias de manejo e conservação. Assim, torna-se fundamental ampliar pesquisas voltadas à biodiversidade bentônica e ecologia de organismos marinhos nos manguezais da RESEX Cururupu, integrando abordagens ecológicas e saberes tradicionais.

5 Conclusões

A Ilha dos Lençóis representa uma área de elevada biodiversidade, inserida em um complexo sistema socioecológico costeiro. Seus macrohabitats sustentam espécies e comunidades tradicionais, evidenciando a forte interdependência entre a natureza e a sociedade.

As ameaças ambientais exigem ações urgentes de conservação e de gestão. Recomenda-se ampliar os estudos científicos para subsidiar políticas públicas e adaptação às mudanças climáticas (Santos & Furla, 2026). Enfatizamos que a conservação dos manguezais, em toda a sua extensão, incluindo as feições apicum e lavado, além do bosque de mangue e demais macrohabitats, é imprescindível, tanto pelas questões ambientais e conservação, quanto pelas questões sociais, visto que esse sistema é considerado berçário para muitas espécies e auxilia a continuidade dos recursos pesqueiros que sustentam, de forma direta e indireta, as comunidades praieiras do Maranhão.

6 Referências

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2016). *Manguezais do Brasil*. Ministério do Meio Ambiente.

Diegues, A. C. (2000). *O mito moderno da natureza intocada*. Hucitec.

Furlan, S. A. (s.d.). *Plano de manejo e inventários da Reserva Extrativista Marinha de Cururupu*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Lacerda, L. D., et al. (2002). *Ecologia de manguezais*.

Brasil. Plano de Ação Nacional para Conservação dos Manguezais. (2024). *PAN Manguezal*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

Santos, A. L. G., & Furlan, S. A. (2026). Manguezais do Maranhão: Estudo de caso do Rio Preguiças. *Confins: Revue franco-brésilienne de géographie*, *(70)*, https://doi.org/10.4000/15ziv.

Santos, A. L. G., & Furlan, S. A. (2025). *Cartografia dos manguezais: Visão sistêmica da escala e dos processos* (Vol. 1). CRV.

Santos, V. M. (2008). *Dinâmica de dunas costeiras no Brasil*.

7 Agradecimientos

Ao CNPq pelo auxílio a pesquisa, as comunidades tradicionais locais e aos pesquisadores da UEMA, UFMA e Instituto Federal do Maranhão.

Primeros datos pedoantracológicos del tejo en la Sierra de Aitana (Alicante)

Gimenez-Font, Pablo[1], Marco-Molina, Juan Antonio[1], Pardo-Martínez, Rubén[2], Sánchez-Pardo, Ángel[1], FernándezCastaño, Francisca [2] y Gómez-Zotano, José[2]

[1] Instituto Interuniversitario de Geografía, Universitat d'Alacant, Campus de Sant Vicent del Raspeig, sn, 03690, Sant Vicent del Raspeig, España
[2] Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Granada, Campus Universitario de Cartuja, sn, 18071, Granada, España
jgzotano@ugr.es

Resumen. En la Sierra de Aitana (Alicante), la presencia del tejo es relicta, con pequeñas poblaciones fragmentadas que presentan importantes problemas de conservación. La hipótesis general es que su distribución fue mayor en el pasado, reduciéndose a causa de la ganadería, los incendios y, posiblemente, el aumento de las temperaturas.
En este estudio se presentan los primeros datos de un análisis pedoantracológico en la citada sierra. La cata se realizó en la base del escarpe principal de esta montaña, a 1371 msnm, obteniendo carbones de tejo cuyos resultados de edad calibrada oscilan entre los 3146 y 1819 BP. A partir de estos resultados, se discute el papel de la especie en el paleopaisaje vegetal del Holoceno Superior en la Sierra de Aitana. En las conclusiones se señala la necesidad de incrementar los datos paleobotánicos para demostrar la hipótesis de una distribución más homogénea de *Taxus baccata*.

Palabras clave: Pedoantracología, *Taxus baccata*, Aitana, Conservación, Paleobiogeografía

Abstract. In the Sierra de Aitana (Alicante), the presence of yew is relict, with small, fragmented populations that face significant conservation challenges. The general hypothesis is that its distribution was more extensive in the past, declining due to livestock grazing, fires, and possibly rising temperatures. This study presents the first data from a pedoanthracological analysis in the Sierra de Aitana (Alicante). Test pits were dug at the base of the main escarpment of this mountain, at 1371 meters above sea level, yielding yew charcoal with calibrated ages ranging from 3146 to 1819 BP. Based on these results, the role of the species in the Upper Holocene paleolandscape of the Sierra de Aitana is discussed, along with the need to increase paleobotanical data to support the hypothesis of a more homogeneous distribution of *Taxus baccata*.

Keywords: Pedoanthracology, *Taxus baccata*, Aitana, Conservation, Paleobiogeography

Resumo. Na Serra de Aitana (Alicante), a presença do teixo é relíquia, existindo pequenas populações fragmentadas que enfrentam desafios de conservação significativos. A hipótese geral é que a sua distribuição era mais extensa no passado, diminuindo devido ao pastoreio de gado, aos incêndios e possivelmente ao aumento das temperaturas. Este estudo apresenta os primeiros dados de uma análise pedoantracológica na Serra de Aitana (Alicante). Foram escavadas trincheiras de teste na base da escarpa principal desta montanha, a 1371 metros acima do nível do mar, revelando carvão de teixo com idades calibradas que variam entre 3146 e 1819 AP. Com base nestes resultados, discute-se o papel da espécie na paleopaisagem do Holocénico Superior da Serra de Aitana, juntamente com a necessidade de aumentar os dados paleobotânicos para suportar a hipótese de uma distribuição mais homogénea de *Taxus baccata*.

Palavras-chave: Pedoantracologia, *Taxus baccata*, Aitana, Conservação, Paleobiogeografia.

1 Introducción

En la actualidad, los bosques y bosquetes de *Taxus baccata* son formaciones arbóreas relictas que acusan un fuerte declive en Europa y norte de África, especialmente en toda el área de distribución del Mediterráneo (Serra, ed. 2007). De hecho, el hábitat del tejo europeo en el ámbito mediterráneo (con el código Natura 2000 9580*) se considera prioritario y ha recibido distintos esfuerzos de conservación (Vaquero & Iglesias, 2007; Vencurik et al. 2019; Kaiser et al. 2024). La Agencia Europea del Medio Ambiente califica el estatus actual de conservación, las estructuras y funciones y las perspectivas de futuro en la región biogeográfica mediterránea como U2 (desfavorable-mala). Se trata de poblaciones con un escaso número de individuos, una extensión muy reducida y problemas graves de conservación, derivado de la fragmentación del hábitat, el ramoneo, los incendios y, probablemente, el incremento más reciente de las temperaturas.

En la península ibérica, la Cordillera Bética representa, dentro de su distribución finícola meridional, uno de los núcleos mediterráneos europeos donde *T. baccata* se encuentra más amenazado. Aunque el conocimiento actual de su

distribución está bastante desarrollado, todavía se trabaja en afinar inventarios y cartografías corológicas de distribución en el presente (Olmedo-Cobo & Gómez-Zotano, 2014, 2023), con un creciente interés en recopilar e incrementar los datos paleobotánicos (Uzquiano et al. 2015).

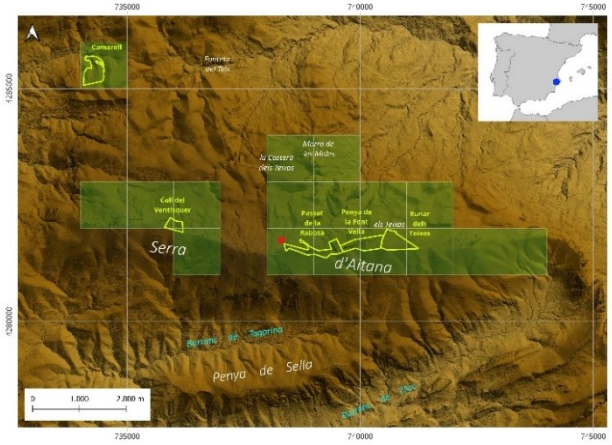


Fig. 1. Distribución del tejo en Aitana en CUTM 1x1, según el Banco de Datos de la Biodiversidad de la Comunitat Valenciana. El punto rojo localiza las catas realizadas. En verde claro se especifican las Microreservas de Flora. Elaboración propia.

En el extremo nororiental de la Cordillera Bética, donde se localiza la Sierra de Aitana, las tejedas forman pequeñas comunidades sub-rupícolas al pie de acantilados umbríos del escarpe septentrional del bloque culminante de la sierra; esto es, en los pisos meso y supramediterráneo, formando parte de la asociación vegetal *Fraxino orni – Aceretum granatensis* (Andrés et al. 2007). En el caso concreto de Aitana (Marco, 2001), el tejo representa en la actualidad un carácter relicto, ligado a micro-ambientes singulares donde predomina mayoritariamente un par de ejemplares o en ocasiones incluso un solo individuo, salvo el caso excepcional de la tejera del Morro de la Moleta (Benifato; *Morro de les Moles* según el nomenclátor toponímico del Instituto Cartográfico Valenciano), donde en 2007 se censaron 131 ejemplares (Andrés et al. 2007). Tres de las cuatro microreservas localizadas en el bloque culminante de la sierra (que suman unas 65 ha de superficie protegida) contienen tejo entre las especies prioritarias, pero, a pesar de esto último, en la Sierra de Aitana predominan condiciones de conservación extremadamente precarias que no garantizan su preservación en el futuro (GVA, 2015). La toponimia demuestra una presencia histórica reciente bastante superior a la actual, pero el conocimiento paleo-botánico de esta especie en Aitana, hasta ahora completamente desconocido, resulta fundamental para interpretar el significado ecológico de *T. baccata* y del conjunto de dominios vegetales que integran su paisaje vegetal. Con este objetivo, dentro del proyecto Paleopinsapo II, se han realizado una serie de análisis *pedoantracológicos* que arrojan los primeros datos paleoambientales registrados aquí.

2 Métodos o materiales y métodos.

La aproximación a la paleoecología de la Sierra de Aitana llevada a cabo en este estudio se ha basado en el análisis pedoantracológico. Para ello se ha seguido el método propuesto por Carcaillet & Thinon (1996), posteriormente adaptado por Cunill (2010), que comprende las siguientes etapas de trabajo:

2.1 Trabajo de campo

Con el fin de obtener las muestras de suelo necesarias para su posterior tratamiento en laboratorio, se ha realizado una cata pedológica en la localidad de Benifato, en la partida de Forata, situada a 1380 m s. n. m. en la vertiente norte de la Sierra de Aitana. La localización responde a unas condiciones mesológicas adecuadas para el desarrollo de taxones forestales de interés: altitud elevada, orientación norte, existencia de una pequeña cuenca de recepción, desarrollo edáfico, ausencia histórica de aprovechamiento agrícola y presencia de especies bioindicadoras. Las coordenadas geográficas del punto de muestreo son 738.625,64 m - 4.281.755,16 m. El perfil edáfico excavado ha alcanzado una profundidad de 81 cm y ha permitido diferenciar cuatro (IV) niveles de muestreo. Para cada uno de ellos se recogieron entre 3 y 15 kg de suelo.

2.2 Análisis antracológico

Esta etapa se ha desarrollado en laboratorio, incluyendo las siguientes tareas:

- Tamizado con agua de las muestras de suelo recogidas en campo empleando tamices con paso de malla de 0,8, 2 y 5 mm.
- Triado manual del carbón, desechando la fracción mineral residual, con la ayuda de lupa binocular.
- Cálculo y análisis de antracomasa, expresando los valores resultantes en mg/kg.
- Identificación taxonómica de los carbones seleccionados mediante el empleo de un microscopio óptico de luz reflejada y de una lupa binocular. El número total de carbones identificados ha sido 70.
- Datación radiocarbónica de 3 carbones de *Taxus baccata* en el laboratorio especializado Alfred-Wegener-Institut (Bremerhaven, Alemania) y su posterior calibración con el programa Oxcal 4.4 y la base de datos IntCal20, 2 sigma (95% probabilidad).
- Interpretación de la información antracológica.

3 Resultados

La antracomasa total calculada alcanza un valor de 40,3 mg/kg. La mayor parte del carbón se concentra en el nivel más superficial (I), que reúne el 86,3 % del total (34,8 mg/kg). En contraste, el nivel III no presenta restos de carbón, mostrando una antracomasa nula (0 mg/kg).

En relación con la identificación taxonómica, se han analizado 70 fragmentos de carbón. Los resultados del análisis pedoantracológico muestran una composición coherente con la flora actual, tal y como se muestra en la tabla 1. Sin embargo, por su relevancia desde el punto de vista paleobiogeográfico, destaca la presencia de cuatro fragmentos de *Taxus baccata*. Tres de ellos han sido datados, proporcionando edades comprendidas entre 2150-1819 y 3146-2835 años cal BP.

Tabla 1. Taxones identificados en los fragmentos de carbón analizados. Fuente: elaboración propia.

Taxones	Nivel I	N. II	N. III	N. IV	Total
Juniperus sp.	1	0	0	1	2
Lamiaceae	8	2	0	1	11
Leguminosae	5	0	0	0	5
Rosaceae/maloideae	11	3	0	0	14
Taxus baccata	2	2	0	0	4
Angiosperma	19	4	0	1	24
Indeterminado	4	5	0	1	10

4 Discusión y conclusiones

Los primeros datos de un análisis pedoantracológico en la Sierra de Aitana, a la espera de nuevos resultados en proceso de identificación y datación, proyectan una primera idea fundamental: el hallazgo de carbones de tejo podría relacionarse con una distribución o densidad más amplia en el pasado que en la actualidad. La escasez de datos paleobotánicos sobre este taxon en el extremo nororiental de la Cordillera Bética, especialmente en forma de carbón, convierte este resultado en una aportación al avance de la reconstrucción paleobiogeográfica tanto de la Sierra de Aitana como de la propia especie.

La historia del *Taxus baccata* durante el Holoceno en la zona estudiada, como en otras partes de Europa, es posiblemente el resultado de la interacción de factores climáticos y humanos. Desde el Neolítico tardío en adelante, las cantidades de tejo registradas en análisis paleoambientales y arqueológicos muestran un declive progresivo (Uzquiano et al., 2015). En general, este hecho coincide con un incremento de la deforestación y el pastoreo, aunque también hay factores naturales derivados de los cambios en el clima. De esta forma, si en zonas pirenaicas su descenso se relaciona también con la propagación de *Abies* y de *Fagus* en los periodos Subboreal y Subalántico, en el ámbito Mediterráneo su decadencia coincide con el avance de los bosques esclerófilos con *Quercus ilex* (Uzquiano et al. 2015). Aunque en el Holoceno temprano y medio la abundancia del tejo era todavía elevada (Carrion et al. 2012), todavía no existen datos para contrastar esta realidad general con la de la Sierra de Aitana. Los análisis más cercanos a nuestra área de estudio que hemos podido localizar (Carrión-Marco, 2005; Carrion et al., 2012, 2022) evidencian una ausencia cuasi total de *T. baccata*. El registro bibliográfico publicado por Vidal-Matutano en 2015 sobre las evidencias paleobotánicas del tejo en la península ibérica, detalla 69 lugares con restos de polen y carbón, de los cuales los más cercanos a la Sierra de Aitana se localizan en yacimientos lejanos de Murcia (sierras de Quípar y Moratalla) o Valencia (Canal de Navarrés), destacando únicamente el registro de la Sierra de Mariola (Alicante). Este último relieve subbético, cercano a nuestra área de estudio, registra *T. baccata* en carbones procedentes de hogueras en el abrigo neandertal del Abric del Pastor (Alcoi). Su datación en el Pleistoceno superior, permite interpretar el hallazgo como resultado de un antiguo enclave refugio de la especie, antes de su expansión generalizada durante el Holoceno (Vidal-Matutano 2015). Con posterioridad no hay hallazgos registrados hasta el momento, lo que refuerza el valor de las muestras que presentamos en esta comunicación.

Para escalas temporales más recientes, otro tipo de registros históricos permiten identificar una mayor extensión de los tejos y de las tejedas. Sería el caso de la toponimia, que fosiliza e incluso registra la desaparición de estas formaciones en tiempos relativamente recientes, de pocos siglos. Topónimos medievales como *La Teixera* (s. XIV) para referirse al actual carrascal de la Font Roja, al sur de la Sierra de Mariola, es indicativo del cambio operado en pocos siglos, puesto que en el siglo XVI ya se habla directamente de *Carrascal*. En el caso de la Sierra de Aitana, se localizan algunos topónimos referidos a un ejemplar (*Fonteta del Teix*, Confrides) o a un conjunto de ejemplares (*Costera dels Teixos*, Confrides; *Font dels Teixos*, Benimantell) que identifican posibles antiguas tejedas y, en todo caso, una mayor presencia de la especie. Dos de los casos más sintomáticos son el de *Els Teixos* (Benifato, 1140-1400 msnm), donde hoy perviven ejemplares de tejo formando parte de un interesante bosquete mixto de *Acer opalus* subsp. *granatense*, *Fraxinus ornus* o *Sorbus aria*, protegidos en la microrreserva de flora de 20 ha llamada “Runar dels Teixos”. Igualmente, el topónimo *La Costera dels Teixos* está en las inmediaciones de la población de tejos del Morro de la Moleta, una de las más importantes de la provincia de Alicante aunque sin protección específica, situada a 1,7 km al norte de la cata realizadas y a una altitud ligeramente por debajo de los 1100 msnm. Nuevas catas, realizadas en 2026 en otros puntos de la Sierra de Aitana, tal vez ofrezcan resultados que permitan afinar la presencia y datación de los tejos, así como su papel predominante en el paleopaisaje vegetal de la Sierra de Aitana.



Fig. 2. Ejemplar representativo de tejo en Aitana, adosado al cantil, sobre una pedriza o *runar*. Fotografía de 2004. Elaboración propia.

5 Referencias

Andrés, J.V; Fabregat, C.; López, S.; Aparicio, J.M. ... & Zreik, C. (2007). Censos y caracterizaciones de tejedas de la Comunidad Valenciana. En L. Serra (Ed.), *El tejo en el Mediterráneo occidental* (pp. 127–136). Generalitat Valenciana

Carrion J. (coord.) (2012). *Paleoflora y Paleovegetacion de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. Ministerio de Economía y Competitividad.

Carrion J. (coord.) (2022). *Paleoflora y Paleovegetacion Ibérica. Holoceno*. Ministerio de Ciencia e Innovación – Fundación Séneca.

Carrion-Marco, Y. (2005): *La vegetación mediterránea y atlántica de la Península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas*. Servicio de Investigación Prehistórica – Diputació de València.

Carcaillet, C. & Thinon, M. (1996). Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps): methodology and preliminary results. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91, 339-416. https://doi.org/10.1016/0034-6667(95)00060-7 …

Cunill, R. (2010). *Estudi interdisciplinari de l'evolució del límit superior del bosc durant el període holocènic a la zona de Plaus de Boldís-Montarenyo, Pirineu central català* (Tesis Doctoral). Universidad Autònoma de Barcelona.

GVA (Generalitat Valenciana) (2015). *Situación y Conservación de tejos (Taxus baccata) y tejedas (habitat 9580) en la Comunitat Valenciana. Informe técnico 01/2015*. Dirección General de Medio Natural.

Kaiser, K., Theuerkauf, M., van der Maaten, E., van der Maaten-Theunissen, M. & Beil, A. (2024). Forest history from a single tree species perspective: natural occurrence, near extinction and reintroduction of European yew (*Taxus baccata* L.) on the Darss-Zingst peninsula, southern Baltic Sea coast. *Eur J Forest Res* 143, 917–942. https://doi.org/10.1007/s10342-024-01665-1

Marco, J. A. (2001). *Aitana como espacio singular*. Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Olmedo-Cobo, J. A., & Gómez-Zotano, J. (2014). El tejo en el sur de España: análisis geoecológico y propuesta de conservación de una población mediterránea en peligro crítico de extinción. *Bosque (Valdivia)*, *35*(1), 23-36. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100003

Olmedo-Cobo, J. A., & Gómez-Zotano, J. (2023): *Taxus baccata*, especie relicta y en peligro de extinción en la Cordillera Bética. El caso de las poblaciones de Dehesa del Camarate y Cerro de los Tejos (Granada, España). En P. Ramil-Rego, M.A. Rodríguez Guitian, J. Ferreiro da Costa, L. Gómez-Orellana (Eds.) *Conservación y restauración de los bosques de tejo en Europa*. (pp. 103-129) Monografías do Ibader, Serie Biodiversidade.

Vaquero, J. & Iglesias, S. (2007): Perspectiva nacional sobre la conservación del tejo. En L. Serra (Ed.), *El tejo en el Mediterráneo occidental* (pp. 13-24). Generalitat Valenciana.

Vencurik, J., Bosela, M., Sedmáková, D., Pittner, J., Kucbel, S., Jaloviar, P., ... & Saniga, M. (2019). Tree species diversity facilitates conservation efforts of European yew. *Biodiversity and conservation*, 28(4), 791-810. https://doi.org/10.1007/s10531-018-01692-6

Vidal-Matutano, P. (2015). Evidència de recol·lecció de teix (*Taxus baccata* L.) pels grups neandertals de l'Abric del Pastor (Alcoi, Alacant). *Recerques del Museu d'Alcoi*, 24, 7-19.

Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornel, L., Piqué, R., & Zapata, L. (2015). All about yew: on the trail of *Taxus baccata* in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. *Vegetation History and Archaeobotany*, *24*(1), 229-247. https://doi.org/10.1007/s00334-014-0475-x

6 Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado en el marco del proyecto de investigación PALEOPINSAPO II (PID2022-141592NB-100) financiado por el MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por "FEDER/UE".

Where to sample next? Using phylogenetic predictions and environmental bias to guide biodiversity surveys in Brazilian snakes

Braga, Luiz D.[1], Ronquillo, Cristina[2], Hortal, Joaquín[2] y Guedes, Thaís B.[3]

[1] Department of Animal Biology, Institute of Biology, State University of Campinas, Campinas, São Paulo, Brazil
[2] Department of Biogeography and Global Change, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, Spain
[3] Department of Biodiversity, Institute of BioSciences, State University of São Paulo, Rio Claro, São Paulo, Brazil
luizbraga.bio@gmail.com

Abstract. Phylogenetic diversity (PD) quantifies the evolutionary history contained in biological assemblages and is a key dimension of biodiversity conservation. However, broad-scale PD assessments are often constrained by uneven spatial sampling and uncertainty in phylogenetic relationships, especially in megadiverse countries such as Brazil. One of the world's highest snake diversities is found in Brazil, yet this group remains unevenly sampled across large portions of the country, and phylogenetic uncertainty persists for many taxa, limiting robust assessments of evolutionary diversity and conservation priorities. Here, we developed a spatial framework to identify areas where new surveys are most likely to maximize gains in phylogenetic and environmental knowledge. Using more than 115,000 snake occurrence records, we estimated sampling completeness across Brazil and found that only 133 areas (~4% of territory) could be considered well surveyed, with most concentrated in southern and southeastern Brazil. We then modeled residual PD, representing phylogenetic diversity independent of species richness, as a function of climatic, landscape, and spatial predictors. We also used environmental and geographic distances from well-surveyed cells to identify underrepresented regions. Residual PD was higher in northern and western Amazonia, parts of the Cerrado, and the northeastern Atlantic Forest. Although some overlap between sampling gaps and high evolutionary potential occurred in western Amazonia, some environmentally undersampled areas did not coincide with regions of high residual PD. When we combined these dimensions, maximum- and high-priority areas were concentrated in western and northern Amazonia and in northern Atlantic Forest remnants, whereas medium-priority areas extended across the eastern Amazon and northern Cerrado. Our results show that regions with high evolutionary potential do not always coincide with the most environmentally neglected areas. By integrating evolutionary perspectives and under-sampled areas, this framework provides a practical, ecologically and phylogenetically informed basis to guide future inventories in a way that benefits biodiversity discovery, macroecological inferences, and conservation plans.

Keywords: Biodiversity Shortfalls, Conservation Biogeography, Macroecology, Survey Priorities

Resumen. La diversidad filogenética (PD) cuantifica la historia evolutiva contenida en los conjuntos biológicos y constituye una dimensión clave de la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, las evaluaciones de PD a gran escala suelen estar limitadas por un muestreo desigual, así como por la incertidumbre asociada a las relaciones filogenéticas, especialmente en países megadiversos como Brasil. En concreto, alberga una de las mayores diversidades de serpientes del mundo, pero su muestreo está sesgado a ciertas regiones del país, lo que limita evaluaciones robustas de la diversidad evolutiva y sus prioridades de conservación. Desarrollamos una estrategia para identificar áreas donde realizar nuevos muestreos que puedan maximizar los avances en el conocimiento filogenético y ambiental. Utilizando más de 115.000 registros de presencia, estimamos la completitud de inventarios en Brasil y encontramos que solo 133 celdas (~4% del territorio) pueden considerarse bien muestreadas, concentradas principalmente en el sur y sureste. Luego, modelamos la PD residual, que representa la diversidad filogenética independiente de la riqueza de especies, en función de predictores climáticos, del paisaje y espaciales. También utilizamos las distancias ambientales y geográficas respecto a las celdas bien muestreadas para identificar las regiones menos representadas. La PD residual fue mayor en la Amazonía septentrional y occidental, partes del Cerrado y el noreste de la Mata Atlántica. Aunque hubo cierta superposición entre lagunas de muestreo y alto potencial evolutivo en la Amazonía occidental, algunas áreas ambientalmente submuestreadas no coincidieron con regiones de alta PD residual. Al combinar estas dimensiones, las áreas de máxima prioridad se concentraron en la Amazonía occidental y septentrional y en la Mata Atlántica del noreste, mientras que las áreas de prioridad media se extendieron por la Amazonía oriental y el Cerrado septentrional. Nuestros resultados muestran que las regiones con mayor potencial evolutivo no siempre coinciden con las áreas más ignoradas ambientalmente. Nuestro trabajo ofrece una base práctica para orientar inventarios futuros y fortalecer el descubrimiento de biodiversidad, las inferencias macroecológicas y la planificación de la conservación al integrar tanto aspectos evolutivos como las áreas menos muestreadas.

Palabras clave: Lagunas de Conocimiento en Biodiversidad, Biogeografía de la conservación, Macroecología, Priorización de muestreo.

Resumo. A diversidade filogenética (PD) quantifica a história evolutiva contida em agrupamentos biológicos e constitui uma dimensão fundamental da conservação da biodiversidade. No entanto, avaliações de PD em grande escala frequentemente enfrentam limitações devido à amostragem espacial desigual e incertezas nas relações filogenéticas, especialmente em países megadiversos como o Brasil. Uma das maiores diversidades de serpentes do mundo é encontrada no Brasil, porém, as amostragens desse grupo permanecem enviesadas em grandes regiões do país, e a incerteza filogenética persiste para muitos táxons, limitando avaliações robustas da diversidade evolutiva e prioridades de conservação. Aqui, desenvolvemos uma estrutura espacial para identificar áreas onde novas pesquisas podem maximizar os avanços no conhecimento filogenético e ambiental. Com mais de 115.000 registros de ocorrência de serpentes, estimamos a completude das amostragens no Brasil e constatamos que apenas 133 áreas (~4% do território) podem ser consideradas bem amostradas, concentrando-se principalmente no Sul e Sudeste do país. Em seguida, modelamos a PD residual, que representa a diversidade filogenética independente da riqueza de espécies, em função de preditores climáticos, de paisagem e espaciais. Utilizamos também distâncias ambientais e geográficas das células bem amostradas para identificar regiões sub-representadas. A PD residual foi maior na Amazônia setentrional e ocidental, em partes do Cerrado e no nordeste da Mata Atlântica. Embora tenha havido certa sobreposição entre lacunas de amostragem e alto potencial evolutivo na Amazônia ocidental, algumas áreas ambientalmente subamostradas não coincidiram com regiões de alta PD residual. Ao combinar essas dimensões, as áreas de máxima e alta prioridade concentraram-se na Amazônia ocidental e setentrional e em remanescentes da Mata Atlântica do norte, enquanto áreas de prioridade média se estenderam pela Amazônia oriental e pelo Cerrado setentrional. Nossos resultados mostram que regiões com alto potencial evolutivo nem sempre coincidem com as áreas mais negligenciadas ambientalmente. Ao integrar perspectivas evolutivas e de áreas carentes de amostragem, essa estrutura fornece uma base prática, ecologicamente e filogeneticamente informada, para direcionar inventários futuros de forma a beneficiar a descoberta da biodiversidade, inferências macroecológicas e planos de conservação.

Palavras-chave: Déficits na Biodiversidade, Biogeografia da Conservação, Macrocologia, Prioridade de amostragem.

1 Introduction

Phylogenetic diversity (PD) represents the amount of evolutionary history contained within biological communities and has become an important dimension of biodiversity conservation. By incorporating phylogenetic relationships, PD provides information on lineage diversification and evolutionary distinctiveness that complements species richness. However, spatial patterns of PD are strongly affected by biodiversity knowledge shortfalls, particularly uneven sampling of species occurrences, the Wallacean shortfall, and uncertainty in phylogenetic relationships, known as the Darwinian shortfall (Diniz-Filho et al., 2013; Hortal et al., 2015). These limitations are especially critical in megadiverse and environmentally heterogeneous regions such as Brazil.

Brazil harbors the third-highest reptile diversity worldwide, with snakes accounting for more than half of this richness (Guedes et al., 2023). Despite their ecological relevance, Brazilian snakes remain unevenly sampled across large portions of the country, and phylogenetic uncertainty persists for many taxa, limiting robust assessments of evolutionary diversity and conservation priorities.

Thus, our goal was to provide a spatially explicit framework to guide biodiversity surveys in Brazil by integrating predicted evolutionary diversity with current sampling deficiencies.

2 Methods

We used 115,203 snake occurrence records across Brazil, on a regular 0.5° grid (~55 km), to assess priority areas based on phylogenetic diversity (PD) expectations and environmentally neglected areas. Records were taxonomically standardized and filtered for duplicates, coordinate errors, and uncertain identifications.

Using sample-based species accumulation curves, we estimated inventory completeness for each cell as the proportion between observed and predicted richness. We defined as well-surveyed sites those with completeness > 75%, slope < 0.05, and at least 50 occurrence records. Then we use well-surveyed cells as reference areas to calibrate predictive models and identify neglected areas.

We used 1,000 alternative phylogenetic trees for the Brazilian snakes, generated from 100 backbone topologies from the most recent Squamata phylogeny (Title et al., 2024), each combined with 10 random imputations for taxa lacking resolved phylogenetic data using the most derived consensus clade method. For each assemblage (i.e., pool of species in a grid cell), we calculated the mean Faith's PD and species richness (SR). Residual PD was obtained from a regression of PD on SR, representing phylogenetic diversity independent of richness. We retained mean residual PD values across all trees for subsequent analyses.

We used climatic (CHELSA bioclimatic layers) and landscape (topography, soils, land cover, fragmentation, and land-use change metrics) variables as predictors of PD. Climatic and landscape variables were summarized separately using Principal Component Analysis (PCA), retaining the first two axes. Using Generalized Additive Models, we modeled the residual PD as a function of climatic and landscape PCAs, and a spatial smooth term based on longitude and latitude. We used only well-surveyed cells for model calibration. Models were fitted with Restricted Maximum Likelihood (REML) and weighted by sampling completeness so that better-sampled cells contributed more strongly

to model fitting. Then, we projected the predictions to all environmentally valid grid cells across Brazil.

Finally, we identified priority areas for future surveys by combining: (i) environmental distance from well-surveyed cells (Mahalanobis distance in climatic and landscape PCAs space), (ii) geographic distance to nearest well-surveyed cells, and (iii) predicted residual PD. Because environmental and geographic distances were moderately correlated and captured complementary dimensions of survey bias, we combined them with reduced joint contribution, while the expected residual PD received the same weight as the combined distances in the final index. The resulting continuous score was then classified by quantiles into four priority levels: low, medium, high, and maximum.

3 Results

We calculated inventory completeness for 1,197 of the 3,210 available cells, and only 133 (~4% of the total area) met our criteria to be classified as well-surveyed. Most of these well-surveyed cells are located in the southeastern and southern regions of Brazil, where more financial resources are focused (Fig. 1).

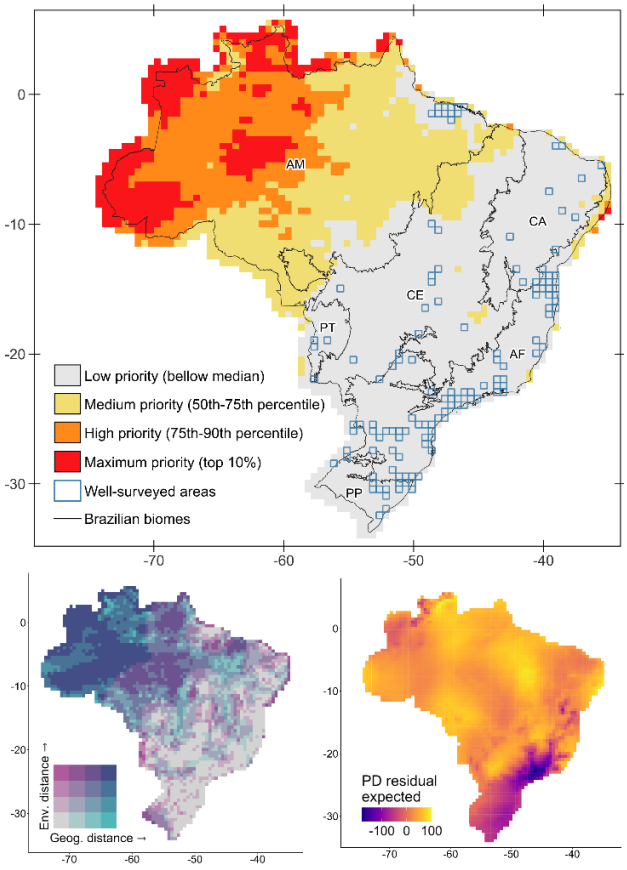


Fig. 1. Priority areas for Brazilian snake surveys to maximize both phylogenetic diversity and environmental niche knowledge. The top graph shows the categorized priority areas and well-surveyed areas locations. The abbreviations represent Brazilian biomes: AF = Atlantic Forest, AM = Amazonia, CA = Caatinga, CE = Cerrado, PP = Pampa, PT = Pantanal. The bottom graphs show environmental and geographic distances from well-surveyed sites (left) and the modeled expected phylogenetic diversity beyond richness (right).

Amazonia, especially western Amazonia, is the most neglected region, as it is the most geographically and environmentally distant from well-surveyed areas (Fig. 1). Some environmentally distant areas appear in the Northeast region, including the Caatinga and Atlantic Forest, in a few Cerrado areas, and in the extreme south of Brazil. On the other hand, our PD predictions suggest that higher PD is expected mainly in the Cerrado, the northern, western, and southern Amazon, the northeastern Atlantic Forest, and transitional areas between the Cerrado and Atlantic Forest (Fig. 1).

Thus, our highest priority areas are focused on the Amazon region, especially the occidental part, and the northern part of the Atlantic Forest. Medium-priority areas are also located in the Amazon, the northern Atlantic Forest, and some isolated regions in the southeastern and northern Cerrado, where environmental and geographic distances are lower, but the expected PD is higher (Fig. 1).

4 Discussion

Our study highlights both the need for strategic planning for future studies and the challenge of integrating different components of biodiversity in future survey planning. While some of our modeled highest residual PD overlap with environmentally neglected areas, such as the northern and western Amazonia and the northern Atlantic Forest, most of them do not coincide spatially. This mismatch indicates that maximizing gains in phylogenetic knowledge does not necessarily correspond to maximizing environmental representativeness. However, regions such as northern and western Amazonia and the northern Atlantic Forest emerged as promising targets where future surveys could simultaneously improve phylogenetic knowledge and environmental coverage.

The fact that sampling efforts are spatially biased towards more accessible and historically studied areas may influence our model predictions. Because environmental conditions well represented in sampled areas are more effectively learned by the model, whereas poorly sampled climates and landscapes may be associated with higher uncertainty, the model may not recognize areas with underrepresented environmental conditions as having high predicted residual PD. Nevertheless, the regions where we recovered high residual PD predictions are biologically consistent. For instance, the northern Amazonia, especially around Mount Roraima, is consistent with the role of ancient highland systems as centers of persistence, isolation, and lineage diversification, as well as the Espinhaço Mountain Range, in the southeastern Cerrado region (Antonelli et al., 2018). The northern Cerrado coincides with the Tocantins-Araguaia River basin, recognized as an important center of fish endemism, and also comprises transitional areas between Cerrado and

Amazonia. Particularly, the southwestern Amazonia, in Acre state and surroundings, could be related to the combined influence of Andean-driven diversification, historical climatic stability, and environmental heterogeneity (Antonelli et al., 2018; Silva et al., 2019). Finally, transitional zones of Cerrado-Amazonia, Cerrado-Atlantic Forest, and Caatinga-Atlantic Forest also reflect an expected pattern, as they may harbor lineages from distinct biogeographic origins (Silva-Pereira et al., 2020). All these regions have biological and biogeographical factors that favor a higher evolutionary history and a unique pool of lineages through isolation, mixing of distinct processes, or environmental stability.

Priority areas identified here are especially relevant because future surveys in these regions would not only fill taxonomic and phylogenetic knowledge gaps but also improve the environmental representativeness of biodiversity datasets. Since some predictive models rely heavily on the range of climatic and landscape conditions represented in data, inventories in environmentally neglected regions can substantially increase model reliability and transferability.

5 Conclusions

Our framework demonstrates that conservation-oriented survey planning should move beyond species counts alone and explicitly incorporate evolutionary and environmental dimensions of biodiversity. Integrative prioritization offers a more efficient pathway to reduce major biodiversity shortfalls, such as the Wallacean, Darwinian, and Hutchinsonian (i.e., lack of knowledge of species' geographic distributions, evolutionary histories, and environmental niches, respectively). We reveal a clear need for sampling in Amazonia, especially in the western and northern regions, as well as in the northern Atlantic Forest, where a higher PD beyond richness only is expected, and the sampling effort is scarce. Despite the limitations of spatial bias, our priority areas indicate regions that contribute to the reliability of models based on environmental variables and also enhance the biodiversity representativeness. Thus, strategically allocating sampling effort can generate compounded benefits for both biodiversity discovery and macroecological inference.

Research in Biodiversity and Climate Change (CBioClima), funded by São Paulo Research Foundation (FAPESP, CPID #2021/10639-5). This work was developed in the context of the contribution of JH to the National Institute for Science and Technology in Ecology, Evolution and Biodiversity Conservation (INCT EECBio, ciclo II), supported by MCTI/CNPq/SECTICS/MS/CAPES/FAPs Nº 46/2024.

6 References

Antonelli, A., Kissling, W. D., Flantua, S. G. A., Bermúdez, M. A., Mulch, A., Muellner-Riehl, A. N., Kreft, H., Linder, H. P., Badgley, C., Fjeldså, J., Fritz, S. A., Rahbek, C., Herman, F., Hooghiemstra, H., & Hoorn, C. (2018). Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geoscience*, *11*(10), 718–725. https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z

Diniz-Filho, J. A. F., Loyola, R. D., Raia, P., Mooers, A. O., & Bini, L. M. (2013). Darwinian shortfalls in biodiversity conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, *28*(12), 689–695. https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.09.003

Guedes, T. B., Entiauspe-Neto, O. M., & Costa, H. C. (2023). Lista de répteis do Brasil: Atualização de 2022. *Herpetologia Brasileira*, *12*(1). https://doi.org/10.5281/zenodo.7829013

Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J. A. F., Lewinsohn, T. M., Lobo, J. M., & Ladle, R. J. (2015). Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *46*, 523–549. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400

Silva, S. M., Peterson, A. T., Carneiro, L., Burlamaqui, T. C. T., Ribas, C. C., Sousa-Neves, T., Miranda, L. S., Fernandes, A. M., d'Horta, F. M., Araújo-Silva, L. E., Batista, R., Bandeira, C. H. M. M., Dantas, S. M., Ferreira, M., Martins, D. M., Oliveira, J., Rocha, T. C., Sardelli, C. H., Thom, G., … Aleixo, A. (2019). A dynamic continental moisture gradient drove Amazonian bird diversification. *Science Advances*, *5*(7), eaat5752. https://doi.org/10.1126/sciadv.aat5752

Silva-Pereira, I., Meira-Neto, J. A. A., Rezende, V. L., & Eisenlohr, P. V. (2020). Biogeographic transitions as a source of high biological diversity: Phylogenetic lessons from a comprehensive ecotone of South America. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *44*, 125528. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ppees.2020.125528

Title, P. O., Singhal, S., Grundler, M. C., Costa, G. C., Pyron, R. A., Colston, T. J., Grundler, M. R., Prates, I., Stepanova, N., Jones, M. E. H., Cavalcanti, L. B. Q., Colli, G. R., Di-Poï, N., Donnellan, S. C., Moritz, C., Mesquita, D. O., Pianka, E. R., Smith, S. A., Vitt, L. J., & Rabosky, D. L. (2024). The macroevolutionary singularity of snakes. *Science*, *383*(6685), 918–923. https://doi.org/10.1126/science.adh2449

7 Acknowledgments

LDB thanks to São Paulo Research Foundation (FAPESP, #2024/00126-9 and #2024/17665-0) for the master's degree scholarships. TBG was supported by Young Researcher grant by São Paulo Research Foundation (FAPESP, #2022/09428-2). This paper is part of the projects "Evolution and biogeography of the herpetofauna: patterns, process and implications for conservation in scenario of environmental and climate changes" funded by São Paulo Research Foundation (FAPESP; #2021/07161-6), and Project NICED, funded by Spanish MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 / FEDER, EU (grant PID2022-140985NB-C21), which supports CR and JH's work on measuring gaps in the knowledge on the distribution of biodiversity. This study was also supported by the Center for

Flora autóctona de las unidades neógenas orientales de la Depresión del Tajo (España). Muestreo y análisis básico

García-Abad Alonso, Juan-Javier

Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente / Grupo de investigación Tecnologías de Información Geográfica y Análisis Territorial / Universidad de Alcalá, C/ Colegios, 2, 28801, Alcalá de Henares, España
yjjgaa@hotmail.com

Resumen. Este trabajo analiza la flora autóctona de la región natural de las unidades neógenas orientales de la Depresión del Tajo (UNODETAJO), un territorio de aproximadamente 11.600 km² situado en el centro de la península Ibérica (provincias de Cuenca, Guadalajara, Madrid y Toledo) caracterizado por una relativa homogeneidad geográfica, sustratos mayoritariamente carbonáticos y bioclimas meso y supramediterráneo. A partir de un muestreo aleatorio estratificado realizado entre 2008 y 2024, se efectuó un análisis de los espectros taxonómico, biotípico y de afinidad biogeográfica de las plantas vasculares autóctonas detectadas en el territorio. Los resultados del muestreo sistemático de cinco campañas arrojaron una cifra de 1.409 plantas, excluyendo las acuáticas estrictas. Taxonómicamente, la flora está dominada por las familias *Compositae* con 196 taxones, *Gramineae* con 152 y *Leguminosae* con 114. El espectro biológico revela un claro predominio de las formas herbáceas, que suponen el 78,8% del total, lideradas por los terófitos con un 34,9% y seguidas por los hemicriptófitos con un 28,8%, mientras que los elementos lignificados representan el 21,2% de la flora. Desde una perspectiva biogeográfica, las plantas de distribución mediterránea en sentido amplio constituyen el grupo mayoritario con un 54,1%, seguidas por las distribuciones de afinidad europea y eurosiberiana que alcanzan el 21,3%. Los endemismos ibérico-baleares suponen el 11,4% de la flora total, de los cuales solo una pequeña fracción se restringe exclusivamente al centro peninsular. Los espectros mantienen un orden decreciente de los tipos y porcentajes muy similares a los establecidos para la subregión de La Alcarria occidental y Mesa de Ocaña, analizada en trabajos anteriores y que supone un subconjunto de aproximadamente la mitad de la región aquí tratada, lo que confirma la representatividad de los métodos de muestreo en base a la cierta homogeneidad geográfica antes aludida. En general, se detecta un sesgo de afinidad con elementos florísticos propios del este y sur peninsular, así como del mediterráneo suroccidental. Solo una comparación generalista es posible con los espectros de los catálogos florísticos de las provincias de Cuenca y Guadalajara.

Palabras clave: Muestreo florístico, plantas autóctonas, biotipos, biogeografía, Depresión del Tajo.

Resumo. Este trabalho analisa a flora autóctone da região natural das Unidades Neógenas Orientais da Depressão do Tejo (UNODETAJO), um território de aproximadamente 11.600 km² situado no centro da Península Ibérica (provincias de Cuenca, Guadalajara, Madrid e Toledo), caracterizado por uma relativa homogeneidade geográfica, substratos maioritariamente carbonatados e bioclimas meso e supramediterrânico. A partir de uma amostragem aleatória estratificada realizada entre 2008 e 2024, efetuou-se uma análise dos espetros taxonómico, biotípico e de afinidade biogeográfica das plantas vasculares autóctonas detetadas no território. Os resultados da amostragem sistemática de cinco campanhas totalizaram 1.409 plantas, excluindo as aquáticas estritas. Taxonomicamente, a flora é dominada pelas famílias *Compositae* (196 táxones), *Gramineae* (152) e *Leguminosae* (114). O espetro biológico revela um claro predomínio das formas herbáceas, que representam 78,8% do total, lideradas pelos terófitos (34,9%) e seguidas pelos hemicriptófitos (28,8%), enquanto os elementos lenhosos constituem 21,2% da flora. Sob uma perspetiva biogeográfica, as plantas de distribuição mediterrânica lato sensu constituem o grupo maioritário (54,1%), seguidas pelas distribuições de afinidade europeia e eurosiberiana (21,3%). Os endemismos ibérico-baleares representam 11,4% da flora total, dos quais apenas uma pequena fração se restringe exclusivamente ao centro peninsular. Os espetros mantêm uma ordem decrescente de tipos e percentagens muito semelhantes aos estabelecidos para a sub-região de La Alcarria occidental e Mesa de Ocaña, analisada em trabalhos anteriores e que constitui um subconjunto de aproximadamente metade da região aqui tratada; tal facto confirma a representatividade dos métodos de amostragem fundamentada na referida homogeneidade geográfica. Em termos gerais, deteta-se um viés de afinidade com elementos florísticos próprios do leste e sul peninsular, bem como do Mediterrâneo ocidental. Apenas uma comparação generalista é possivel com os espectros dos catálogos florísticos das provincias de Cuenca e Guadajara.

Palavras-chave: Amostragem florística, plantas autóctonas, biótipos, biogeografia, Depressão do Tejo.

Abstract. This study analyzes the native flora of the natural region of the Eastern Neogene Units of the Tagus Basin (UNODETAJO), a territory of approximately 11,600 km² located in the center of the Iberian Peninsula (provinces of Cuenca, Guadalajara, Madrid and Toledo). The area is characterized by relative geographical homogeneity, predominantly carbonate substrates, and meso and supramediterranean bioclimatological profiles. Based on stratified random

sampling conducted between 2008 and 2024, an analysis was performed on the taxonomic, biotypic, and biogeographical affinity spectra of the native vascular plants detected within the territory. Results from the systematic sampling of five field campaigns yielded a total of 1,409 plants, excluding strict aquatics. Taxonomically, the flora is dominated by the families *Compositae* (196 taxa), *Gramineae* (152), and *Leguminosae* (114). The biological spectrum reveals a clear predominance of herbaceous forms, accounting for 78.8% of the total, led by therophytes (34.9%) and followed by hemicryptophytes (28.8%), while woody elements represent 21.2% of the flora. From a biogeographical perspective, plants with a Mediterranean distribution *lato sensu* constitute the majority group (54.1%), followed by those with European and Eurosiberian affinities (21.3%). Iberian-Balearic endemics account for 11.4% of the total flora, of which only a small fraction is restricted exclusively to the central peninsula. The spectra maintain a decreasing order of types and percentages very similar to those established for the sub-region of La Alcarria occidental and Mesa de Ocaña—analyzed in previous studies and representing a subset of approximately half the region treated here—which confirms the representativeness of the sampling methods based on the aforementioned geographical homogeneity. In general, a bias of affinity is detected towards floristic elements typical of the eastern and southern peninsula, as well as the southwestern Mediterranean. Only a general comparison is possible with the spectra of the floristic checklists of the provinces of Cuenca and Guadalajara.

Keywords: Floristic sampling, native plants, biotypes, biogeography, Tagus Basin.

1 Introducción

Entre 2002 y 2024, el autor llevó a cabo exhaustivos trabajos corológicos de plantas vasculares en la región natural de las Unidades Neógenas Orientales de la Depresión del Tajo (UNODETAJO, García-Abad et al., 2018). Este territorio, situado en el centro de la península Ibérica, abarca una extensión superior a los 11.600 km² y comprende 162 cuadrículas UTM de 10×10 km. A diferencia de los estudios basados en límites administrativos convencionales (provinciales, etc.), que suelen integrar rasgos físicos heterogéneos, este ámbito se define mediante criterios geológicos y geomorfológicos, lo que le confiere cierta homogeneidad geográfica.

El área se caracteriza por ser un espacio mesetario de altitudes medias o medio-altas, no montañosa, que se extiende por las provincias de Cuenca, Guadalajara, Madrid y Toledo. Su clima es mediterráneo con matices continentales, influido por un grado de latitud de amplitud y desniveles topográficos de hasta 700 metros. Bioclimáticamente, predomina el piso mesomediterráneo, aunque con una representación significativa del sector supramediterráneo. Dominan los sustratos carbonáticos, acompañados de arcillas y yesos, frente a una presencia minoritaria de suelos neutro-ácidos.

El paisaje, compuesto por altiplanicies, valles, campiñas, llanuras y algunas depresiones, muestra pautas repetitivas que se ven alteradas por el factor humano. Existe un fuerte contraste demográfico entre el sector oriental del área metropolitana de Madrid, con una altísima densidad de población e infraestructuras, y zonas integradas en la denominada "España vaciada". Esta dualidad genera una alternancia marcada entre entornos intensamente artificializados, sobre todo en las últimas décadas, y espacios naturales que conservan un bajo nivel de alteración.

Dada la amplitud y relativa homogeneidad del territorio, el análisis de su flora resulta de especial interés, ya que permite observar pautas de distribución y riqueza de forma gradual, sin los saltos abruptos de otros entornos. Para mejorar el conocimiento geográfico-florístico de la zona, el autor desarrolló una estrategia para subproyectos locales y otra paralela variante para un proyecto regional. Este último se llevó a cabo entre octubre de 2008 y junio de 2024. Como resultado, en septiembre de 2025 se publicó el Atlas de distribución de plantas vasculares de UNODETAJO, disponible como dataset en el repositorio e-cienciaDatos del Consorcio Madroño (García-Abad, 2025). La presente comunicación expone los resultados del análisis de los espectros taxonómico, biotípico y de afinidad biogeográfica de su flora autóctona.

2 Materiales y métodos

Para profundizar sobre precisiones del área de estudio, las fuentes y el protocolo metodológico, se remite al documento del fichero "Texto_Guia_Alfabetico_Notas_Version_1" (García-Abad, 2025). El método consistió en un muestreo aleatorio estratificado, inventariando hasta cinco cuadrículas UTM de 1×1 km por cada cuadrado de 100 km². Se aseguró que al menos una cuadrícula perteneciera a cada uno de los cuatro cuadrantes de 5×5 km, logrando una prospección equilibrada.

No se inventariaron las plantas acuáticas estrictas debido al especial esfuerzo que requiere su prospección sistemática en un territorio tan vasto. Para mitigar los obstáculos fenológicos en el avistamiento e identificación, se aplicó un calendario de visitas distribuido en cinco campañas. Este diseño metodológico garantiza una detección regular y homogénea en el espacio y el tiempo, facilitando la comparación de la riqueza relativa y las tendencias de distribución entre los distintos sectores geográficos y cuadrados UTM de 10×10 km.

La nomenclatura taxonómica se basa en la obra de Castroviejo (1986-2021). Para el análisis de los espectros florísticos, se adoptó la tipificación y el procedimiento empleados previamente en la Alcarria occidental y Mesa de Ocaña (AM), subregión que representa aproximadamente la mitad de la extensión total de UNODETAJO (García-Abad, 2009, 2011, 2013).

3 Resultados

En el documento referido (García-Abad, 2025) se expusieron los primeros resultados básicos del muestreo, detallando campañas, cuadrículas de 1×1 km, su distribución temporal, riqueza y primeras explicaciones fitogeográficas factoriales.

3.1 Riqueza detectada

La cifra exacta de plantas (taxones hasta el rango de variedad e híbridos) en esta región no está precisada del todo. La recopilación documental desde el S. XIX sugiere unas 2.200 plantas (1.900 autóctonas), incluyendo acuáticas, aunque este listado requiere ser depurado por existir citas dudosas.

En el conjunto del proyecto regional (con ligeras ampliaciones a las cinco campañas) y subproyectos locales, en trabajos de campo propios se han detectado ya 1.715 plantas (1.466 autóctonas), sin incluir las acuáticas.

Centrándonos en el muestreo de las cinco campañas estrictas de esta comunicación -tras el inicio de la Versión 2 del repositorio y excluida tras revisión *Cynara humilis* de la Versión 1-, la cifra detectada es de 1.642 plantas. De estas, 1.409 son autóctonas: 1.345 hasta el rango de especie, 1.386 de subespecie, 1.391 de variedad; a las que se suman 13 híbridos y otras 5 entidades). Cabe destacar que, pese a ser autóctonas, se registró que 21 plantas se cultivaron (restauración, revegetación, etc.), de las cuales 8 presentaron a su vez ejemplares asilvestrados.

3.2 Análisis taxonómico

La Fig. 1 muestra la adscripción de esas plantas por las familias más numerosas del total de 87 detectadas.

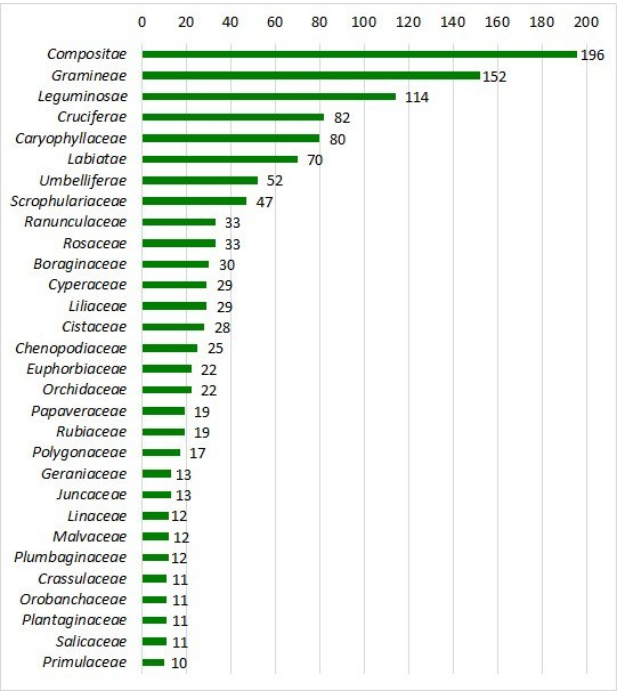


Fig. 1. Familias con 10 o más plantas. Fuente: Trabajo de campo del autor.

El espectro es idéntico al orden decreciente ya determinado en AM en las ocho primeras familias (García-Abad, 2009, pp. 137 y 139): las compuestas dominan claramente (13,9%), seguidas por gramíneas (10,8%), leguminosas (8,1%), crucíferas (5,8%), cariofiláceas (5,7%), labiadas (5,0%), umbelíferas (3,7%), escrofulariáceas (3,3%).

3.3 Espectro biotípico

La Fig. 2 tipifica las principales formas vitales de Raunkiaer y muestra el espectro biológico fundamental de la región.

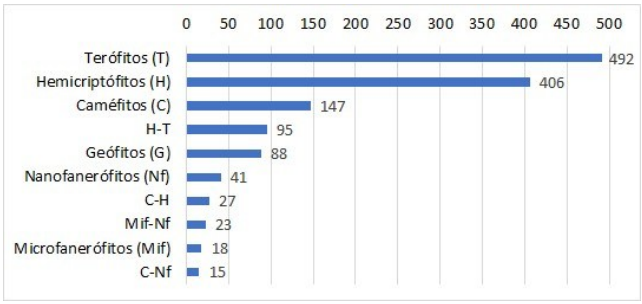


Fig. 2. Biotipos con 10 o más plantas. Las categorías con abreviaturas separadas por guion son transicionales o intermedias entre las canónicas. Fuente: Trabajo de campo del autor.

Las hierbas, sin tener en cuenta su mayor o menor dureza, consistencia o rigidez, dominan ampliamente el espectro (78,8%); lideradas por los terófitos estrictos (34,9%), lo que supone que más de un tercio sean anuales estrictas, seguidos por hemicriptófitos estrictos (28,8%), situaciones intermedias entre ambas (6,7%), geófitos (6,2%) y resto (2,1%).

Árboles, arbustos y otros elementos lignificados (aunque sea levemente o en su base) suponen poco más de la quinta parte (21,2%). Dominan los caméfitos (10,4%), seguido por nanofanerófitos (2,9%). Los agregados de arbustos altos, arbolillos y árboles de talla media-baja suponen el 3%, los de árboles de talla media a alta el 1,1% y del resto (3,8%).

3.4 Afinidades biogeográficas

La Fig. 3 muestra los tipos de distribución geográfica. Atendiendo a un orden de mayor estenoicidad a mayor eurioicidad, se observa que los endemismos ibérico-baleares suponen el 11,4% de la flora. De ellos, solo una cantidad reducida se circunscribe al centro peninsular (2,3%).

El agregado de plantas con distribución mediterránea (estricta a amplia) domina claramente el espectro biogeográfico de la región (54,1%). Las plantas estenomediterráneas de diversa índole suponen ya el 29,4%, seguidas muy de cerca por las eurimediterráneas (23,8%).

Las distribuciones europeo/eurieuropeo/perieuropeas suponen el 21,3%, de las que solo el 5,4% son estrictamente eurosiberianas. Y, por último, las distribuciones ampliamente supraeuropeas representan el 11,9%.

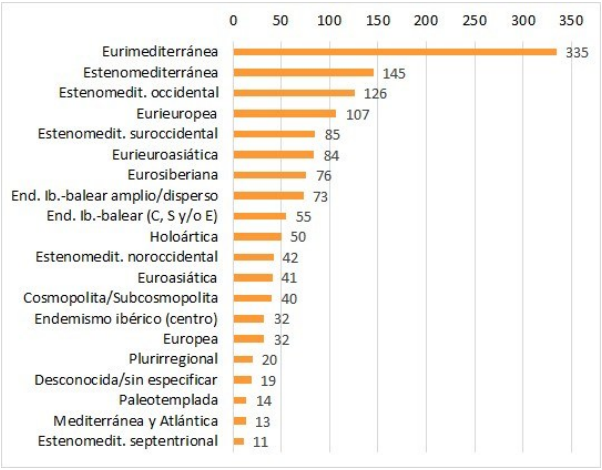


Fig. 3. Distribuciones geográficas con 10 o más plantas. Fuente: Trabajo de campo del autor.

4 Discusión

Los resultados muestran una sorprendente similitud en los espectros taxonómicos entre la subregión AM y el conjunto de UNODETAJO. En ambos casos, las familias dominantes superan el 50% de la flora total (54,7% y 56,3%, respectivamente). El espectro biotípico presenta también valores y órdenes casi idénticos, cuando se contabilizan los porcentajes con el mismo procedimiento de García-Abad (2011, p. 113, n. 6), lo que confirma la alta representatividad y eficacia de los métodos de muestreo aplicados en ambos casos.
Biogeográficamente, UNODETAJO muestra una clara afinidad con elementos del este y sur peninsular, así como del mediterráneo suroccidental (península y Magreb). Al comparar estos datos con los catálogos provinciales de Cuenca y Guadalajara (García et al., 2024; Mateo et al., 2025), se observan diferencias derivadas de la delimitación natural frente a la administrativa de los territorios involucrados. Teniendo en cuenta, además, que las categorías empleadas son diversas en cada caso (rangos taxonómicos, acuáticas, autoctonía/aloctonía), el orden de familias dominantes coincide solo en las tres primeras: compuestas, gramíneas y leguminosas presentan porcentajes algo mayores que en las provincias, pero bastante menor el de rosáceas. En las provincias es mayor la proporción de hemicriptófitos y geófitos, pero menor el de terófitos. Y, por último, la afinidad mediterránea es bastante mayor en UNODETAJO y solo ligeramente en endemismos, y una menor presencia de elementos ampliamente supraeuropeos.

5 Conclusiones

Aunque diecisiete años de muestreo por una persona no cubren la realidad florística documentada durante siglo y medio, las cinco campañas ofrecen una elevada representatividad de su estructura. La homogeneidad en el esfuerzo y el control fenológico garantizan resultados equilibrados en el espacio y en el tiempo. Otra contrapartida positiva es que permite hacer comparaciones y proyecciones al reflejar fielmente la situación de la flora en un periodo histórico breve pero bien acotado.

6 Referencias

Castroviejo, S. (coord. gen.) (1986-2021). *Flora iberica 1-21*. Real Jardín Botánico. CSIC.

García, Ó, Mateo, G., & Martínez, J.M. (2024). *Catálogo florístico de la provincia de Cuenca*. Jolube Consultor Botánico y Editor.

García-Abad, J.J. (2009). Geografía de las plantas en La Alcarria occidental y Mesa de Ocaña (I). Análisis florístico en cinco localidades representativas. *Anales de Geografía de la Complutense*, 29(2), 127-153. https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC0909220127A

García-Abad, J.J. (2011). Geografía de las plantas en La Alcarria occidental y Mesa de Ocaña (II). Análisis fitoecológico y biotípico de la flora autóctona en cinco localidades representativas. *Anales de Geografía de la Complutense*, 31(2), 127-153.https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/37020

García-Abad, J.J. (2013). Geografía de las plantas en La Alcarria occidental y Mesa de Ocaña (III). Análisis de procedencia en cinco localidades representativas. *Anales de Geografía de la Complutense*, 33(1), 63-92. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2013.v33.n1.42221

García-Abad, J.J. (2025). *Distribución geográfica de plantas vasculares en la Unidades neógenas orientales de la Depresión del Tajo (centro de la península Ibérica, España). Versión 1*, https://doi.org/10.21950/RQ9QQE

García-Abad, J.J., García, E.D., & Rodríguez, V.M. (2018). Corología vascular progresivamente sintética desde la resolución de 1 km². Muestra en la región oriental de Madrid. *Cuadernos Geográficos*, 57(1), 87-109. https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i1.5667

Mateo, G., García, Ó., & García, J. (2025). *Catálogo florístico de la provincia de Guadalajara*. Jolube Consultor Botánico y Editor.

Zonación de la vegetación en sistemas dunares costeros transgresivos: contrastes entre clima templado y árido

Castaño-Rodríguez, Beatriz[1], Hernández-Cordero, Antonio I.[1] y Gallego-Fernández, Juan B.[2]

[1] Grupo de Investigación en Geografía, Medio Ambiente y Tecnologías de la Información Geográfica (GEOTIGMA), Instituto de Oceanografía y Cambio Global, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, CTM Taliarte, 35214 Telde, Las Palmas, España
[2] Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, 1095, 41080 Sevilla, España
beariz.castano@ulpgc.es

Resumen. La zonación de la vegetación en los sistemas dunares templados presenta bandas continuas paralelas a la costa en el gradiente costa–interior, diferenciando comunidades de playa alta, duna primaria o costera, duna secundaria y duna estabilizada. Las zonas cercanas al mar están dominadas por herbáceas perennes adaptadas al estrés, mientras que hacia el interior aparecen arbustos y árboles. En contraste, los sistemas dunares áridos tienen mayor salinidad y menor disponibilidad hídrica, favoreciendo comunidades halófitas y xerófitas arbustivas. Además, las geoformas que predominan son dunas en montículo o nebkha (arena depositada alrededor de una planta). En este estudio se han comparado tres sistemas dunares costeros áridos transgresivos con distinto grado de movilidad sedimentaria eólica, localizados en las islas Canarias, con el sistema templado transgresivo de Doñana. En los sistemas áridos se muestrearon parcelas de 100 × 400 m, registrando las especies presentes. Se analizaron variables edáficas y se estimó la movilidad de los sedimentos mediante datos LiDAR. Para Doñana se emplearon referencias bibliográficas. Los resultados muestran claras diferencias ecológicas y geomorfológicas. En Doñana hay mayor riqueza florística y una zonación bien definida: herbáceas halófitas en playa alta, herbáceas perennes resistentes al enterramiento por arena en la duna costera, seguidas por otras comunidades de herbáceas y matorral bajo, arbustos del género *Juniperus* y formaciones densas de *Pinus pinea* origen antrópico. En los sistemas áridos, la diversidad es menor y predominan especies arbustivas suculentas y tolerantes a la salinidad. La duna costera está dominada por una sola especie halopsamófila, *Traganum moquinii*. Se identificaron tres patrones según el grado de movilidad se identificaron: 1) movilidad alta, una única especie que desaparece hacia el interior; 2) movilidad intermedia, dominancia de *T. moquinii* en zonas de mayor movilidad y otras especies restringidas a zonas estabilizadas y de menor salinidad; y 3) baja movilidad, varias especies presentes desde la costa y mayor diversidad florística general. Estos resultados muestran que no solo la movilidad de la arena, sino también el clima tiene un papel determinante en las diferencias ecogeomorfológicas entre dunas costeras de zonas templadas y áridas.

Palabras clave: ecología, ecosistemas dunares costeros, sistemas sedimentarios eólicos, islas Canarias, Doñana

Resumo. A zonagem da vegetação em sistemas dunares temperados apresenta faixas contínuas paralelas à costa ao longo do gradiente costa–interior, distinguindo comunidades de praia alta, duna primária (frontal), duna secundária e duna estabilizada. As áreas próximas ao mar são dominadas por espécies herbáceas perenes adaptadas ao estresse, enquanto arbustos e árvores surgem em direção ao interior. Em contraste, os sistemas dunares áridos apresentam maior salinidade e menor disponibilidade hídrica, favorecendo comunidades halófitas e xerófitas arbustivas. Além disso, as geoformas predominantes são dunas em montículo ou nebkhas (areia acumulada ao redor de uma planta). Neste estudo, três sistemas dunares costeiros áridos transgressivos, com diferentes graus de mobilidade sedimentar eólica localizados nas Ilhas Canárias, foram comparados com o sistema temperado transgressivo de Doñana. Nos sistemas áridos, foram amostradas parcelas de 100 × 400 m, registrando-se as espécies presentes. Variáveis edáficas foram analisadas, e a mobilidade dos sedimentos foi estimada com dados LiDAR. Para Doñana, foram utilizadas referências bibliográficas. Os resultados mostram claras diferenças ecológicas e geomorfológicas. Doñana apresenta maior riqueza florística e uma zonagem bem definida: espécies herbáceas halófitas na praia alta, herbáceas perenes resistentes ao soterramento por areia na duna frontal, seguidas por outras comunidades herbáceas e de arbustos baixos, arbustos do género *Juniperus* e formações densas de *Pinus pinea* de origem antrópica. Nos sistemas áridos, a diversidade é menor e predominam espécies arbustivas suculentas e tolerantes à salinidade. A duna frontal é dominada por uma única espécie halopsamófila, *Traganum moquinii*. Foram identificados três padrões de acordo com a mobilidade dos sedimentos: (1) mobilidade alta, com uma única espécie que desaparece em direção ao interior; (2) mobilidade intermédia, com dominância de *T. moquinii* nas áreas mais móveis e outras espécies restritas a zonas estabilizadas e de menor salinidade; e (3) baixa mobilidade, com várias espécies presentes desde a costa e maior diversidade florística geral. Estes resultados indicam que não apenas a mobilidade da areia, mas também o clima desempenha um papel determinante nas diferenças ecogeomorfológicas entre dunas costeiras de zonas temperadas e áridas.

Palavras-chave: Ecologia, ecossistemas dunares costeiros, sistemas sedimentares eólicos, Canárias, Doñana

Abstract. Vegetation zonation in temperate dune systems exhibits continuous bands parallel to the coastline along the shore–inland gradient, distinguishing upper beach, primary (foredune), secondary, and stabilized dune communities.

Areas close to the sea are dominated by stress-adapted perennial herbaceous species, whereas shrubs and trees appear further inland. In contrast, arid dune systems are characterized by higher salinity and lower water availability, favoring halophytic and xerophytic shrub communities. Moreover, the predominant landforms are mound dunes or nebkhas (sand accumulated around plants). In this study, three transgressive arid coastal dune systems with different degrees of aeolian sediment mobility located in the Canary Islands, were compared with the temperate transgressive system of Doñana. In the arid systems, 100 × 400 m plots were sampled, recording the species present. Edaphic variables were analyzed, and sediment mobility was estimated using LiDAR data. For Doñana, bibliographic references were used. The results show clear ecological and geomorphological differences. Doñana exhibits higher floristic richness and well-defined zonation: halophytic herbaceous species on the upper beach, perennial herbaceous species resistant to sand burial on the foredune, followed by other herbaceous and low shrub communities, shrubs of the genus *Juniperus*, and dense stands of *Pinus pinea* of anthropogenic origin. In arid systems, diversity is lower and communities are dominated by succulent, salt-tolerant shrub species. The foredune is dominated by a single halopsammophilous species, *Traganum moquinii*. Three patterns were identified according to sediment mobility: (1) high mobility, with a single species that disappears inland; (2) intermediate mobility, with dominance of *T. moquinii* in highly mobile areas and other species restricted to stabilized zones with lower salinity; and (3) low mobility, with several species present from the coast and higher overall floristic diversity. These results indicate that not only sand mobility, but also climate plays a key role in shaping ecogeomorphological differences between temperate and arid coastal dunes.

Keywords: ecology, coastal dune ecosystems, aeolian sedimentary systems, Canary Islands, Doñana

1 Introducción

La zonación de la vegetación en los sistemas dunares litorales templados responde a un conjunto de factores ambientales como el enterramiento por arena, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y las características del suelo (Maun, 2009). Estos factores muestran un gradiente desde la costa hacia el interior y se relacionan con unidades geomorfológicas definidas (playa alta; duna primaria; embrionaria o duna costera; duna secundaria y duna estabilizada), dando lugar a bandas de vegetación paralelas a la costa. En este contexto, la vegetación sigue una sucesión desde comunidades herbáceas adaptadas al estrés en las zonas próximas al mar hasta comunidades arbustivas y arbóreas hacia el interior.

En contraste, la estructura ecológica y geomorfológica de los sistemas dunares costeros áridos no sigue este patrón. La baja disponibilidad hídrica y elevada salinidad del sustrato, derivada de la escasa lixiviación e influencia del aerosol marino (partículas salinas transportadas por el viento desde el mar), limitan el desarrollo de las especies que son capaces de colonizar estos sistemas. Como resultado, predominan comunidades de especies halófitas y xerófitas, principalmente arbustivas, en todo el sistema (Hernández-Cordero et al., 2019). Estas condiciones también afectan a la morfología dunar. En sistemas templados la duna costera está constituida por cordones dunares continuos asociados a vegetación herbácea rizomatosa, mientras que en sistemas áridos dominan las nebkhas (Hernández-Cordero et al., 2019). En consecuencia, la vegetación presenta una distribución heterogénea y discontinua, con menor cobertura y diversidad florística (Hesp, 1991; Lubke, 2008).

El objetivo de este trabajo es comparar los gradientes de vegetación de tres sistemas dunares costeros áridos transgresivos con distinto grado de movilidad (alta, intermedia y baja), con un sistema dunar costero transgresivo templado.

2 Materiales y métodos

Se seleccionaron tres sistemas dunares costeros transgresivos de las islas Canarias con diferente grado de movilidad sedimentaria eólica siguiendo la clasificación de Hernández-Cordero et al. (2019). Todos los sistemas tienen un clima árido, con una temperatura media anual en torno a los 21°C y una precipitación media anual inferior o alrededor de 100 mm.

Como sistema de movilidad alta, se seleccionó el campo de dunas transgresivo de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, localizada en el sur de la isla de Gran Canaria, formado principalmente por nebkhas y dunas libres. Como movilidad intermedia, el sistema playa-duna de Caleta de Famara, en el norte de Lanzarote, formado por grandes nebkhas y un manto eólico. Como movilidad baja, el sistema sedimentario eólico El Cotillo-Tostón, en la costa NO de Fuerteventura: un manto eólico transgresivo con numerosas nebkhas. Como sistema transgresivo templado se seleccionó el sistema dunar del Parque Nacional de Doñana, localizado en la costa atlántica del SO de España, siendo el mayor campo de dunas activo de Europa. Presenta una temperatura media anual de 17ºC y precipitación media anual de 560 mm (Muñoz-Reinoso et al., 2020).

En cada sistema árido se seleccionó una parcela de 100 m de ancho x 400 m de largo orientada en el gradiente costa-interior y dirección de los vientos predominantes. En cada parcela, se geolocalizaron todas las nebkhas y se registró la composición y abundancia de especies. Para las variables ambientales, se recolectaron muestras de suelo cada 50 metros en un transecto en cada parcela. Se analizó el pH, conductividad eléctrica, P disponible, C total y nitratos. La movilidad sedimentaria eólica se obtuvo a partir de datos LiDAR (2009 y 2015) del Instituto Geográfico Nacional (España). En el caso del sistema dunar de Doñana, se emplearon datos procedentes de fuentes bibliográficas.

3 Resultados

3.1 Sistemas áridos

El inventario realizado en los 3 sistemas resultó en un total de 21 especies de plantas vasculares: una en Maspalomas, 15 en Famara y 12 en Cotillo. La familia mejor representada fue Chenopodiaceae (8 especies). La única especie común a los tres sistemas fue el arbusto halopsamófilo *Traganum moquinii*, formador de la duna costera, y la única especie presente en Maspalomas. Famara y Cotillo comparten otras 7 especies: *Salsola vermiculata, Tetraena fontanesii, Launaea arborescens, Heliotropium ramosissimum, Astydamia latifolia, Atriplex glauca* y *Cakile maritima*.

La distribución de las especies en el gradiente costa-interior difirió entre sistemas. En Maspalomas, las zonas interiores carecen de vegetación debido a las dunas libres (Fig. 1). En Famara, *T. moquinii* se distribuye en todo el sistema, dominando en la zona costera, mientras que en el interior se desarrollan comunidades de nebkhas con especies xerófitas y halófitas como *S. vermiculata, Polycarpaea nivea, Launaea arborescens* y *T. fontanesii*, principalmente (Fig. 1). En Cotillo, desde la zona más cercana a la costa aparecen múltiples especies acompañando a *T. moquinii: T. fontanesii, C. maritima, Frankenia capitata* y *A. glauca*. Este sistema se encuentra prácticamente estabilizado, siendo común las nebkhas multiespecíficas en todo el sistema. Hacia el interior, se establecen otras especies, en su mayoría halófitas (*Suaeda vera, Suaeda mollis*; Fig. 1).

El gradiente ambiental de la salinidad descendió hacia el interior en los tres sistemas, variando desde 1,20-3,3 mS/cm en las zonas cercanas al mar, hasta 0,29-0,60 mS/cm en interior, aunque en Maspalomas las depresiones interdunares húmedas causan salinidades elevadas en zonas alejadas de la costa (Fig. 1). La movilidad fue notablemente superior en Maspalomas (0,26–3,15 m^3/m^2), con un marcado gradiente hacia el interior, mientras que en Cotillo permaneció muy baja en toda la parcela (0,02–0,38 m^3/m^2). En Famara los valores más altos se registran en zonas intermedias (0.70 m^3/m^2), sin seguir un gradiente lineal. El pH hacia el interior, pero se mantuvo básico en los tres sistemas (8,73–10,06). Las propiedades químicas del suelo mostraron mayor variabilidad entre sistemas. El contenido de carbono total fue mayor en Cotillo (9,00–11,73 %), mientras que Maspalomas presentó los valores más bajos (5,69–7,23 %). Asimismo, las concentraciones máximas de nutrientes se registraron en Cotillo (NO_3^- = 74,80 mg/Kg; P = 18,15 mg/Kg), frente a los valores más bajos observados en Maspalomas (NO_3^- = 17,38–47,15 mg/Kg; P = 0,81–2,11 mg/Kg).

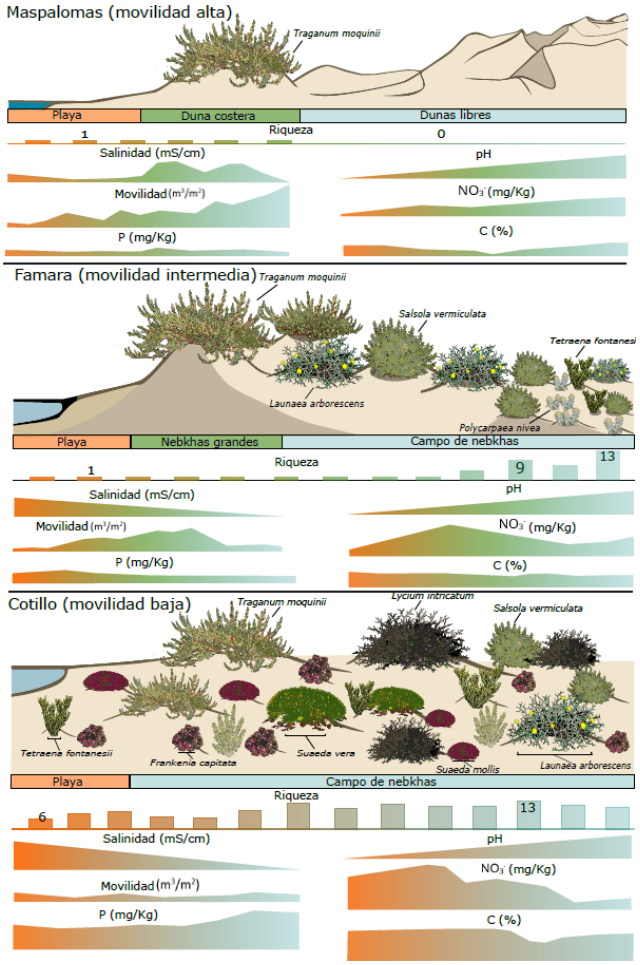


Fig. 1. Perfiles de vegetación de los tres sistemas dunares áridos transgresivos.

3.2 Sistema templado

En Doñana, las especies vegetales presentes siguen un marcado gradiente desde la costa hacia el interior. La zonación de la vegetación se caracterizó de forma genérica principalmente a partir de las descripciones de la zona de dunas móviles realizadas por López (2009). En la playa se establecen especies herbáceas pioneras halonitrófilas como *Salsola kali* y *Cakile maritima*. La duna costera consiste en cordones continuos formados por la herbácea *Ammophila arenaria*, que puede estar acompañada por *Elymus farctus* y *Euphorbia paralias*. Al ser un sistema transgresivo (con movilidad en el interior), las formaciones con *A. arenaria* también pueden aparecer en zonas interiores, ya que las dunas se reactivan si hay pérdida de vegetación (Rivas-Martínez et al., 1980).

Tras la duna costera, en las depresiones interdunares donde la capa freática es profunda, comienzan a colonizar especies psamófilas de matorral bajo como *Artemisia crithmifolia, Armeria pungens* y *Helichrysum picardii*. A medida que la distancia a costa es mayor, las dunas se estabilizan, estableciéndose vegetación arbustiva con bosquetes mixtos de enebros (*Juniperus macrocarpa*) y sabinas (*Juniperus phoenicea*). Bajo estas formaciones se desarrolla un estrato herbáceo dominado por *Bromus diandrus* y *Medicago*

littoralis. En estas áreas, si se da lugar a zonas más abiertas, pueden aparecer especies como: *Pistacia lentiscus, Daphne gnidium, Cistus salviifolius* o *Rosmarinus officinalis,* entre otras. Donde aflora el agua de la capa freática se pueden observar especies hidrófilas como *Juncus acutus* y *Scirpoides holoschoenus*. Las partes más interiores del sistema se componen de masas densas de repoblaciones de *Pinus pinea*.

En general, en los sistemas de dunas litorales templados como el caso de Doñana, existe un marcado gradiente de factores ambientales desde la costa hasta el interior, siguiendo un incremento del contenido en materia orgánica y de nutrientes (N, P), mientras que la salinidad, pH y movilidad de los sedimentos descienden (Hesp, 1991).

4 Discusión

Los resultados muestran diferencias claras en la composición florística y distribución espacial de la vegetación entre las dunas costeras áridas y templadas, lo que pone de manifiesto el papel determinante tanto de las condiciones ambientales como locales del clima. En los sistemas áridos, destaca la dominancia de especies halófitas y xerófitas de porte arbustivo, reflejo del estrés hídrico y elevada salinidad del sustrato. La vegetación se distribuye de forma relativamente homogénea a lo largo del sistema, sin cambios muy bruscos, siempre que la movilidad sea baja. En las zonas más dinámicas sólo persiste la especie formadora de la duna costera, *T. moquinii.* Si la movilidad supera cierto umbral, no existe vegetación, de forma que la riqueza de especies aumenta en las áreas más estabilizadas. Toda la vegetación se relaciona con la geoforma tipo nebkha.

En relación con la vegetación, en Doñana se ha demostrado cómo los cambios en su zonación en las zonas estabilizadas están ligados a la disponibilidad de agua en el suelo y cómo esto está estrechamente relacionado con la geomorfología (Muñoz-Reinoso & García Novo, 2005). Sin embargo, en los sistemas áridos parece que la movilidad es más determinante para la presencia de la vegetación (Hernández-Cordero et al., 2019). Destaca también que en Doñana el gradiente de pH es opuesto al que encontramos en sistemas áridos (López, 2009; Muñoz-Reinoso et al., 2020). El aumento de la cobertura vegetal hacia el interior, muestra cómo la movilidad se reduce tras la duna costera, mientras que en los sistemas áridos este gradiente puede ser discontinuo. Aunque la salinidad en sistemas áridos también sigue un gradiente costa-interior negativo, esta sigue siendo más acusada que en sistemas templados, reflejándose en la mayor presencia de especies con adaptaciones específicas a altos niveles de salinidad (Hernández-Cordero et al., 2019).

5 Conclusiones

En conjunto, estos resultados sugieren que el clima tiene un papel determinante y multifactorial en las diferencias ecológicas y geomorfológicas (composición y abundancia de especies de plantas, y morfología y dinámica dunar resultante) entre dunas costeras de zonas templadas y áridas. La movilidad marca la presencia de especies en unas zonas u otras, pero la salinidad determina la selección de las especies, reflejo del estrés hídrico y la acumulación de sales.

6 Referencias

Hernández-Cordero, A. I., Peña-Alonso, C., Hernández-Calvento, L., Ferrer-Valero, N., Santana-Cordero, A. M., García-Romero, L., & Pérez-Chacón Espino, E. (2019). Aeolian sedimentary systems of the Canary Islands. En *The Spanish coastal systems: Dynamic processes, sediments and management* (pp. 699–725). https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_30

Hesp, P. A. (1991). Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments, 21*(2), 165–191. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30681-5

López Albacete, I. (2009). *Vegetación del manto eólico de Doñana* [Tesis doctoral, Universidad de Huelva]. Universidad de Huelva.

Lubke, R. A. (2008). Vegetation dynamics and succession on sand dunes of the eastern coasts of Africa. In *Ecology of coastal vegetation* (pp. 67–84). https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5_5

Maun, M. A. (2009). The Biology of Coastal Sand Dunes. Oxford University Press.

Muñoz-Reinoso, J. C., & García Novo, F. (2005). Multiscale control of vegetation patterns: The case of Doñana (SW Spain). *Landscape Ecology, 20*(1), 51–61. https://doi.org/10.1007/S10980-004-0466-X

Muñoz-Reinoso, J. C., Jordán, R. V., & Tejada-Tejada, M. (2020). Analysis of spatio-temporal changes in the vegetation cover of the coastal landscape of Doñana. *Journal of Coastal Research, 95*(sp1), 113–117. https://doi.org/10.2112/SI95-022.1

Rivas-Martínez, S., Costa, M., Castroviejo, S., & Valdés, E. (1980). La vegetación de Doñana (Huelva, España). *Lazaroa, 2*, 5–190.

7 Agradecimientos

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2021-124888OB-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación/Agencia Estatal de Investigación/10.13039/501100011033 y por "FEDER Una manera de hacer Europa". El contrato de B.C.R. se corresponde con la ayuda predoctoral (PRE2022-101507) financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y cofinanciada por el FSE+. Los datos de campo han sido obtenidos previa autorización del Cabildo de Gran Canaria (Res. n.º 1421/2023 de fecha 15 de junio de 2022 y nº. CGC/2024/4770 de fecha 5 de junio de 2024), Área de Medio Ambiente del Cabildo de Fuerteventura (Res. 6858/2023 de fecha 20 de octubre de 2023 y 4025/2024 de fecha 29 mayo de 2024) y Cabildo de Lanzarote (Decretos de Res. n.º 2023-5105 de 10 de agosto de 2023 y n.º 2024-4129 de 20 de julio de 2024).

Apariciones recientes de *Tarentola mauritanica* en el norte de la península ibérica: dispersión antropogénica, condicionantes ambientales e implicaciones biogeográficas

Ruiz-Fernández, Jesús[1], Núñez de Con, Laura[1], González-Díaz, Benjamín[1] y Montes-Canga, Emma[1]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, C/ Amparo Pedregal s/n, 33011, Oviedo, España
ruizjesus@uniovi.es

Resumen. La expansión espacial de especies asociadas a entornos humanizados constituye uno de los fenómenos más relevantes en el contexto actual de globalización, intensificación de las redes de transporte y cambio climático y ambiental. En este trabajo se presentan dos registros recientes de *Tarentola mauritanica* fuera de su área de distribución habitual en la península ibérica, localizados concretamente en el oriente de Asturias: uno en Tielve de Cabrales (703 m s.n.m., julio de 2024), por tanto, en el Parque Nacional de los Picos de Europa, y otro en el núcleo costero de Colunga (21 m s.n.m., enero de 2026). A partir de ambos casos se analizan los patrones de llegada de la especie a territorios del norte peninsular donde no estaba presente, los principales vectores de dispersión pasiva antropogénica, las limitaciones ambientales para su establecimiento y las posibles implicaciones futuras derivadas del cambio climático y ambiental actual. Estos avistamientos responden, por el momento, a episodios puntuales ligados al transporte de mercancías y a la movilidad humana, sin evidencias de la existencia poblaciones estables en los dos enclaves citados, aunque subrayan la necesidad de mantener una vigilancia continuada sobre este tipo de registros como indicadores tempranos de cambios en la dinámica biogeográfica.

Palabras clave: fauna alóctona, dispersión pasiva antropogénica, biogeografía, cambio climático, Cordillera Cantábrica.

Resumo. A expansão espacial de espécies associadas a ambientes humanizados constitui um dos fenómenos mais relevantes no contexto atual de globalização, intensificação das redes de transporte e alterações climáticas e ambientais. Este trabalho apresenta dois registos recentes de *Tarentola mauritanica* fora da sua área de distribuição habitual na Península Ibérica, localizados concretamente no oriente das Astúrias: um em Tielve de Cabrales (703 m de altitude, julho de 2024), portanto dentro do Parque Nacional dos Picos da Europa, e outro no núcleo costeiro de Colunga (21 m de altitude, janeiro de 2026). A partir destes dois casos, analisam-se os padrões de chegada da espécie a territórios do norte peninsular onde não estava presente, os principais vetores de dispersão passiva antropogénica, as limitações ambientais para o seu estabelecimento e as possíveis implicações futuras decorrentes das atuais alterações climáticas e ambientais. Estes avistamentos correspondem, por enquanto, a episódios pontuais ligados ao transporte de mercadorias e à mobilidade humana, sem evidências da existência de populações estáveis nos dois locais citados, embora sublinhem a necessidade de manter uma vigilância continuada sobre este tipo de registos como indicadores precoces de mudanças na dinâmica biogeográfica.

Palavras-chave: fauna alóctone, dispersão passiva antropogénica, biogeografia, alterações climáticas, Cordilheira Cantábrica.

Abstract. The spatial expansion of species associated with human-modified environments constitutes one of the most significant phenomena in the current context of globalisation, the intensification of transport networks, and climatic and environmental change. This paper presents two recent records of *Tarentola mauritanica* outside its usual distribution range on the Iberian Peninsula, specifically located in eastern Asturias: one in Tielve de Cabrales (703 m a.s.l., July 2024), therefore within the Picos de Europa National Park, and another in the coastal town of Colunga (21 m a.s.l., January 2026). Based on these two cases, we analyse the patterns of arrival of the species to northern Iberian territories where it was previously absent, the main vectors of passive anthropogenic dispersal, the environmental constraints for its establishment, and the possible future implications derived from current climatic and environmental change. These sightings currently represent isolated episodes linked to the transport of goods and human mobility, with no evidence of stable populations in the two localities mentioned. Nevertheless, they underscore the need for continued monitoring of such records as early indicators of changes in biogeographic dynamics.

Keywords: allochthonous fauna, passive anthropogenic dispersal, biogeography, climate change, Cantabrian Mountains.

1 Introducción

El desplazamiento de organismos fuera de sus áreas de distribución natural es un proceso estrechamente vinculado a la actividad humana, especialmente en un escenario caracterizado por la intensificación del comercio, el turismo y las cadenas logísticas globales (Hulme, 2021). Desde la biogeografía, el análisis de estos fenómenos permite comprender no solo la dimensión espacial de la llegada de especies alóctonas, sino también los procesos socioambientales que la explican y las escalas a las que operan. En las últimas décadas se ha constatado un incremento notable en el número de registros de fauna no nativa en territorios donde previamente estaba ausente, tendencia que previsiblemente se intensificará en las próximas décadas (Seebens et al., 2021).

La salamanquesa común (*Tarentola mauritanica*; Linnaeus, 1758), especie de gecko perteneciente a la familia *Phyllodactylidae*, constituye un ejemplo paradigmático de especie termófila y antropófila, capaz de alcanzar nuevos espacios gracias a su estrecha dependencia de microhábitats artificiales, como muros, fachadas y, en general, construcciones humanas, donde encuentra refugio y abundancia de presas, principalmente insectos atraídos por la iluminación nocturna (Salvador, 2016), así como a su transporte accidental junto a mercancías y vehículos (Rato, 2015; Piorno et al., 2017). Su área de distribución se concentra esencialmente en la cuenca mediterránea, incluyendo el sur de Europa, el norte de África y numerosas islas de este ámbito (Rato, 2015; Salvador, 2016; Piorno et al., 2017). En la península ibérica ocupa preferentemente sectores meridionales, orientales y centrales, además de las Islas Baleares (Fig. 1); mientras que su presencia es muy limitada o excepcional en la franja norte y en las áreas montañosas del sector oriental (Gosá et al., 2011; Rato, 2015).

Desde el punto de vista altitudinal, la especie se concentra habitualmente en cotas bajas y medias, si bien se han documentado poblaciones en enclaves montañosos del sureste peninsular y de Sierra Nevada, donde alcanza su máximo altitudinal conocido (Salvador, 2016). El frío, la elevada humedad y la escasa insolación actúan como factores limitantes para su establecimiento estable, especialmente en la región eurosiberiana (Tejado y Potes, 2011). En términos de conservación, la salamanquesa común está catalogada actualmente en España como especie de "preocupación menor" (LC; Salvador, 2016). El presente trabajo documenta dos avistamientos recientes de *T. mauritanica* en Asturias, con el objetivo de contextualizarlos en el marco de los procesos de dispersión reciente de la especie en el norte peninsular, evaluar las condiciones ambientales de los enclaves donde se produjeron y reflexionar sobre sus implicaciones biogeográficas.

2 Área de estudio y metodología

Los casos analizados se localizaron en el oriente del Principado de Asturias y, en consecuencia, dentro de la región biogeográfica eurosiberiana. El primer avistamiento se situó en Tielve de Cabrales, un núcleo rural de montaña integrado en el Parque Nacional de los Picos de Europa, a ~700 m s.n.m., que en 2025 contaba con 54 habitantes (SADEI, 2026). Las actividades del mismo giran en torno a la ganadería, la producción de queso de la Denominación de Origen Protegida Cabrales (Suárez Antuña et al., 2005; García-Hernández et al., 2022), así como al turismo de montaña. Se trata de un sector con un clima poco apropiado para *T. mauritanica*, pues el núcleo se encuentra en el límite inferior del piso biogeográfico montano de las montañas cantábricas, con una temperatura media anual de ~10,8 ºC, y un ambiente húmedo (1.700 mm/año; Ruiz-Fernández, 2006).

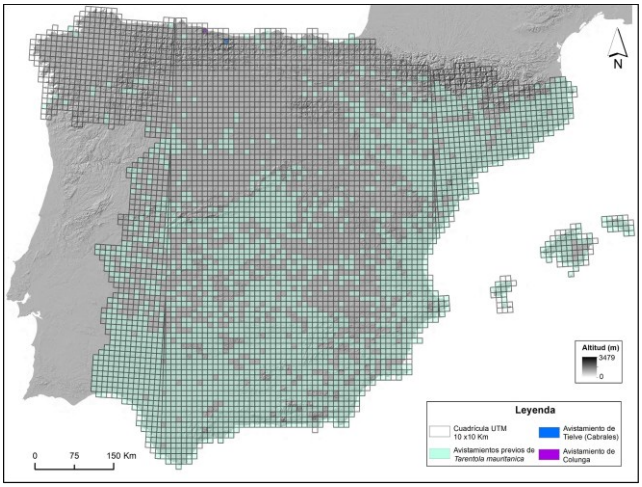


Fig. 1. Mapa de distribución de *T. mauritanica* en la España peninsular y las Islas Baleares. En color azul se indica la nueva cuadrícula UTM de 10x10 km en la que se ha documentado la presencia de esta especie en Tielve de Cabrales (UN5090), mientras que en color morado se representa la cuadrícula en la que se produjo el avistamiento de Colunga (UP1010). Fuente: Confeccionado a partir de la información suministrada por Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España (SIARE, 2026).

El segundo avistamiento se corresponde con la villa costera de Colunga, ubicada a escasa altitud (~20 m s.n.m.) y caracterizada por un clima oceánico templado, con una influencia marítima que suaviza las temperaturas anuales. En este caso la temperatura media anual ronda los 14 ºC, mientras que las precipitaciones son de ~950 mm/año (Muñoz-Jiménez, 1982). La población de la villa de Colunga en 2025 era de 1.135 personas (SADEI, 2026), dedicadas principalmente a las actividades terciarias (servicios y turismo), seguido en segundo lugar por el sector primario.

La información procede de observaciones directas realizadas por miembros del equipo investigador complementadas con registro fotográfico, consulta de bases de datos herpetológicas y revisión bibliográfica).

3 Registro de los avistamientos

El primer registro se produjo en el barrio de Llorea de Tielve de Cabrales, concretamente el 18 de julio de 2024 a las 15,25 h, en un día soleado y caluroso (Fig. 2A y 2B). Las

coordenadas del avistamiento son 43º15'46''N / 4º46'29''W (cuadrícula UTM UN5090). El ejemplar estaba activo, y partir de los caracteres morfológicos visibles, pudo identificarse como un macho adulto. Se trata del registro de mayor cota conocido hasta el momento en la fachada cantábrica (703 m s.n.m.), lo que refuerza su interés desde el punto de vista biogeográfico. No obstante, la ausencia de nuevas observaciones posteriores y las condiciones ambientales del entorno apuntan por el momento a una presencia meramente circunstancial. El avistamiento fue puntual y no permitió su recuperación por parte de personal especializado, como sí ocurrió en el segundo caso relatado en esta contribución o en otros avistamientos anteriores, como el acontecido en la isla de Ons en 2017, situada dentro del Parque Nacional de las Islas Atlánticas (Piorno et al., 2017).

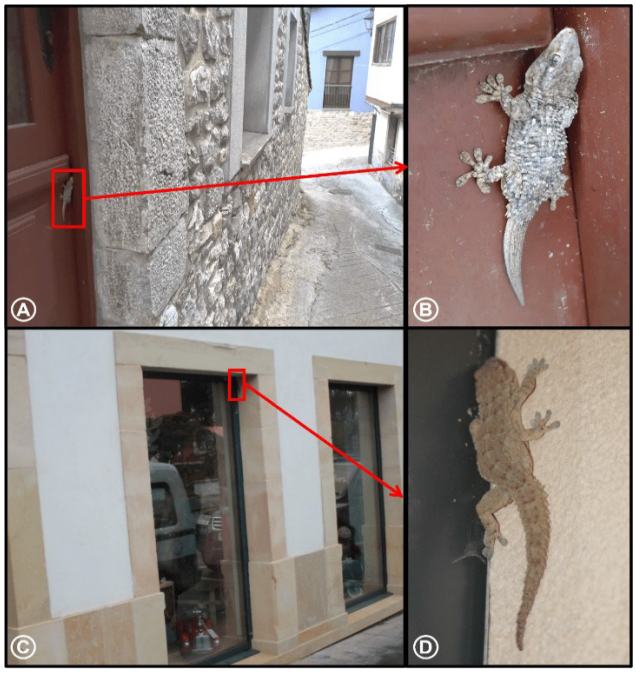


Fig. 2. Lugar del avistamiento de *T. mauritanica* en Tielve (A) y detalle del individuo (B), que había perdido su cola primitiva y desarrollado una nueva (autotomía caudal). Ubicación (C) y detalle (D) del ejemplar de Colunga.

El segundo avistamiento tuvo lugar en pleno casco urbano de Colunga, en un edificio situado en una de las principales vías de la localidad (Avenida de Asturias), el 15 de enero de 2026 a las 16,25 h. y a una altitud de 21 m s.n.m. (Fig. 2C y 2D). Las coordenadas del avistamiento son 43º29'07''N / 5º16'10''W (cuadrícula UTM UP1010). Previamente, el ejemplar fue observado durante varios días consecutivos en el mismo punto por M. C. Pintueles Alonso, J. M. Olivar Abaria, C. Olivar Pintueles y C. B. Rodeiro Freire, concretamente desde el día 12 del mismo mes, mostrando un comportamiento claramente aletargado, coherente con las bajas temperaturas invernales. Ante el riesgo para su supervivencia, se activó el protocolo de aviso a los servicios de emergencia, y finalmente fue recuperado por personal especializado y trasladado al Centro de Recuperación de Fauna Salvaje de Sobrescobio, dependiente del Principado de Asturias. Ante la inactividad del ejemplar, y para evitar cualquier incidencia que pudiese poner en riesgo su supervivencia, dada su localización expuesta mantenida durante días, así como las condiciones térmicas propias de la época, no fue manipulado para su observación y, por tanto, no se pudo establecer su sexo. No se detectaron otros individuos en las inmediaciones ni se obtuvieron testimonios de observaciones previas en la zona, lo que sugiere un episodio aislado. La localización costera, próxima a uno de los sectores térmicamente más benignos de Asturias (Lastres, con 14,2 ºC de temperatura media anual, situada a 2,5 km al NNW de Colunga; Muñoz-Jiménez, 1982), constituye sin embargo un enclave potencialmente más favorable que otros puntos del interior regional.

4 Discusión y conclusiones

Ambos casos analizados encajan en un patrón ampliamente descrito para *T. mauritanica*: la llegada accidental a nuevos territorios mediante procesos de dispersión pasiva asociados al transporte de mercancías, materiales de construcción, productos agrícolas o al propio movimiento de personas (Gosá et al., 2011; Rato, 2015; Piorno et al., 2017). Puertos, áreas logísticas, vías de comunicación, núcleos turísticos y asentamientos urbanos dependientes de suministros externos actúan como puntos de entrada recurrentes, como se ha documentado tanto en el norte peninsular como en otros contextos europeos e, incluso, del continente americano, donde la salamanquesa ha sido introducida en países como Estados Unidos, México, Uruguay, Argentina y Chile (Salvador, 2016; Gómez de Berrazueta et al., 2023).

En Asturias cabe citar la aparición de ejemplares en Oviedo-Colloto, San Esteban de Pravia-Soto del Barco, Tapia de Casariego, Puerto de Vega, Avilés, Piedras Blancas, Vegarrozada, el ámbito de los polígonos industriales ubicados en torno a Cayés, Gijón y Ribadesella (GBIF, 2026; SIARE, 2026), a los que hay que añadir las nuevas localizaciones aportadas por este trabajo. En el resto del reborde septentrional peninsular, la llegada de esta especie ya se ha venido observando, al menos, durante las últimas tres décadas (Gosá et al., 2011). Las condiciones climáticas del norte peninsular, caracterizadas por temperaturas moderadas, elevada humedad, así como su localización dentro de la franja de menor insolación anual de la península ibérica, han supuesto históricamente un freno para el establecimiento permanente de la salamanquesa común. Sin embargo, ya se han documentado avistamientos en Galicia (Vigo, Pontevedra, Tui, la Coruña, Valdeorras y Monforte de Lemos), León (Ponferrada), Cantabria (Comillas, Torrelavega, Noja, San Van Vicente de Toranzo, Maliaño, Somo y Santander), y la costa vasca (Irún, Fuenterrabía, San Sebastián, Guecho, Bilbao y Santurce). Más al interior la salamanquesa común también ha sido identificada en las ciudades de Palencia, Burgos, Amurrio, Mártioda y Vitoria, y en el tramo valle del Ebro correspondiente a la Rioja, donde la especie ha aprovechado para su progresión la línea férrea Bilbao-Zaragoza

(Salvador, 2016; Rato, 2015; Gosá et al., 2011; Tejado y Potes, 2011; Galán, 2018; Peláez, 2021; Gómez de Berrazueta *et al*., 2023; SIARE, 2026). Han sido documentadas, incluso, poblaciones estables y reproductoras en algunos sectores de la costa cántabra (principalmente en Santander) y vasca (Gosá et al., 2011; Gómez de Berrazueta et al., 2023). En cualquier caso, los dos enclaves estudiados en este trabajo no ofrecen, por ahora, indicios de colonización exitosa.

No obstante, algunos estudios señalan que el calentamiento global podría favorecer, a medio y largo plazo, la ampliación del nicho climático de *T. mauritanica* hacia latitudes y altitudes actualmente marginales (Felicísimo et al., 2011). En este contexto, los avistamientos aislados adquieren valor como posibles señales tempranas de procesos de cambio más profundos, especialmente si comienzan a repetirse en el tiempo y el espacio.

En definitiva, los registros de *T. mauritanica* en Tielve de Cabrales y Colunga refuerzan la evidencia de una llegada cada vez más recurrente de la especie a territorios situados fuera de su área de distribución habitual en la península ibérica, impulsada fundamentalmente por la actividad humana. Estos avistamientos ponen de manifiesto la necesidad de mantener sistemas de seguimiento y documentación continuada de la fauna alóctona, tanto en el medio natural como, incluso, en ambientes intensamente humanizados como los urbanos, los industriales y los logísticos. Más allá de su interés faunístico, este tipo de registros contribuye a comprender la dinámica espacial de las especies en un escenario de cambio global y a anticipar posibles transformaciones futuras en los ecosistemas.

5 Referencias

Felicísimo, Á. M., Muñoz, J., Villalba, C. J., & Mateo, R. G. (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Galán, P. (2018). Presencia y uso del espacio de una población introducida de *Tarentola mauritanica* en el norte de Galicia. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española, 29*(1), 35–41.

García-Hernández, C., Ruiz-Fernández, J. & Rodríguez-Gutiérrez, F. (2022). Geographical indications in cheese mountain areas: Opportunity or threat to landscape and environmental conservation? The case of Cabrales (Spain). *Applied Geography*, 146, 102753. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102753

Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2026). https://www.gbif.org/

Gómez de Berrazueta, J. M., López, J. M., Martínez, O., López, C., Folch, A., Bonafe, S., Cañete, A., Marrón, T., Simón-Altuna, G., Gómez de Berrazueta, F., De Andrés, E., Martín, F., & Castillo, M. (2023). Presencia de poblaciones estables y reproductoras de *Tarentola mauritanica* en Cantabria. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española, 34*, 91–97.

Gosá, A., Laza Martínez, A., Crespo Díaz, A., Sanz Azkue, I., Valdeón, A., & Rubio, X. (2011). Reproducción de *Tarentola mauritanica* en la costa vasca. *Munibe, 59*, 95–101.

Hulme, P. E. (2021). Unwelcome exchange: International trade as a direct and indirect driver of biological invasions worldwide. *One Earth*, *4*(5), 666-679. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.04.015

Muñoz-Jiménez, J. (1982). Geografía física: El relieve, el clima y las aguas. En F. Quirós (Dir.), *Geografía de Asturias* (Vol. I). Ayalga.

Peláez, J. (2021). Nueva cita de *Tarentola mauritanica* para el norte de la península ibérica. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, *32*(1), 58-59.

Piorno, V., Martínez, L., & Fernández, J. A. (2017). Un caso de dispersión a larga distancia de salamanquesa común mediada por el hombre. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española, 28*(1), 83–85.

Rato, C. (2015). La salamanquesa común (*Tarentola mauritanica*) en la península ibérica e Islas Baleares. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española, 26*(2), 55–58.

Ruiz-Fernández, J. (2006). *El paisaje natural de la Sierra de Juan Robre y Jana (Oriente de Asturias)*. Real Instituto de Estudios Asturianos.

Salvador, A. (2016). Salamanquesa común – *Tarentola mauritanica*. En A. Salvador y A. Marco (Eds.), *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles*. Museo Nacional de Ciencias Naturales.

Seebens, H., Blackburn, T. M., Hulme, P. E., van Kleunen, M., Liebhold, A. M., Orlova-Bienkowskaja, M., Pyšek, P., & Essl, F. (2021). Around the world in 500 years: Inter-regional spread of alien species over recent centuries. *Global Ecology and Biogeography, 30*(8), 1621–1632. https://doi.org/10.1111/geb.13325

Servidor de Información de Anfibios y Reptiles de España (SIARE). (2026). https://siare.herpetologica.es

Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI). (2026). https://www.sadei.es

Suárez Antuña, F., Herrán Alonso, M., & Ruiz Fernández, J. (2005). La adaptación del hombre a la montaña: El paisaje de Cabrales (Picos de Europa). *Ería: Revista cuatrimestral de Geografía*, *68*, 373-389

Tejado, C., & Potes, M. E. (2011). Primeros registros de *Tarentola mauritanica* para el centro y norte de Álava. *Munibe, 59*, 87–93.

6 Agradecimientos

Esta contribución aborda parte de los temas de investigación tratados en el proyecto PID2020-115269GB-I00 (MICINN, Gobierno de España), y se enmarca dentro de las actividades del Grupo de Investigación Reconocido GEAFROST (Universidad de Oviedo; referencia: GR-024-0012).

Los bufones del oriente de Asturias, un geotopo con vegetación halocasmofítica

Núñez de Con, Laura[1], Ruiz-Fernández, Jesús[1], Montes-Canga, Emma[1] y Pérez-García, Luis[1]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, C/ Amparo Pedregal s/n, 33011, Oviedo, España
uo294767@uniovi.es

Resumen. Los bufones constituyen geoformas resultantes de la combinación entre la karstificación generada sobre la superficie de un acantilado calcáreo, y la acción del oleaje en su base, al generarse un conducto que funciona como elemento de descompresión para el golpe de las olas, emitiendo rítmicamente corrientes de aire o incluso chorros de agua sobre la superficie del acantilado. En el área de Llames de Pría, a partir de la realización de 15 inventarios florísticos se ha comprobado que, en el borde superior de los bufones y sus inmediaciones predominan las especies halocasmofíticas (especialmente *Crithmum maritimum*, *Armeria pubigera* subsp. *depilata*, *Limbarda crithmoides* y *Plantago coronopus*), que toleran una alta salinidad, al estar muy expuestas a los chorros de agua y del aire cargado de *spray* marino que emiten los bufones. Lo mismo ocurre en el borde del acantilado. En una posición más alejada se desarrolla la pradera aerohalina (integrada predominantemente por *Festuca rubra*), allí donde la cubierta edáfica está bien consolidada. Por último, ya a mayor distancia se desarrolla el matorral aerohalino, sobre todo con presencia de *Ulex europaeus* y *Erica vagans*.

Palabras clave: karstificación, bufones, geotopo, vegetación halófila, costa oriental asturiana.

Resumo. Os bufões constituem geoformas resultantes da combinação entre a carstificação gerada na superfície de uma falésia calcária e a ação da ondulação na sua base, gerando-se um conduto que funciona como elemento de descompressão para o embate das ondas, emitindo ritmicamente correntes de ar ou mesmo jatos de água sobre a superfície da falésia. Na área de Pría, a partir da realização de 15 inventários florísticos, comprovouse que na borda superior dos bufões e nas suas imediações predominam as espécies halocasmofíticas (especialmente *Crithmum maritimum*, *Armeria pubigera* subsp. *depilata*, *Limbarda crithmoides* e *Plantago coronopus*), que toleram elevada salinidade, por estarem muito expostas aos jatos de água e ao ar carregado de *spray* marinho emitido pelos bufões. O mesmo ocorre na borda da falésia. Numa posição mais afastada desenvolve-se a pradaria aerohalina (integrada predominantemente por *Festuca rubra*), onde a cobertura edáfica está bem consolidada. Por último, já a maior distância desenvolve-se o matagal aerohalino, sobretudo com presença de *Ulex europaeus* e *Erica vagans*.

Palavras-chave: carstificação, bufões, geótopo, vegetação halófila, costa oriental asturiana.

Abstract. Blowholes are geoforms resulting from the combination of karstification on the surface of a limestone cliff and the action of waves at its base, generating a conduit that acts as a decompression element for the impact of the waves, rhythmically emitting air currents or water jets onto the cliff surface. In the Pría area, based on 15 floristic inventories, it has been verified that on the upper edge of the blowholes and their surroundings, halocasmophytic species predominate (*Crithmum maritimum*, *Armeria pubigera* subsp. *depilata*, *Limbarda crithmoides* and *Plantago coronopus*), which tolerate high salinity, being highly exposed to the water jets and the air laden with marine spray emitted by the blowholes. *The same happens at the edge of the cliff.* Further away, the aerohaline meadow develops (predominantly composed of *Festuca rubra*), where the soil cover is well consolidated. Finally, at a greater distance, aerohaline scrubland develops, mainly composed by *Ulex europaeus* and *Erica vagans*.

Keywords: karstification, blowholes, geotope, halophytic vegetation, eastern Asturian coast.

1 Introducción

La vegetación de los ecosistemas litorales presenta adaptaciones específicas derivadas de las condiciones ambientales y microclimáticas propias de estos entornos, especialmente en lo referente a su alta tolerancia a la salinidad. Estos condicionantes dan lugar a una organización de la cubierta vegetal en orlas o cinturones de vegetación, diferenciados según el gradiente de adaptación de las especies a los factores abióticos propios del medio costero (Díaz-González *et al.,* 2002). Dicha organización general puede reproducirse total o parcialmente a mayor escala, si se dan las condiciones óptimas para ello. Es el caso de los bufones, formas kársticas litorales de excepcional singularidad presentes en el oriente asturiano, cuya génesis se debe a la combinación de la karstificación y la acción mecánica del oleaje, y que son capaces de emitir fuertes chorros de agua, aire y/o *spray* marino al ritmo del impacto de las olas en la base del acantilado, principalmente durante las pleamares. En este sentido, el objetivo de este trabajo es estudiar la vegetación existente en el entono de uno de los principales campos de bufones de Asturias, el de Llames de Pría (Flor-Blanco *et al.,* 2023), para comprobar si, como ocurre el en el borde de los acantilados, los bufones sustentan también la vegetación típica de la franja halocasmofítica, cumpliendo en consecuencia la función de geotopos (es decir, de elementos geomorfológicos

de interés que, a escala de detalle, acogen también formaciones vegetales de gran singularidad y fragilidad); y trastocando, por tanto, la típica gradación de la vegetación costera en función de la mayor o menor cercanía al mar, ante la localización de las bocas de estas geoformas en el interior de rasa.

2 Área de estudio

El área de estudio de este trabajo se corresponde con el sector de los Bufones de Pría, localizado en las proximidades del pueblo de Llames de Pría (concejo de Llanes, oriente de Asturias; Fig. 1). Desde el punto de vista geológico, este ámbito pertenece a la Región de Mantos, enmarcada dentro de la Zona Cantábrica (Julivert, 1983). El roquedo está constituido mayoritariamente por calizas de la Formación Valdeteja (Carbonífero superior). La geomorfología de este espacio está controlada por la naturaleza de ese roquedo y su disposición estructural, lo que origina un profuso relieve kárstico. La topografía de esta área, llana en líneas generales, presenta irregularidades de detalle derivadas de la karstificación, ya que se corresponde con un sector de la rasa calcárea, escalón inferior que articula la marina oriental asturiana. Las altitudes, de entre 10 y 65 m s.n.m., contrastan con las sierras planas cuarcíticas que se desarrollan a mayor cota en las inmediaciones, constituyendo antiguos niveles de abrasión marina.

El clima es templado, térmicamente poco contrastado y con abundantes precipitaciones (Cfb2 según la clasificación de Köppen; Muñoz Jiménez, 1982). La vegetación predominante es de porte herbáceo, si bien aparecen formaciones arbustivas en parte del área de estudio. Se enmarca en el piso biogeográfico termocolino de la región eurosiberiana, con especies propias de ambientes litorales. Además de la presencia de actividad agroganadera, el sector estudiado destaca por ser un área visitada masivamente por turistas y senderistas. La erosión del suelo generada por la afluencia descontrolada de personas está teniendo consecuencias directas sobre la vegetación, con la degradación de gran parte del suelo y la cubierta vegetal del entorno. Pese a ser un espacio con elevada singularidad, no está regulado por ninguna figura de protección específica.

3 Materiales y métodos

El trabajo, efectuado entre abril y mayo de 2026, se basó en el recorrido sistemático del área de estudio para identificar las formaciones vegetales existentes y confeccionar un mapa de vegetación (Fig. 1), así como en la realización de 15 inventarios florísticos. Éstos se realizaron sobre superficies de 1 metro cuadrado debido a la limitada extensión de las orlas halocasmofíticas existentes alrededor de los bufones, y de la especificidad de las especies implicadas (preferentemente herbáceas). En función de la extensión del área de estudio y del número de formaciones presentes (3), el número de recuentos mencionado se consideró suficiente para alcanzar el objetivo planteado en esta aportación. El mapa resultante fue realizado utilizando el Sistema de Información Geográfica QGIS 3.34, empleando como base el Modelo Digital del Terreno del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de máxima actualidad, perteneciente al Instituto Geográfico Nacional. Sobre él, además de las formaciones vegetales, se incluyó la superficie erosiva de origen antrópico existente a fecha de 2023 a partir de una ortofotografía del PNOA, para diferenciar los sectores de suelo erosionado y desnudo de las unidades de vegetación, y la localización de los bufones.

4 Resultados

A partir de los 15 inventarios de vegetación realizados en el área de los bufones de Pría (Fig. 1), se describe la composición florística y las características de las tres formaciones vegetales identificadas en el área. Éstas se disponen siguiendo un gradiente desde el borde del acantilado hacia el interior de la rasa calcárea, que se ve alterado localmente en torno a la localización de los bufones existentes. Las tres formaciones son: i) la orla halocasmofítica, ii) la pradera aerohalina y iii) el matorral aerohalino.

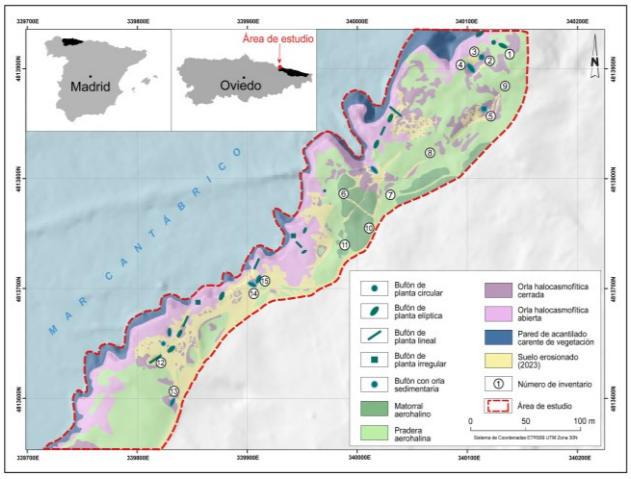


Fig. 1. Mapa de vegetación de los bufones de Pría con la localización del área de estudio.

4.1 Orla halocasmofítica

Ocupa los suelos esqueléticos y los depósitos sedimentarios situados en el borde superior del acantilado, así como los ubicados alrededor de las bocas de los bufones; es decir, los ámbitos en contacto directo con el agua y el aerosol aportado por el mar. Se han realizado nueve inventarios en esta unidad, todos ellos alrededor de alguno de los 28 bufones existentes en el área. De ellos, solamente en uno se alcanzó el estrato subarbustivo. Por tanto, se trata de una formación de porte eminentemente herbáceo. Las especies con mayor frecuencia y cobertura son el brezo de mar (*Frankenia laevis*), presente en siete inventarios, con valores de abundancia-dominancia (A/D) de hasta 5, la *Festuca rubra* (siete inventarios, máximo de 5 en A/D) y la lavanda de mar (*Limonium binervosum*) con siete inventarios y un máximo de 3 en A/D. Por su parte, la *Armeria pubigera* subsp. *depilata* está presente en ocho inventarios, con valores bajos de A/D (1-2). El romero marino (*Limbarda crithmoides*) y el hinojo

marino (*Crithmum maritimum*) aparecen en ambos casos en cinco inventarios. Con menor constancia se registran la esparraguera marina (*Asparagus prostratus*), presente en tres inventarios, el llantén menor (*Plantago coronopus*), localizado en dos recuentos, el cuernecillo de mar (*Lotus cytisoides*) inventariado dos veces, y *Atriplex prostrata* (incluida en un inventario). De forma puntual aparecen la oreja de ratón (*Cerastium glomeratum*), la vulneraria (*Anthyllis vulneraria*) y la zanahoria silvestre (*Daucus carota*). Por tanto, de los 13 taxones identificados en la orla halocasmofítica, 10 son especies halófilas. Con respecto al modo de agrupamiento, las especies dominantes citadas previamente forman manchas densas, mientras que el resto tiende a agruparse en pequeñas matas aisladas.

Los apartados referidos a las observaciones y la actividad antrópica de los nueve recuentos florísticos efectuados a esta formación vegetal evidencian la acción erosiva generada sobre la cubierta edáfica (y, por tanto, con incidencia también sobre la vegetación) por el funcionamiento de los propios bufones, formando surcos alrededor de los cuales se conservan pequeñas matas de vegetación. Sin embargo, la erosión debida al pisoteo de los visitantes constituye el principal factor de pérdida de suelo, de cubierta vegetal y, en suma, de degradación paisajística y ambiental de este sector. Por otra parte, la presión ganadera en el área es actualmente baja, con evidencias de aprovechamiento del área por parte de ganado bovino y caprino. Ello explica que la dinámica predominante sea la regresión (seis recuentos), frente a situaciones de equilibrio/regresión (dos casos) y de equilibro (un único inventario).

4.2 Pradera aerohalina

Esta formación herbácea se desarrolla sobre ámbitos de la rasa calcárea más alejados del borde del acantilado que en el caso anterior, aunque aún sometidos al ambiente salino (Fig. 1). Se han realizado tres inventarios florísticos. La *Festuca rubra* está presente en los tres, con puntuaciones máximas de A/D (5). Los taxones *Lotus cytisoides* y *Daucus carota* aparecen también en los tres inventarios, aunque con valores de A/D más bajos. *Armeria pubigera* subsp. *depilata* fue registrada en dos recuentos, junto a *Plantago maritima*, *Plantago coronopus* y la grama común (*Cynodon dactylon*), todos ellos con coberturas modestas. Los taxones *Limonium binervosum*, *Anthyllis vulneraria,* la escila de primavera (*Scilla verna*), y el trébol rojo (*Trifolium pratense*) aparecen en un solo inventario cada uno.

Con respecto al grado de agrupamiento, es máximo en el caso de la *Festuca rubra*, que domina en todos los recuentos efectuados a esta formación. El resto de las especies, por lo general, crece formando pequeños grupos de individuos. En este caso, siete taxones de un total de 11 detectados son halófilos. Si bien abundan las sendas en las proximidades, en general la pradera que aún subsiste está mejor conservada que los sectores de vegetación halocasmofíticos. Se ha constatado que esta formación se conserva mejor en los sectores más alejados de los principales conjuntos de bufones, y en aquellos otros de topografía más rugosa (por ejemplo, los parches existentes entre ámbitos rocosos). Por ello, la dinámica es de equilibro en dos recuentos, y de equilibrio/regresión en el tercero.

4.3 Matorral aerohalino (brezal-tojal)

Dentro del área de estudio, este matorral denso y espinoso ocupa las posiciones más interiores. Se trata de una formación de porte herbáceo e, incluso, subarbustivo. Las especies más representativas son el brezo vagabundo (*Erica vagans*) y el tojo (*Ulex europaeus*), presentes en los tres recuentos florísticos efectuados. La A/D alcanza valores máximos de 4 en la primera y 3 en la segunda. La carrasquilla azul (*Glandora diffusa*) aparece en dos inventarios (A/D de 1), al igual que la zarzaparrilla (*Smilax aspera*). De forma puntual se encuentran otras especies vivaces como los cuernecillos de la virgen (*Lotus corniculatus*) y *Silene uniflora*. En este caso, como corresponde con posiciones más desconectadas de la influencia directa del aerosol marino, solamente una especie está considerada como estrictamente halófila (*Silene uniflora*). Del resto de especies, hay algunas halotolerantes como el brezo vagabundo, la zarzaparrilla y los cuernecillos de la virgen, y dos intolerantes (el tojo y la carrasquilla azul). Respecto al impacto antrópico, el carácter espinoso y su posición más alejada de los bufones hacen que los visitantes atraviesen esta formación solo por sendas, sin pisoteo directo sobre la mayor parte de su extensión. Sí presenta, en cambio, indicios de incendios pasados, y de su uso como área de pasto en extensivo de ganado vacuno y cabrío. La dinámica es, en todos los casos, regresiva.

5 Discusión y conclusiones

5.1 Implicaciones geoecológicas

Se confirma el papel de los bufones como geotopos generados por la acción combinada de la erosión marina en la base del acantilado y la disolución kárstica sobre la superficie del mismo, hasta conformar conductos guiados por el entramado estructural que emiten rítmicamente aire, *spray* marino e, incluso, la mayoría de ellos también potentes chorros de agua cuando funcionan como surtidores durante los periodos de mayor energía. El agua lanzada por dichos chorros transporta gran cantidad de arena que, además de actuar como abrasivo en las paredes de los bufones (dando lugar a sectores pulidos), se deposita en los alrededores creando orlas sedimentarias totales (desarrolladas alrededor de todo el bufón) o parciales que, a su vez, acogen una vegetación halófila. Es decir, se trata de elementos geomorfológicos singulares que sustentan una vegetación muy específica, al reproducir alrededor de ellos la banda halocasmofítica típica de los sectores proximales de los acantilados cantábricos. Con ello, los bufones rompen la gradación normal que se sucede tierra adentro, desde la citada banda halocasmofítica en el propio veril costero, a la pradera aerohalina y, finalmente, al matorral aerohalino más al interior, al introducir nuevos parches halocasmofíticos entre las dos últimas formaciones en función de la localización de sus bocas.

Como ha quedado patente en el apartado de resultados, la orla halocasmofítica del borde acantilado y de los contornos de los bufones está compuesta por una vegetación principalmente halófila (10 de un total de 13 especies identificadas), capaz de sobrevivir en ambientes muy hostiles para la mayoría de las plantas, es decir, marcadamente limitantes y perjudiciales debido al exceso de sal. La estructura en mosaico, con manchas densas compuestas por las especies dominantes de esta orla (*Frankenia laevis, Festuca rubra, Limonium binervosum, Armeria pubigera* subsp. *depilata*), que se intercalan con pequeñas matas o agrupaciones menores de las especies secundarias, es típica de las formaciones vegetales presentes en los acantilados cantábricos. El predominio de la dinámica regresiva en los recuentos florísticos de la mencionada orla pone de relieve, por un lado, localizaciones marcadamente dominadas por procesos abióticos de alta energía como son el embate del oleaje en el borde del acantilado y las consecuentes salpicaduras de agua y aerosol marino, o la emisión de corrientes de aire, *spray* o incluso chorros de agua en el caso de los bufones y, por otro, la alta presión antrópica de los visitantes que acuden a ver el funcionamiento de los bufones, desencadenando con su pisoteo reiterado una intensa erosión alrededor de los más visitados, así como en los múltiples senderos que han surgido espontáneamente entre ellos.

En el caso de la pradera aerohalina, la *Festuca rubra* constituye la gramínea dominante, generando un césped denso acompañado de otras especies que se disponen en pequeñas manchas, o bien en forma de ejemplares aislados. El porcentaje de especies halófilas detectadas es aún elevado (64% del total identificado). La conservación de dicha formación es mejor que en el caso previo, al estar más alejada del borde costero, y también de los bufones como elementos en los que priman los procesos morfogenéticos, por un lado, y la erosión asociada a la sobreexplotación turística, por otro. La presencia de afloramientos rocosos que dificultan el tránsito de personas y que aíslan parches de suelo, y la existencia de sendas que canalizan el pisoteo en las inmediaciones, explican también su mejor conservación.

Finalmente, el matorral aerohalino está dominado por el brezo vagabundo y el tojo, acompañado puntualmente de algunas plantas vivaces entre las que cabe citar la zarzaparrilla, planta trepadora que forma parte habitualmente del cortejo florístico del encinar cantábrico, así como la carrasquilla azul, típica de las etapas de sustitución de la misma formación (Ruiz-Fernández, 2006). En el matorral aerohalino la presencia de especies halófilas es mucho más restringida (17% de los taxones reconocidos), siendo sustituidas por otras con grados intermedios de tolerancia, y apareciendo, incluso, especies netamente intolerantes a la salinidad. A pesar del menor impacto directo por el pisoteo de los visitantes debido al carácter espinoso de este matorral, no está exento de impactos antrópicos, concretados en las evidencias de haber sufrido incendios, y en su uso como área pastable en extensivo. La limitada diversidad florística de la formación en comparación con otras, típica de la landa atlántica, junto a los impactos reseñados, determinan su carácter regresivo.

5.2 La flora protegida de los Bufones de Pría

De las 23 especies identificadas en los recuentos, 14 cuentan con algún grado de protección. *Frankenia laevis* está catalogada como Preocupación Menor (LC) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), al igual que *Festuca rubra, Limbarda crithmoides, Crithmum maritimum, Lotus cytisoides, Atriplex prostrata, Cerastium glomeratum, Anthyllis vulneraria, Daucus carota, Cynodon dactylon* y *Trifolium pratense*. Por su parte, *Asparagus prostratus* está incluida en la Lista Roja de la UICN como taxón vulnerable, en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (LESPRE) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España (MITECO), y es considerada como vulnerable en Catálogo Regional de Especies Amenazadas de la Flora del Principado de Asturias. *Limonium binervosum* pertenece al LESPRE, y está declarada como en peligro crítico en Asturias. Finalmente, *Armeria pubigera* subsp. *depilata* también está incluida en el LESPRE. Es decir, el 61% de los taxones inventariados cuentan con algún estado de protección, destacando tres especies protegidas a escala estatal, y dos en el caso de Asturias. Por ello, el entorno de los bufones de Pría y de otros campos de bufones de la costa oriental de Asturias no solamente deben ser preservados por el evidente interés geopatrimonial que tienen debido a su peculiar génesis, morfología, funcionamiento y rareza a escala global, sino por albergar flora muy frágil desde el punto de vista de su conservación, a la vez que singular, al estar altamente adaptada a ambientes salinos. Esto entra en contradicción con el actual estado de deterioro ambiental del entorno de los bufones de Pría, objeto de este estudio, debido a la sobrecarga de visitantes que recibe este ámbito, carente de estrategias de ordenación eficaces que contribuyan a amortiguar la sobrecarga.

6 Referencias

Díaz-González, T.E., Fernández-Prieto, J.A. & Vázquez, A. (2002). *Paisaje vegetal del noroeste ibérico.* Editorial Trea.

Flor-Blanco, G., Adrados, L., Llana Fúnez, S. & Bruschi, V. M. (2023). Los campos de bufones de Pría y Arenillas (Asturias). ¿Patrimonio geológico mundial? *Geogaceta*, (74), 91-94.

Julivert, M. (1983). La estructura de la Zona Cantábrica. En: Libro jubilar a J.Mª. Ríos, IGME, Madrid, 339-381.

Muñoz Jiménez, J. (1982). Geografía física. El relieve, el clima y las aguas. En F. Quirós Linares (dir.), *Geografía de Asturias* (pp. 271), Ayalga Ediciones.

Ruiz-Fernández, J. (2006). El paisaje vegetal de la Sierra de Juan Robre y Jana (Oriente de Asturias) *Estudios geográficos*, (260), 141-168.

Dune vegetation composition under different management strategies and human pressure along the northern Catalan coast

Garcia-Lozano, Carla[1], Leccardi, Cinzia[2], Pintó, Josep[1] and Ciccarelli, Daniela[3]

[1] Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje, Universitat de Girona, Plaça Ferrater Mora, sn, 17004, Girona, Spain
[2] Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan, UMR 5110, Perpignan, France
[3] Department of Biology, Università di Pisa, Via Derna1, Pisa, Italy
carla.garcia@udg.edu

Abstract. Mediterranean beach–dune systems are subjected to intense anthropogenic pressure and coastal erosion processes, which have promoted the implementation of sustainable management strategies aimed at restoring their natural dynamics. This study analyses the floristic composition and biodiversity of four beaches located in northeastern Catalonia under different dune management strategies. Vegetation surveys were conducted using 2×2 m plots distributed along sea–inland transects across front-dune, dune-ridge and back-dune sectors. The results show differences in biodiversity and species composition among beaches and sectors. The northern sector of El Cortal de la Devesa presents the highest D_{ex} index value, whereas La Pletera shows the lowest value despite its recent ecological restoration. Artificial revegetation and anthropogenic pressure appear to promote community homogenization and increase the occurrence of ruderal and invasive species.

Key-words: Beach–dune systems, dune biodiversity, dune degradation, dune restoration, beach management.

Resumen. Los sistemas playa-duna mediterráneos están sometidos a una elevada presión antrópica y a procesos de erosión costera, lo que ha favorecido la implementación de gestión sostenible orientada a restaurar su dinámica natural. Este estudio analiza la composición florística y la biodiversidad de cuatro playas del nordeste de Cataluña sometidas a diferentes estrategias de gestión dunar. Se realizaron muestreos de vegetación mediante parcelas de 2×2 m distribuidas a lo largo de transectos mar-tierra en sectores de duna delantera, cresta dunar y trasduna. Los resultados muestran diferencias en la biodiversidad y composición de especies entre playas y sectores. La parte norte de El Cortal de la Devesa prsenta el mayor valor del índice D_{ex}, mientras que La Pletera muestra el menor valor pese a su restauración ecológica reciente. La revegetación artificial y la presión antrópica parecen influir en la homogeneización de comunidades y en la presencia de especies ruderales e invasoras.

Palabras clave: Sistemas playa-duna, biodiversidad dunar, degradación dunar, restauración dunar, gestión de playas.

Resumo. Os sistemas praia-duna mediterrânicos estão sujeitos a elevada pressão antrópica e a processos de erosão costeira, o que favoreceu a implementação de estratégias de gestão sustentável orientadas para restaurar a sua dinâmica natural. Este estudo analisa a composição florística e a biodiversidade de quatro praias do nordeste da Catalunha submetidas a diferentes estratégias de gestão dunar. Foram realizados levantamentos de vegetação através de parcelas de 2×2 m distribuídas ao longo de transectos mar-interior nos setores de duna frontal, crista dunar e retroduna. Os resultados mostram diferenças na biodiversidade e composição de espécies entre praias e setores. O setor norte de El Cortal de la Devesa apresenta o maior valor do índice D_{ex}, enquanto La Pletera apresenta o menor valor apesar do seu recente processo de restauração ecológica. A revegetação artificial e a pressão antrópica parecem influenciar a homogeneização das comunidades e a presença de espécies ruderais e invasoras.

Palavras-chave: Sistemas praia-duna, biodiversidade dunar, degradação dunar, restauração dunar, gestão de praias.

1 Introduction

In recent decades, the management of beach–dune systems has evolved towards approaches based on nature-based solutions aimed at restoring natural coastal dynamics and enhancing resilience to coastal erosion and climate change. Key measures include the installation of sand-trapping fences, the regulation of access through soft barriers, the limitation of public use, the reduction of mechanical beach cleaning, and the control of invasive alien species. These actions aim to promote the formation and stabilization of embryonic dunes and foredunes, as well as the recovery of characteristic dune plant communities, which in the Mediterranean are often highly degraded and no longer maintain their natural sea–inland zonation (Malavasi et al., 2014).

Dune vegetation plays a crucial role in these processes, as it enhances sediment accumulation and reduces erosion through both aboveground and belowground biomass. However, an ongoing debate concerns the role of active

interventions, such as planting, versus natural colonization processes. While planting and other management measures can accelerate dune formation and enhance their protective function, they may contribute to reduced biodiversity, increasing community homogenization, and limited belowground biomass development, which is essential for long-term stability (White et al., 2024). These differences can alter the structure and composition of plant communities, as well as associated ecological and geomorphological processes. Consequently, such interventions may be most appropriate in early stages of restoration or in highly degraded systems, whereas approaches that favour natural dynamics tend to support more resilient and functionally diverse dune systems (Moore et al., 2025).

The aim of this study is to evaluate the response of dune plant communities to these management measures and anthropogenic pressure, with particular attention to dune revegetation practices, through the analysis of floristic composition and species distribution along the sea–inland gradient.

2 Methodology

2.1 Study area selection

Four beaches were selected with similar geomorphological and climatic characteristics but differing in landscape structure and use regulation. Three of the beaches are in the southern sector of the Gulf of Roses, within the Aiguamolls de l'Empordà Natural Park, with widths ranging between 50 and 100 meters. The fourth beach is located in the northern sector of Pals Bay, within the Montgrí, Medes Islands and Baix Ter Natural Park, with a width ranging from 30 to 70 meters (Fig. 1).

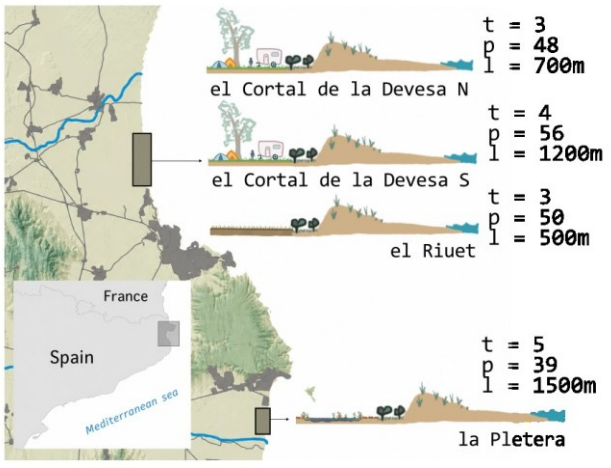


Fig. 1. Location of the studied beaches in northeastern Catalonia and schematic representation of the main landscape features surrounding each beach system. For each site, beach length (l), number of sampled transects (t), and total number of vegetation plots (p) are indicated.

El Cortal de la Devesa beach was divided into two sectors corresponding to adjacent campgrounds applying different management strategies (Fig. 1). The northern sector regulates beach access through designated pathways, dune fencing and more restricted mechanical cleaning, whereas the southern sector lacks defined access control and dune protection measures. El Riuet beach is bordered by a former agricultural area currently undergoing naturalization into a semi-floodable wetland, while La Pletera is surrounded by lagoons and marshes resulting from recent ecological restoration processes, the only studied beach that included revegetation in the management strategy.

2.2 Data collection and analysis

Vegetation data were collected in April 2026 using 2×2 m sampling plots, in which species presence and occurrence was recorded. These plots were distributed along 15 transects perpendicular to the shoreline, covering the gradient from the upper beach to the back-dune sector. Along each transect, different sectors were sampled: front-dune, dune-ridge, and back-dune, with a total of 193 plots (Fig. 1).

Presence tables of dune-specialist species were generated for each beach, as well as lists of the 20 most frequent species for each site. Additionally, the D_{ex} index was calculated for each beach, according to the methodology described in Pintó et al. (2023), to assess the level of conservation and naturalness of the plant communities. The D_{ex} index reflects the proportion of dune-restricted species present in relation to the maximum potential number of characteristic species of Mediterranean dune systems. Higher values indicate better floristic conservation, and a greater representation of specialist species adapted to sandy coastal environments.

3 Results and discussion

3.1 Dune-restricted species biodiversity

Among the studied beaches (Table 1), the northern sector of El Cortal de la Devesa showed the highest D_{ex} value (0.41), followed by El Riuet (0.38) and the southern sector of El Cortal de la Devesa (0.35), whereas La Pletera presented the lowest value (0.27). Unespectedly, La Pletera showed a relatively low proportion of dune-specialist species despite the long-term restoration process implemented since 2008 and the deconstruction of a former seafront promenade in 2018.

Table 1. D_{ex} indicator for each studied beach.

El Cortal de la Devesa N	El Cortal de la Devesa S	El Riuet	La Pletera
0.41	0.35	0.38	0.27

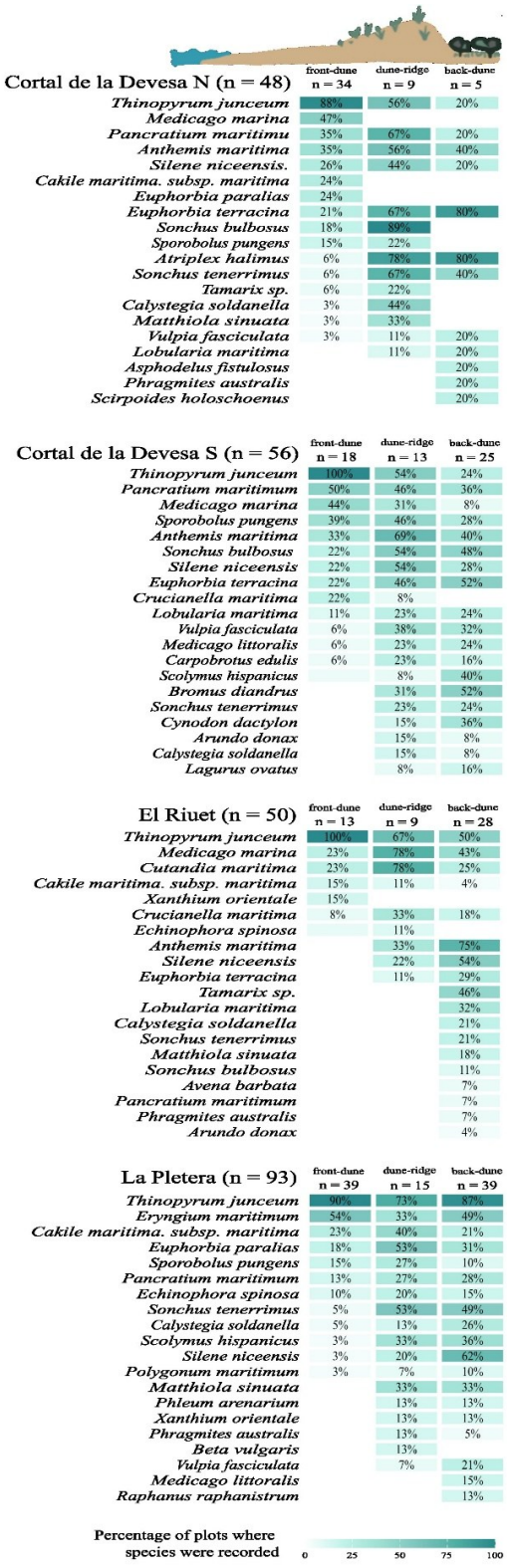


Fig. 2. Percentage of plots in which the 20 most frequent species where recorded. Data are presented by dune sector according to dune zonation: front-dune, dune-ridge, and back-dune. The number of plots (n) is indicated for each sector and for the entire beach system.

As suggested by White et al. (2024) and Moore et al. (2025) this pattern may be partially related to the fact that artificial revegetation has been systematically implemented in La Pletera, although additional factors such as geomorphological conditions and surrounding land use are also likely involved. Similarly, the moderate D_{ex} values observed in the southern sector of El Cortal de la Devesa may be associated with higher anthropogenic disturbance and ruderalization processes in the back-dune sector.

3.2 Dominant species

The results show variability in floristic composition among beaches and dune sectors, although several common species were identified across all analyzed systems. In the front-dune sector, *Thinopyrum junceum* was the dominant species, occurring in 90-100% of sampled plots. The second most abundant species in the front-dune is *Medicago marina* and *Pancratium maritimum* in El Cortal de la Devesa (southern and northern areas), whereas in El Riuet beach *Medicago marina* and *Cutandia maritima* were abundant. At La Pletera, *Eryngium maritimum* and *Cakile maritima* were also frequent. The relatively high presence of *Cakile maritima* in La Pletera may be related to the absence or reduced intensity of mechanical beach grooming in this system, which allows the persistence of wrack deposits and ephemeral vegetation communities (Defeo et al., 2009). In addition, the occurrence of *Cakile maritima* may reflect higher nutrient availability from the decomposition of organic debris deposited by waves and retained due to the low-intensity management of this non-urban beach.

In the dune-ridge sector, plant communities displayed a relatively diverse but shared composition among beaches, with high frequencies of *Thinopyrum junceum* across all studied systems. Particularly noteworthy was the abundant presence of *Anthemis maritima* in both the northern and southern sectors of El Cortal de la Devesa. Along the Catalan coast, this species is currently largely restricted to these beaches, where it was observed coexisting with invasive species such as *Arctotheca calendula* and *Carpobrotus edulis*. In the same system, *Pancratium maritimum* and *Silene niceensis* were also particularly abundant along the dune ridge, contrasting with the higher representation of *Medicago marina* and *Cutandia maritima* at El Riuet, and *Eryngium maritimum* and *Euphorbia paralias* at La Pletera.

In contrast to the presence of characteristic dune species within the dune-ridge sector, ruderal species such as *Sonchus tenerrimus* and were also frequently recorded across several beaches, despite these species being more commonly associated with back-dune environments. This pattern may reflect the high recreational pressure affecting these dune systems, where trampling, nutrient enrichment and ecological degradation processes promote the expansion of nitrophilous and disturbance-tolerant species. However, the ecological drivers explaining the distribution of foredune species remain complex, and further studies integrating sediment characteristics, nutrient dynamics, beach management intensity and geomorphological conditions are needed to better understand the relationships between specific management practices and the presence or absence of characteristic dune species.

It is also noteworthy that *Calamagrostis arenaria* — one of the most frequently cited dune-building species in coastal geomorphology and restoration literature — was not among the dominant species in any of the studied beaches, despite these systems representing some of the most important dune fields in Catalonia. This pattern can be explained by the well-known "*Ammophila arenaria* problem" described by Marshall (1965), whereby *Calamagrostis arenaria* progressively loses competitiveness in the absence of active sand movement and sediment burial. Continuous sand accretion and partial burial of the plant base are essential for stimulating the production of new adventitious roots and maintaining plant vigour. When aeolian dynamics decline, plant growth decreases and other species become more competitive. For this reason, *Calamagrostis arenaria* is generally less dominant along Mediterranean coasts, where wind dynamics and sediment transport are less intense than in Atlantic dune systems and where foredunes are often characterized by more diverse and less monospecific plant communities (Pintó & Garcia-Lozano, 2024).

Beyond the dune ridge, the abundance of *Thinopyrum junceum* generally decreased, although it remained dominant at El Riuet and La Pletera, where it was recorded in approximately 50% and nearly 90% of the sampled plots, respectively. *Anthemis maritima* also remained abundant in El Cortal de la Devesa despite the high degree of degradation affecting this sector, which is in direct contact with adjacent campgrounds. The species was also frequent at El Riuet, where cruising activities in the back-dune area noticeably degrade dune morphology and ecosystem structure.

In this sector, species associated with disturbed o generalist environments such as *Cynodon dactylon, Bromus diandrus*, *Sonchus sp.*, *Atriplex halimus* became more common reflecting, again, the high recreational pressure. In contrast, characteristic back-dune species such as *Silene niceensis* and *Euphorbia terracina* appeared only sporadically, while other species typically associated with well-conserved Mediterranean back-dunes, including *Crucianella maritima*, *Ononis ramosissima* and *Thymelaea hirsuta*, were not detected at all. Even *Carpobrotus edulis*, although not among the most abundant species, was present in several sectors. Its occurrence is strongly associated with ornamental gardening practices from adjacent campgrounds, as is the case for many invasive species colonizing Mediterranean dune environments.

4 Conclusions

The unusually high abundance of *Thinopyrum junceum* across all beach sectors along the sea–inland gradient, together with the relatively low D_{ex} values observed in restored systems such as La Pletera may suggest that artificial revegetation practices may contribute to the homogenization of dune vegetation and to shifts in the natural zonation of plant communities, although these patterns are also likely influenced by local geomorphological conditions and anthropogenic disturbance. However, given the limited number of study sites analysed and the fact that this pattern was only clearly observed in one restored system, these results should be interpreted with caution and cannot support categorical conclusions. Moreover, these patterns cannot be explained exclusively by revegetation practices, as the results also suggest that differences among beaches are strongly influenced by anthropogenic pressure such as land uses surrounding the beach, recreation or beach management. Further research focused on local management practices — particularly revegetation strategies — together with the morphological condition and sediment dynamics of dune systems, is needed to better understand the relationships between these factors and the floristic composition of Mediterranean dunes.

5 References

Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., & Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022

Malavasi, M., Santoro, R., Cutini, M., Acosta, A. T. R., & Carranza, M. L. (2014). What has happened to coastal dune vegetation in the last 50 years? A multiscale analysis. *Landscape and Urban Planning*, 119, 54–63. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.07.007

Marshall, J. K. (1965). *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv. as a model for the Ammophila problem. *Journal of Ecology*, 53(2), 447–463. https://doi.org/10.2307/2257988

Moore, L. J., Hacker, S. D., Breithaupt, J., de Vries, S., Miller, T., Ruggiero, P., & Zinnert, J. C. (2025). Ecomorphodynamics of coastal foredune evolution. *Nature Reviews Earth & Environment*. https://doi.org/10.1038/s43017-025-00672-z

Pintó, J., Garcia-Lozano, C., & Varga, D. (2023). Using dune-restricted species to assess the degree of natural diversity of dune systems on Mediterranean tourist coasts. *Ecological Indicators,* (147). https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110004

Pintó, J., & Garcia-Lozano, C. (2024). Dune-restricted species and their role in dune habitat restoration on the Catalan coast. The case of *Ammophila arenaria*. *Geousp*, v. 28, n. 3, e230745.

White, K. J., Snyder, C. M., & Zinnert, J. C. (2024). Planting and natural colonization shape coastal dune vegetation structure and function. *Journal of Applied Ecology*. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14567.

6 Acknowledgements

This study was conducted within the framework of the DUAL project — Urban Dunes for Coastal Adaptation (ref. EFA 152/03) — co-funded by the European Union through the Interreg VI-A Spain–France–Andorra Programme (POCTEFA 2021–2027).

FutureLand: Restoration of nature and higher education in Europe, an Erasmus+ project to enhance the students' competences

Garcia-Lozano, Carla[1], Feliu, Jaume[1], Font-Casaseca, Núria[1], Roura-Pascual, Núria[2] and Vila-Subirós, Josep[1]

[1] Universitat de Girona, Departament de Geografia, Plaça Ferrater Mora, sn, 17004, Girona, Spain
[2] Universitat de Girona, Departament de Ciències Ambientals, Plaça Ferrater Mora, sn, 17004, Girona, Spain
carla.garcia@udg.edu

Abstract. The accelerating degradation of European ecosystems and biodiversity loss have led the European Union to adopt the Nature Restoration Law (Regulation EU 2024/1991), a landmark regulation requiring the restoration of at least 20 % of EU land and sea areas by 2030 and all ecosystems in need of restoration by 2050. FutureLand is an Erasmus+ Cooperation Partnership (KA220-HED, 2025–2028) that mobilizes higher education to respond to this challenge by developing innovative pedagogical interventions in land use and landscape planning and management. The project pursues two overarching objectives: increasing awareness and know-how on the role of nature restoration in addressing climate change and biodiversity crisis, and designing innovative learning environments that strengthen working-life competences for NRL implementation. Led by the University of Eastern Finland, the consortium of seven organizations from Finland, Spain, Italy and Ukraine will produce a competence analysis, a micro-credential, a MOOC, a challenge-based learning handbook and three applied learning labs.

Keywords: nature restoration, higher education, nature restoration law, challenge-based learning, landscape

Resumen. La degradación de los ecosistemas europeos y la pérdida acelerada de biodiversidad han llevado a la Unión Europea a adoptar la Ley de Restauración de la Naturaleza (Regulation EU 2024/1991), marco legislativo histórico que obliga a restaurar al menos el 20 % de las superficies terrestres y marinas para 2030 y todos los ecosistemas degradados para 2050. FutureLand es un proyecto de asociación para la cooperación (KA220-HED, Erasmus+, 2025–2028) que articula la respuesta de la educación superior a este reto mediante el desarrollo de intervenciones pedagógicas innovadoras orientadas a la planificación y gestión del uso del suelo y el paisaje. Sus objetivos son: incrementar la conciencia y el conocimiento sobre el papel de la restauración en la lucha contra el cambio climático y la crisis de biodiversidad, y diseñar entornos de aprendizaje que refuercen las competencias profesionales necesarias para implementar la NRL. El proyecto, liderado por la Universidad de Finlandia Oriental y desarrollado por un consorcio internacional de siete organizaciones de Finlandia, España, Italia y Ucrania, produce como resultados principales: un análisis de competencias, una microcredencial, un MOOC, un manual de aprendizaje basado en retos y tres laboratorios de aprendizaje aplicado.

Palabras clave: restauración de la naturaleza, educación superior, ley de restauración de la naturaleza, aprendizaje basado en retos, paisaje.

Resumo. A degradação dos ecossistemas europeus e a perda acelerada de biodiversidade levaram a União Europeia a adotar a Lei de Restauração da Natureza (Regulation EU 2024/1991), um marco legislativo histórico que exige restaurar pelo menos 20% das áreas terrestres e marinhas até 2030 e todos os ecossistemas degradados até 2050. O FutureLand é um projeto de parceria para a cooperação (KA220-HED, Erasmus+, 2025–2028) que articula a resposta do ensino superior a este desafio através do desenvolvimento de intervenções pedagógicas inovadoras orientadas para o planeamento e a gestão do uso do solo e da paisagem. Os seus objetivos são aumentar a consciencialização e o conhecimento sobre o papel da restauração no combate às alterações climáticas e à crise da biodiversidade, bem como conceber ambientes de aprendizagem que reforcem as competências profissionais necessárias para implementar a NRL. O projeto, liderado pela Universidade da Finlândia Oriental e desenvolvido por um consórcio internacional de sete organizações da Finlândia, Espanha, Itália e Ucrânia, produz como principais resultados: uma análise de competências, uma microcredencial, um MOOC, um manual de aprendizagem baseada em desafios e três laboratórios de aprendizagem aplicada.

Palavras-chave: restauração da natureza, ensino superior, lei de restauração da natureza, aprendizagem baseada em desafios, paisagem.

1 Introduction

The ecological crisis confronting Europe is both urgent and multidimensional. According to the European Environment Agency (2020), more than 80 % of EU habitats assessed under the Habitats Directive are in unfavorable conservation status. Simultaneously, the global scientific community has confirmed that six of the nine planetary boundaries identified by Rockström et al. (2009) have already been

transgressed, with biosphere integrity — i.e., biodiversity loss — and land-system change among the most critically exceeded (Richardson et al., 2023). These converging pressures led the European Commission to adopt the Nature Restoration Law (Regulation EU 2024/1991), NRL onwards, the first continent-wide, comprehensive legislation of its kind, which sets binding targets to restore degraded ecosystems across the EU's land and sea areas by 2030 and 2050.

The NRL represents not only a regulatory milestone but also a structural challenge for the professionals responsible for its implementation: landscape planners, environmental managers, regional authorities, and the next generation of specialists currently being trained in higher education institutions. A major gap exists between the scale of the ecological ambition embedded in the NRL and the competences available in the workforce — an interdisciplinary gap that universities are uniquely positioned to address (Dlouhá et al., 2013; Wiek et al., 2011). FutureLand was designed precisely to bridge this gap.

2 Project objectives and design

FutureLand — "Nature Restoration: challenges and opportunities for future landscape specialists" — is an Erasmus+ Cooperation Partnership (KA220-HED, 2025–2028) funded with 400,000 € and led by the University of Eastern Finland (UEF). The consortium comprises seven organizations from four countries (Fig. 1): UEF and the Regional Council of North Karelia (Finland); the Universitat de Girona and the Diputació de Girona (Spain); the Università IUAV di Venezia and the Ente Parco Regionale Veneto Delta del Po (Italy); and the V. N. Karazin Kharkiv National University (KKNU onwards) (Ukraine). This partnership deliberately combines research universities with regional public authorities and a natural park to ensure that educational interventions are grounded in real governance challenges.



Fig. 1. FutureLand consortium members bringing together complementary expertise in agricultural (Spain), coastal (Italy), and forest (Finland) ecosystem restoration to develop innovative educational materials.

The project pursues two overarching objectives: first, to increase awareness and know-how on the role of nature restoration in the fight against climate change, the biodiversity crisis and the exceedance of planetary boundaries; and second, to design innovative learning environments and interventions for higher education that strengthen working-life competences for NRL implementation and enhance student employability. These objectives are operationalized through five work packages that form a pedagogical continuum: knowledge valorization, creation of learning facilities, applied challenge-based learning labs, and dissemination.

3 Key Outputs and methodology

3.1 Competence analysis and knowledge valorization

WP2 begins with a systematic competence analysis based on a survey directed at professionals working on NRL implementation across partner countries and other EU countries. Drawing on the scientific literature on sustainability competences (Wiek et al., 2011), the survey maps the knowledge, skills and attitudes required by future landscape specialists. The method for analyzing competences through a survey addressed to professionals and specialists had already been developed in previous projects by the members participating in FuturLand (Feliu et al., 2019). The results of this type of analysis make it possible to rank the importance of competences globally, identify general trends and characteristics, and analyses separately and comparatively the different territories under study. The survey, which is currently being disseminated, contains more than 70 different variables grouped into 9 thematic areas, which will provide a very in-depth understanding of experts' opinions in this field of intervention. Results will be published as a peer-reviewed article, a policy brief and a blog, ensuring both academic and practitioner reach. A central output of WP2 is a micro-credential on nature restoration (Fig. 2), available in English and translated into national languages via AI-assisted tools, freely accessible and maintained for at least three years after the project's conclusion.

3.2 Massive open online course (MOOC)

WP3 delivers the main learning infrastructure of the project: a MOOC hosted on the DigiCampus platform of the UEF, worth 2 ECTS credits for formal learners (Fig. 2). Structured into four interdisciplinary modules — introduction to the NRL, multidisciplinary approaches to restoration, political ecology and stakeholder perspectives, and participatory methods — the course combines video lectures, expert interviews, case studies and automated assessment. The MOOC design follows socio-constructivist learning theory (Vygotsky, 1978) and aligns with the EU Digital Education Action Plan (2021–2027). It is also open and free for lifelong learners, including staff from regional partner organizations, making it a durable public good beyond the project's lifespan.

3.3 Challenge-based learning labs

WP4 constitutes the experiential core of FutureLand. Three applied ten-day learning labs will be organized in Venice (Italy, marine and coastal ecosystems), Girona (Spain, agricultural ecosystems and green infrastructure) and Joensuu (Finland, forest ecosystems), each hosting twenty students from the four partner universities. Students will first complete the MOOC as preparatory study, then engage in challenge-based learning (CBL) alongside regional stakeholders and professionals (Fig. 2). CBL is a collaborative, hands-on pedagogical approach that asks students to address authentic environmental challenges through critical inquiry, teamwork and community engagement (Johnson & Adams Becker, 2014; Gallagher et al., 1992). KKNU contributes a cross-cutting perspective on urban ecosystems in all three labs, reflecting the functional interdependence of rural and urban landscapes. A freely available handbook will codify the lab methodology for replication by other HEIs.

3.4 Dissemination and impacts

Key activities also include stakeholder-oriented events linked to the applied learning labs (WP4), where results are presented to decision-makers and practitioners, fostering interaction between higher education and environmental governance.

The strategy culminates in a final symposium bringing together researchers, policymakers, and practitioners to evaluate outcomes, exchange best practices, and reinforce long-term collaboration networks. WP4 constitutes the experiential core of FutureLand. Three applied ten-day learning labs will be organized in Venice (Italy, marine and coastal ecosystems).

WP5 defines the communication and dissemination strategy of FutureLand, aiming to ensure long-term impact beyond the consortium. Led by the KKNU, it combines digital tools and targeted outreach to engage academic, professional, and policy audiences.

The plan includes a project website and social media channels to share results, open-access materials, and project updates (Fig. 2). All partners contribute through coordinated communication actions, ensuring continuous dissemination throughout the project.



Fig. 2. Overview of the FutureLand project outputs.

4 Relevance and Broader Significance

FutureLand occupies a strategically significant moment: the NRL entered into force in June 2024, and EU member states are currently drafting national restoration plans due in June 2026. The project is therefore uniquely positioned to strengthen the competences of future practitioners in real time, while national implementation frameworks are still being shaped. This responsiveness to policy windows aligns with the literature on sustainability-oriented higher education reform, which emphasizes the need for curricula to anticipate rather than merely react to societal transitions (Sterling, 2004; Barth et al., 2007).

At the European level, the project's value lies in its capacity to transcend national boundaries. Restoration is inherently a transnational challenge: migratory species, shared river basins, connected marine environments and common policy frameworks require shared knowledge and coordinated professional formation. By bringing together universities, regional councils and protected area managers from three EU countries and Ukraine, FutureLand models the kind of intersectoral, transnational partnership that the NRL demands of its implementers. The inclusion of KKNU from Ukraine is particularly significant: it contributes expertise on post-conflict ecological restoration and urban ecosystem recovery, while facilitating Ukraine's alignment with EU environmental standards ahead of accession (Richardson et al., 2023).

The inclusion of Ukraine as a project partner adds a critical and timely dimension to FutureLand. Beyond its contribution to transnational cooperation, Ukraine provides unique expertise in post-conflict environmental restoration, territorial resilience, and the recovery of degraded urban and rural ecosystems under extreme conditions. Recent research has highlighted both the direct impacts of the Russian invasion on protected natural areas and the relevance of military brownfields redevelopment and adaptive land-use strategies as key pathways for sustainable recovery in Ukraine (Vila-Subirós et al., 2024; Morar et al., 2024). In the current geopolitical context, supporting Ukrainian higher education institutions is not only an academic objective but also a strategic commitment aligned with European values of solidarity, reconstruction, and integration. By actively involving the KKNU, the project contributes to capacity building in a country undergoing profound socio-environmental transformation, while fostering the alignment of its environmental governance and educational systems with EU standards. This reinforces FutureLand's role as a forward-looking initiative that bridges ecological restoration, higher education innovation, and the broader European integration process.

The pedagogical innovation embedded in FutureLand also deserves emphasis. The integration of micro-credentials, MOOCs and CBL labs reflects the EU's vision for flexible, modular higher education that serves both initial learners and lifelong learners (Council Recommendation 2022/C 243/02). By linking formal degree programmes with open access learning and field-based experiential education,

the project creates a multi-layered competence-building ecosystem that can be adopted and adapted by institutions far beyond the consortium.

5 Conclusions

FutureLand represents a timely, evidence-based and pedagogically innovative response to one of the most urgent environmental policy challenges in Europe. By aligning higher education with the objectives of the NRL, the project contributes to closing the competence gap that currently constrains NRL implementation at national and regional levels. Its outputs — a competence analysis, a micro-credential, a MOOC, a CBL handbook and three international learning labs — form a coherent and transferable ecosystem of learning resources grounded in collaboration between academia, regional governance and civil society. Through its transnational partnership and commitment to open educational resources, FutureLand aspires to become a reference model for how higher education can actively drive ecological restoration in Europe and beyond.

6 References

Barth, M., Godemann, J., Rieckmann, M., & Stoltenberg, U. (2007). Developing key competencies for sustainable development in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 8(4), 416–430. https://doi.org/10.1108/14676370710823582

Council of the European Union. (2022). Council Recommendation of 16 June 2022 on a European approach to micro-credentials for lifelong learning and employability. *Official Journal of the European Union*, C 243, 10–23. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022H0627%2801%29

Dlouhá, J., Helánek, J., & Dlouhý, J. (Eds.). (2013). *Higher Education for Sustainability: Cases, Challenges, and Teaching Woeagle*. Charles University Environment Centre.

European Environment Agency. (2020). *State of nature in the EU*. EEA Report No. 10/2020. https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-nature-in-the-eu

European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1991 on nature restoration. *Official Journal of the European Union*, L, 1–68. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401991

Feliu, J., Inkeroinen, P., Markuszewska, I., Tanskanen, M., Nuss, S., & Vila-Subirós, J. (2019). Defining competences for future geography students in relation to low carbon societies. *Journal of Geography in Higher Education*, 43(4), 415-430. https://doi.org/10.1080/03098265.2019.1660863

Gallagher, S. A., Stepien, W. J., & Rosenthal, H. (1992). The effects of problem-based learning on problem solving. *Gifted Child Quarterly*, 36(4), 195–200. https://doi.org/10.1177/001698629203600405

Johnson, L., & Adams Becker, S. (2014). *NMC Horizon Report: 2014 Higher Education Edition*. The New Media Consortium.

Morar, C., Berman, L., Erdal, S., & Niemets, L. (Eds.). (2024). *Achieving sustainability in Ukraine through military brownfields redevelopment*. Springer.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., … Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458. https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., … Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475. https://doi.org/10.1038/461472a

Sterling, S. (2004). Higher education, sustainability, and the role of systemic learning. En P. B. Corcoran & A. E. J. Wals (Eds.), *Higher Education and the Challenge of Sustainability* (pp. 49–70). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-48515-X_5

Vila-Subirós, J., Niemets, L., & Sehida, K. (2024). The impact of the Russian invasion of Ukraine on protected natural areas: A quantitative approach and the opportunities and challenges of nature restoration. *In Achieving sustainability in Ukraine through military brownfields redevelopment* (pp. 125–138). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2278-8_12

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218. https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6

7 Acknowledgements

This work is part of the FutureLand project (ref. KA220-HED-FE64163D) is funded by the Erasmus+ Programme of the European Union under Cooperation Partnerships in Higher Education (KA220-HED Call 2025).

Efectos de la restauración fluvial sobre las comunidades de aves en un río urbano: el caso del Congost en Granollers (Cataluña)

Barriocanal, Carles[1], Farguell, Joaquim[1], Carvalho, Filipe[2] y Moreno de las Heras, Mariano[1]

[1] Grup de Recerca Ambiental Mediterrània (GRAM), Departamento de Geografía, Universitat de Barcelona, Carrer de Montalegre, 6, 08001, Barcelona, España.
[2] FluvAlps-PaleoRisk, Departamento de Geografía, Universitat de Barcelona, Carrer de Montalegre, 6, 08001, Barcelona, España.
carles.barriocanal@ub.edu

Resumen. Los ecosistemas fluviales se encuentran entre los sistemas naturales más alterados por la actividad humana, debido a procesos como la canalización de cauces, la construcción de infraestructuras hidráulicas, la desconexión de las llanuras aluviales y la modificación del régimen hidrológico y sedimentario. Estas transformaciones han generado una pérdida significativa de funcionalidad ecológica, reduciendo la heterogeneidad del hábitat, la conectividad longitudinal y lateral, y la biodiversidad asociada. En este contexto, la restauración fluvial se ha consolidado como una estrategia esencial para recuperar procesos hidrológicos y geomorfológicos, mejorar la calidad del agua, restablecer la dinámica natural del río y favorecer la provisión de servicios ecosistémicos. En las últimas décadas, estos enfoques han evolucionado hacia soluciones basadas en la naturaleza, integrando criterios ecológicos, sociales y económicos, y promoviendo la gestión adaptativa frente al cambio climático. Las aves constituyen un grupo bioindicador de gran relevancia en la evaluación de estos procesos, dada su sensibilidad a los cambios en la estructura del hábitat, su diversidad funcional y su amplia movilidad. La respuesta de las comunidades avifaunísticas permite detectar variaciones en la calidad ecológica del sistema, especialmente a través de métricas como la riqueza específica, la diversidad, la uniformidad de abundancias y la composición comunitaria. En este estudio se analizan las comunidades de aves en dos tramos contrastados del río Congost (Granollers, Cataluña): un tramo urbano altamente artificializado y un tramo periurbano naturalizado donde se han eliminado estructuras transversales y se ha recuperado parcialmente el bosque de ribera. Mediante censos lineales realizados en otoño de 2024, invierno de 2025 y primavera de 2026, se calcularon índices de biodiversidad (riqueza, Shannon, Simpson y Pielou) y de similitud (Jaccard y Sorensen). Los resultados muestran que el tramo naturalizado presenta mayor riqueza y valores de diversidad equivalentes o superiores, así como comunidades más equilibradas. Los índices de similitud revelan un núcleo común de especies, pero también una diferenciación creciente entre tramos según la estación, asociada a la presencia de especialistas en el tramo naturalizado y de especies generalistas en el urbano. En conjunto, los resultados confirman el valor de las aves como bioindicadores y evidencian que la restauración fluvial mejora la biodiversidad y refuerza la resiliencia ecológica del sistema.

Palabras clave: restauración fluvial, biodiversidad, aves bioindicadoras, río Congost, índices ecológicos, río urbano

Resumo. Os ecossistemas fluviais estão entre os sistemas naturais mais alterados pela atividade humana, devido a processos como a canalização dos cursos de água, a construção de infraestruturas hidráulicas, a desconexão das planícies de inundação e a modificação do regime hidrológico e sedimentar. Essas transformações geraram uma perda significativa de funcionalidade ecológica, reduzindo a heterogeneidade do habitat, a conectividade longitudinal e lateral e a biodiversidade associada. Nesse contexto, a restauração fluvial consolidou-se como uma estratégia essencial para recuperar processos hidrológicos e geomorfológicos, melhorar a qualidade da água, restabelecer a dinâmica natural do rio e favorecer a provisão de serviços ecossistêmicos. Nas últimas décadas, essas abordagens evoluíram para soluções baseadas na natureza, integrando critérios ecológicos, sociais e económicos e promovendo a gestão adaptativa face às mudanças climáticas. As aves constituem um grupo bioindicador de grande relevância na avaliação desses processos, dada a sua sensibilidade às alterações na estrutura do habitat, a sua diversidade funcional e a sua ampla mobilidade. A resposta das comunidades avifaunísticas permite detetar variações na qualidade ecológica do sistema, especialmente através de métricas como a riqueza específica, a diversidade, a uniformidade das abundâncias e a composição comunitária. Neste estudo analisam-se as comunidades de aves em dois trechos contrastantes do rio Congost (Granollers, Catalunha): um trecho urbano altamente artificializado e um trecho periurbano naturalizado, onde foram eliminadas estruturas transversais e recuperado parcialmente o bosque ripário. Por meio de censos lineares realizados no outono de 2024, inverno de 2025 e primavera de 2026, calcularam-se índices de biodiversidade (riqueza, Shannon, Simpson e Pielou) e de similaridade (Jaccard e Sorensen). Os resultados mostram que o trecho naturalizado apresenta maior riqueza e valores de diversidade equivalentes ou superiores, bem como comunidades mais equilibradas. Os índices de similaridade revelam um núcleo comum de espécies, mas também uma diferenciação crescente entre os trechos conforme a estação, associada à presença de especialistas no trecho naturalizado e de espécies generalistas no urbano. Em conjunto, os resultados confirmam o valor das aves como bioindicadores e evidenciam que a restauração fluvial melhora a biodiversidade e reforça a resiliência ecológica do sistema.

Palavras-chave: restauraçao fluvial, biodiversidade, aves bioindicadoras, río Congost, índices ecológicos, ríu urbanu

Abstract. River ecosystems are among the natural systems most heavily altered by human activity, due to processes such as channelization, construction of hydraulic infrastructures, disconnection of floodplains, and modification of hydrological and sedimentary regimes. These transformations have led to a significant loss of ecological functionality, reducing habitat heterogeneity, longitudinal and lateral connectivity, and associated biodiversity. In this context, river restoration has emerged as an essential strategy to recover hydrological and geomorphological processes, improve water quality, re-establish natural river dynamics, and enhance the provision of ecosystem services. In recent decades, restoration approaches have increasingly incorporated nature-based solutions, integrating ecological, social, and economic criteria and promoting adaptive management in the face of climate change. Birds represent a highly relevant bioindicator group for evaluating restoration outcomes, given their sensitivity to habitat structure, functional diversity, and high mobility. Their community responses allow the detection of ecological changes through metrics such as species richness, diversity, evenness, and community composition. This study examines bird communities in two contrasting sections of the Congost River (Granollers, Catalonia): an urban, highly modified reach and a peri-urban restored reach where transverse structures have been removed and riparian forest has been partially recovered. Linear transect surveys were conducted in autumn 2024, winter 2025, and spring 2026. Biodiversity indices (richness, Shannon, Simpson, and Pielou) and similarity indices (Jaccard and Sorensen) were calculated. Results show that the restored reach exhibits higher species richness and equal or greater diversity values, as well as more balanced communities. Similarity indices reveal a shared core of species but also increasing differentiation between reaches across seasons, associated with the presence of riparian specialists in the restored section and generalist species in the urban one. Overall, the findings confirm the value of birds as ecological indicators and demonstrate that river restoration enhances biodiversity and strengthens the ecological resilience of the system.

Keywords: river restoration, biodiversity, bioindicator birds, Congost river, ecological indices, urban river

1 Introducción

Los ecosistemas fluviales se encuentran entre los sistemas más intensamente transformados por la actividad humana, como consecuencia de la canalización de los cauces, la construcción de infraestructuras hidráulicas, la desconexión de las llanuras aluviales y las alteraciones del régimen hidrológico y sedimentario, procesos que comprometen su funcionalidad ecológica. Estas intervenciones han provocado, entre otros efectos, la simplificación de la estructura del hábitat, la pérdida de conectividad longitudinal y lateral, la alteración de los patrones naturales de transporte de sedimentos y nutrientes, así como una notable disminución de la biodiversidad asociada a estos sistemas. Asimismo, la regulación de caudales mediante presas y azudes ha modificado la variabilidad hidrológica natural, afectando los ciclos de inundación y estiaje que resultan esenciales para el mantenimiento de múltiples procesos ecológicos (Poff et al., 1997; Nilsson et al., 2005).

En este contexto, la restauración fluvial se ha consolidado como una estrategia clave para la recuperación de procesos hidrológicos y geomorfológicos y de los servicios ecosistémicos asociados. Este enfoque no se limita a intervenciones estructurales puntuales, sino que promueve la rehabilitación integral del sistema fluvial, incluyendo la recuperación de la dinámica natural del río, la reconexión con sus llanuras de inundación y la restitución de la continuidad ecológica. Además, la restauración fluvial busca restablecer funciones esenciales como la regulación del ciclo hidrológico, la mejora de la calidad del agua, la mitigación del riesgo de inundaciones y la provisión de hábitats para la fauna y flora acuáticas y ribereñas. En las últimas décadas, este campo ha evolucionado hacia enfoques basados en soluciones basadas en la naturaleza, integrando criterios ecológicos, sociales y económicos, y reconociendo la importancia de la participación de los actores locales y la gestión adaptativa en escenarios de cambio climático (Palmer et al., 2005; Comisión Europea, 2013).

Las aves constituyen un grupo bioindicador especialmente relevante en estos procesos, dada su rápida respuesta a los cambios en la calidad del hábitat y su utilidad para evaluar la eficacia de las actuaciones de restauración. Su elevada movilidad, diversidad funcional y amplia distribución espacial permiten detectar variaciones tanto a escala local como regional, lo que las convierte en herramientas eficaces para el seguimiento ecológico de los sistemas fluviales. En particular, las comunidades de aves responden de manera sensible a cambios en la estructura de la vegetación ribereña, la disponibilidad de recursos tróficos, la heterogeneidad del hábitat y el grado de conectividad ecológica, aspectos todos ellos directamente influenciados por las intervenciones de restauración. Además, ciertos gremios funcionales, como las especies insectívoras o aquellas dependientes de hábitats riparios bien conservados, pueden actuar como indicadores específicos del estado ecológico del ecosistema, permitiendo una evaluación más precisa de los resultados de las actuaciones. El análisis de métricas como la riqueza específica, la abundancia relativa o la composición de la comunidad avifaunística proporciona información valiosa sobre la recuperación de procesos ecológicos y la resiliencia del sistema. En este sentido, el uso de aves como bioindicadores se ha consolidado en la literatura científica como una aproximación robusta y operativa para la evaluación de la restauración ecológica (Gregory et al., 2005).

Este estudio analiza la respuesta de las comunidades de aves a diferentes modelos de gestión fluvial en el río Congost a su paso por Granollers (Vallès Oriental, Cataluña), donde coexisten dos tramos con morfologías contrastadas: un tramo urbano, altamente canalizado y artificializado, y un tramo periurbano naturalizado, en el que se han

eliminado parcialmente estructuras transversales y se ha recuperado parte de la dinámica fluvial y en la que se ha recuperado el bosque de ribera.

2 Área de Estudio y Metodología

Se han realizado censos lineales de aves en los dos tramos estudiados del Congost a su paso por Granollers (Fig. 1). Los censos se han realizado en cada uno de los tramos en otoño de 2024, en invierno de 2025 y en primavera de 2026 para tener un contraste estacional. Cada censo cubrió 4 quilómetros de río (2 por cada lado de la sección) y se realizó dentro de las cuatro primeras horas del día. La velocidad de censo fue de aproximadamente 2 quilómetros por hora para mirar de recoger el máximo número de evidencias de especies de aves (observaciones o cantos).

A partir de los datos de campo se calcularon un conjunto de índices de biodiversidad (Riqueza específica (S), Índice de Shannon (H'), Índice Simpson y Índice de Pielou) así como los Índices de similitud de Jaccard y Sorensen para comparar los valores entre tramos y estaciones.

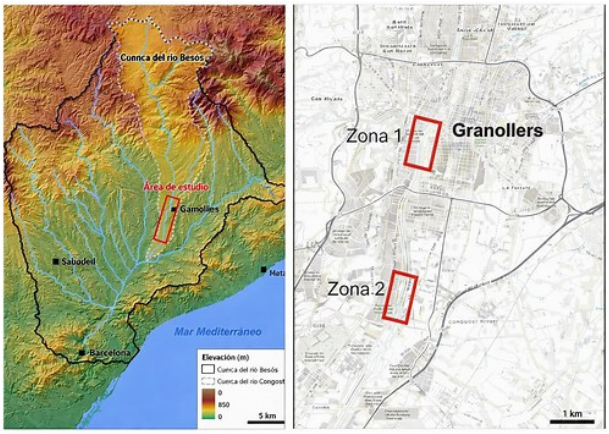


Fig. 1. Localización de Granollers y el río Congost (izquierda) y los dos tramos analizados (derecha).

3 Resultados

3.1 Índices de biodiversidad

Los resultados de los análisis de los índices de biodiversidad aplicados muestran que, en general, la riqueza en las áreas naturalizadas es superior a la urbanas, mientras que el índice de Simpson indica que, en general las dos comunidades son bastante diversas y sin dominancias extremas (Tabla 1). Por su parte, el Índice de Pielou, que valora que tan uniformes son las abundancias, apunta valores altos, por lo que todas las especies son bastante abundantes, no hay ninguna que domine por encima de otra (Tabla 1).

3.2 Índices de similitud de la biodiversidad

Respecto a los índices de similitud de las aves censadas en el Congost, la tabla 2 muestra que en general las dos zonas comparten un núcleo sólido de especies a lo largo de las estaciones.

Tabla 1. Índices de biodiversidad de aves en el río Congost a su paso por Granollers, por estaciones y tipología de tramo.

Estación	Zona	S (riqueza)	H' Shannon	1-D Simpson	J' Pielou
Otoño	Naturalizada	25	2.775	0.929	0.862
	Urbana	21	2.403	0.867	0.789
Invierno	Naturalizada	25	2.692	0.891	0.836
	Urbana	24	2.790	0.932	0.878
Primavera	Naturalizada	26	2.724	0.916	0.836
	Urbana	27	2.737	0.916	0.830

Tabla 2. Índices de similitud ornítica en el río Congost a su paso por Granollers, por estaciones y tipología de tramo.

Estación	Zona	Jaccard	Sorensen
Otoño	Naturalizada Urbana	0,567	0,724
Invierno	Naturalizada Urbana	0,433	0,604
Primavera	Naturalizada Urbana	0,419	0,591

Otoño e invierno presentan una alta similitud, aunque en invierno se nota que, la sensible bajada, responde a que cada zona empieza a expresar con fuerza su identidad ecológica: la naturalizada retiene especialistas de bosques de ribera, mientras que la urbana concentra especies comensales y coloniales. En primavera, en cambio, la similitud es moderada, los dos tramos presentan más diferencias, pero no porque pierdan especies compartidas, sino porque cada una acumula especies propias ligadas a su estructura de hábitat.

4 Conclusiones

Las comunidades de aves analizadas en el río Congost muestran una respuesta clara a las diferencias en la gestión fluvial entre el tramo urbano y el tramo naturalizado. Los resultados evidencian que la restauración fluvial aplicada en el sector periurbano favorece la recuperación de procesos ecológicos esenciales, lo que se traduce en una mayor riqueza específica y en valores de diversidad más elevados o equivalentes respecto al tramo urbano. La presencia de un bosque de ribera parcialmente recuperado y de una dinámica fluvial menos alterada genera un mosaico de hábitats más

complejo, capaz de sostener comunidades avifaunísticas más diversas y funcionalmente completas.

Los índices de biodiversidad confirman esta tendencia. La riqueza específica es sistemáticamente superior en el tramo naturalizado, mientras que los índices de Shannon y Simpson indican que ambas comunidades son diversas y sin dominancias extremas. El índice de Pielou muestra valores altos en todos los casos, lo que sugiere comunidades equilibradas en abundancia. Sin embargo, el hecho de que el tramo naturalizado combine uniformidad con mayor riqueza apunta a un ecosistema más estable y resiliente, coherente con lo esperado en sistemas fluviales con mejor integridad ecológica.

Los índices de similitud de Jaccard y Sorensen revelan que ambos tramos comparten un núcleo común de especies, pero también muestran cómo la identidad ecológica de cada tramo se acentúa según la estación. En otoño la similitud es elevada, pero en invierno disminuye debido a que el tramo naturalizado retiene especies especialistas de ribera, mientras que el urbano concentra especies generalistas y comensales. En primavera, la similitud se reduce aún más, no por pérdida de especies compartidas, sino por la incorporación de especies propias de cada hábitat, lo que refuerza la diferenciación funcional entre ambos sectores. Esta dinámica confirma la utilidad de los índices de similitud para detectar procesos ecológicos asociados a la restauración.

La mayor riqueza y diversidad observadas en el tramo naturalizado evidencian que la restauración fluvial ha mejorado la calidad y complejidad del hábitat. La recuperación de la vegetación de ribera y la reducción de las alteraciones antrópicas favorecen la presencia de especies más especializadas, mientras que el tramo urbano encontramos especies generalistas. Estas diferencias reflejan una mayor integridad ecológica y capacidad de resiliencia en el tramo restaurado.

En conjunto, los resultados subrayan el valor de las aves como bioindicadores de la calidad del hábitat y de la eficacia de las actuaciones de restauración. La mayor presencia de especies asociadas a hábitats riparios bien conservados en el tramo naturalizado valida el impacto positivo de las intervenciones realizadas. Finalmente, el estudio pone de manifiesto que la naturalización de ríos urbanos no solo mejora la biodiversidad, sino que contribuye a reforzar la resiliencia ecológica del sistema y a recuperar servicios ecosistémicos clave.

5 Referencias

European Commission (2013). Building a Green Infrastructure for Europe. Publications Office of the European Union.

Gregory, R. D., van Strien, A., Vorisek, P., Meyling, A. W., Noble, D. G., Foppen, R. P. B., & Gibbons, D. W. (2005). Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360(1454), 269–288.

Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308(5720), 405–408.

Palmer, M. A., et al. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208–217.

Poff, N. L., et al. (1997). *The natural flow regime*. BioScience, 47(11), 769–784.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda 2021SGR00859 del GRAM, la ayuda 2021SGR01103 de FluvAlps-Paleorisk y las ayudas del IdRA UB-IdRA-AGR01-2022 y UB-IdRA-AGR02-2023.

Revisitando la paradoja de Reid: dispersión de semillas a larga distancia hacia sus futuros óptimos climáticos por aves frugívoras migratorias

Bracho-Estévanez, Claudio Açaí [1,2]; González-Moreno, Pablo [2,3]; Onrubia, Alejandro [4]; Rösner, Sascha [5]; Morales, Juan Manuel [6,7] y González-Varo, Juan Pedro [1]

[1] Departamento de Biología, Instituto Universitario de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz, Cádiz 11519, Spain
[2] Departamento de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Dendrocronología, Silvicultura y Cambio Global (DendrodatLab), Universidad de Córdoba, Córdoba 14071, Spain
[3] ERSAF. Andalusian Institute for Earth System Research (IISTA), Universidad de Córdoba, Córdoba, 14071, Spain
[4]Migres Foundation, International Bird Migration Center (CIMA), Cádiz 11390, Spain
[5] Conservation Ecology, Faculty of Biology, Philipps-Universität Marburg, Marburg, Hessen 35043, Germany
[6] School of Biodiversity, One Health and Veterinary Medicine, University of Glasgow, Glasgow G61 1QH, UK
[7] Grupo de Ecología Cuantitativa, INIBIOMA-CONICET, Universidad Nacional del Comahue, San Carlos de Bariloche 8400, Argentina
claudiobracho9696@gmail.com

Resumen. El cambio climático es una amenaza global para la conservación de la biodiversidad, forzando a numerosas especies a desplazarse desde sus rangos actuales a regiones más frías para mantenerse en sus óptimos climáticos. En los ecosistemas terrestres, esto se traduce en redistribuciones que llegan a superar los 10 km por década hacia futuras zonas óptimas. Las plantas dependen de la dispersión de sus semillas para redistribuirse. Sin embargo, la mayoría de las semillas son dispersadas a distancias cortas (decenas de metros desde la planta madre), insuficientes para explicar cambios en la distribución de flora a gran escala. Esta discrepancia, conocida como la "paradoja de Reid", se resolvería al considerar los eventos de dispersión de semillas a larga distancia. Aunque poco frecuentes, dichos eventos son determinantes para la rápida redistribución de flora en respuesta al cambio climático. Las plantas con fruto carnoso dependen en gran medida de las aves frugívoras migratorias para dispersarse a larga distancia, pero hasta la fecha desconocíamos si de este modo podían alcanzar sus futuros óptimos climáticos. Con tal de resolverlo, implementamos modelos mecanicistas que simulan la migración de zorzales comunes (*Turdus philomelos*), una de las aves frugívoras migratorias más importantes del continente europeo. Posteriormente, solapamos su migración al norte con la distribución actual de 14 especies de plantas objetivo, cuantificando los eventos de dispersión de semillas a larga distancia resultantes, cruzándolos asimismo con las futuras zonas óptimas de cada especie de planta en Europa. Nuestros resultados muestran que las aves frugívoras migratorias pueden facilitar la dispersión de las plantas hacia parte de sus futuros óptimos climáticos. La eficacia de este proceso depende de rasgos como el tamaño de las semillas, que limita la dispersión a larga distancia en aquellas especies con semillas más grandes, o de la distancia entre el rango actual y las futuras zonas óptimas de cada especie. Así, evidenciamos cómo las aves frugívoras actuarían como vectores clave en la redistribución de flora frente al cambio climático, desentrañando a su vez diferencias entre especies de plantas en su potencial de redistribución que serían de especial relevancia para la formación de futuras comunidades vegetales.

Palabras clave: Biogeografía, cambio climático, frugivoría, modelos mecanicistas, redistribución vegetal.

Resumo. As alterações do clima constituem uma ameaça global à conservação da biodiversidade, forçando muitas espécies a deslocarem-se das suas áreas atuais para regiões mais frias, a fim de evitar a extinção. Nos ecossistemas terrestres, isto traduz-se em taxas de redistribuição que podem exceder 10 km por década em direção a áreas climaticamente adequadas no futuro. As plantas dependem da dispersão das suas sementes para acompanhar estas mudanças. No entanto, a maioria das sementes é dispersa a curtas distâncias (tipicamente dezenas de metros da planta-mãe), o que é insuficiente para explicar alterações na distribuição das plantas à larga escala. Esta discrepância, conhecida como "paradoxo de Reid", pode ser resolvida ao considerar eventos de dispersão de sementes a longa distância. Embora raros, estes eventos são determinantes para explicar a rápida redistribuição das plantas em resposta às alterações do clima. As plantas com frutos carnosos dependem em grande medida de aves frugívoras migratórias para a dispersão a longa distância, mas permanece incerto se este mecanismo lhes permite alcançar os seus futuros ótimos climáticos. Para abordar esta questão, implementámos modelos mecanicistas que simulam a migração do tordo-comum (*Turdus philomelos*), uma das aves frugívoras migratórias mais importantes do continente europeu. Em seguida, sobrepusemos as rotas migratórias à distribuição atual de 14 espécies-alvo de plantas, quantificámos os eventos de dispersão de sementes a longa distância e cruzámo-los com as áreas futuras adequadas para cada espécie na Europa. Os nossos resultados mostram que as aves frugívoras migratórias podem facilitar a dispersão das plantas para os seus futuros ótimos climáticos. A eficácia deste processo depende de características das plantas como o tamanho das sementes, que limita a dispersão a longa distância

nas espécies com sementes maiores, bem como da distância entre a distribuição atual e as áreas futuras adequadas. Assim, demonstramos que estas aves atuam como vetores-chave na redistribuição das plantas sob alterações do clima, revelando diferenças interespecíficas no potencial de dispersão com implicações relevantes para a conservação dos ecossistemas terrestre.

Palavras-chave: Biogeografia, mudança climática, frugivoria, modelos mecanicistas, redistribuição vegetal.

Abstract. Climate change poses a global threat to biodiversity conservation, forcing many species to shift from their current ranges toward cooler regions to avoid extinction. In terrestrial ecosystems, this results in redistribution rates that can exceed 10 km per decade toward future suitable areas. Plants rely on seed dispersal to track these changes. However, most seeds are dispersed over short distances (typically tens of meters from the parent plant), which is insufficient to explain large-scale shifts in plant distributions. This discrepancy, known as the "Reid's paradox", can be resolved by considering long-distance seed dispersal events. Although rare, such events are critical for explaining the rapid redistribution of flora under climate change. Plants bearing fleshy fruits largely depend on migratory frugivorous birds for long-distance dispersal, yet it remains unclear whether this mechanism enables them to reach their future climatic optima. To address this, we implemented mechanistic models simulating the migration of the song thrush (*Turdus philomelos*), one of the most important migratory frugivorous birds in the European continent. We then overlaid migration routes with the current distributions of 14 target plant species, quantified the resulting long-distance seed dispersal events, and finally intersected these with projected future suitable areas for each plant species in Europe. Our results show that migratory frugivorous birds can facilitate plant dispersal toward future climatic optima. The effectiveness of this process depends on plant traits such as seed size, which constrains long-distance dispersal in species with larger seeds, as well as on the distance between current ranges and future suitable areas. Overall, our findings show that frugivorous birds act as key vectors of plant redistribution under climate change, while revealing significant interspecific differences in dispersal potential that are relevant for guiding the conservation of terrestrial ecosystems.

Keywords: Biogeography, climate change, frugivory, mechanistic models, plant redistribution.

1 Introducción

El cambio climático constituye una de las amenazas más importantes para la conservación de la biodiversidad global. El aumento rápido y sostenido de las temperaturas obliga a muchas especies a redistribuirse para alcanzar nuevas regiones que ofrezcan condiciones ambientales adecuadas, de acuerdo con sus requerimientos fisiológicos y ecológicos, sorteando así el riesgo de extinción en sus rangos actuales (Corlett & Westcott, 2013). En los ecosistemas terrestres, este proceso se traduce en desplazamientos a mayores altitudes y latitudes, es decir, siguiendo gradientes térmicos favorables. Hoy en día, existe evidencia empírica sobre redistribuciones de biodiversidad a más de diez kilómetros por década hacia zonas más frías (Lenoir et al., 2020).

Dada su naturaleza sésil, las plantas dependen de la dispersión de sus semillas para redistribuirse. La mayoría de las semillas son dispersadas a distancias cortas de la planta madre, generalmente de decenas a centenares de metros. Esta dispersión local permite comprender cambios demográficos de las poblaciones vegetales, pero no basta para explicar procesos ecológicos y evolutivos que ocurren a escalas espaciales y temporales mayores (Nathan et al., 2008). El problema, referido frecuentemente como la "paradoja de Reid", es un tema central en biogeografía. En su obra "The origin of the British flora" (Reid, 1899), el paleobotánico Clement Reid enfatizó la importancia de la dispersión de semillas a larga distancia para tratar de desentrañar y comprender los patrones globales de distribución de flora. Aunque poco frecuente, dicha dispersión a larga distancia (decenas o centenares de kilómetros) podría facilitar fenómenos cruciales para las plantas, como su rápida redistribución ante cambios climáticos (Pakeman, 2001; González-Varo et al., 2024).

Las plantas con fruto carnoso son una parte importante de la flora leñosa del planeta que depende de los animales frugívoros para dispersarse (Jordano, 2014). A su vez, miles de millones de aves frugívoras realizan movimientos migratorios anualmente, dando lugar a uno de los fenómenos biológicos con mayor capacidad para dispersar semillas a larga distancia y hacia zonas más frías (Viana et al., 2016; Bracho-Estévanez et al., 2025). Además de implicar el movimiento de numerosos vectores, estos desplazamientos reiterados presentan un marcado componente direccional y pueden extenderse cientos o miles de kilómetros desde un determinado punto de origen. Sin embargo, hasta la fecha se desconocía la probabilidad de que una especie de planta pudiese alcanzar las zonas que constituirán sus futuros óptimos climáticos al ser dispersada por aves frugívoras en migración. Asimismo, estudios previos han mostrado que aquellas especies de plantas que fructifican durante la migración prenupcial de las aves frugívoras presentan un mayor potencial para ser dispersadas hacia regiones más frías (González-Varo et al., 2021). No obstante, aún no se había evaluado si otros rasgos de las plantas, más allá de la fenología de fructificación, pueden influir en su capacidad de redistribución mediada por aves frugívoras migratorias en el actual contexto de rápido cambio climático.

2 Métodos

Con el objetivo de solventar el vacío de conocimiento descrito en la introducción, se diseñaron modelos mecanicistas espacialmente explícitos que simulan la dispersión de

semillas por aves frugívoras migratorias. El sistema de estudio consistió en 14 especies de plantas con fruto carnoso dispersadas por zorzales comunes (*Turdus philomelos*) en migración prenupcial a lo largo del continente europeo (una de las aves frugívoras migratorias más importantes de la región, dispersando más de 80 especies de plantas). El estudio se centró en especies de plantas dispersadas en migración prenupcial (hacia el norte), dado que las especies dispersadas en otros períodos tendrían un potencial limitado para alcanzar zonas más frías (González-Varo et al., 2021). La simulación mecanicista se basó en las reglas del proceso de dispersión de semillas por aves migratorias descritas e implementadas por Bracho-Estévanez et al. (2025), considerando los movimientos migratorios de las aves, la ingestión de frutos y la retención y deposición de semillas a larga distancia.

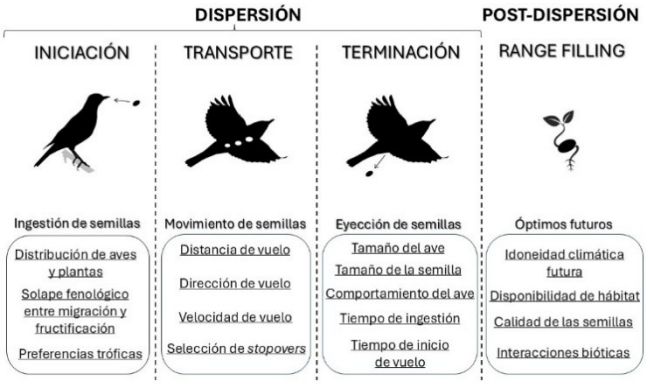


Fig. 1. Esquema ilustrando las cuatro fases de la redistribución de flora por aves frugívoras migratorias (inicio, transporte y terminación de la dispersión, y establecimiento en el rango óptimo futuro). Añadimos además algunos de los condicionantes claves de cada fase. Texto y esquema adaptado de Nathan et al. (2008).

Para estimar las distancias de dispersión, se implementó un enfoque de remuestreo paramétrico bayesiano, que permite incorporar la incertidumbre asociada a los parámetros del modelo y generar distribuciones probabilísticas de las distancias de dispersión para cada especie de planta objetivo. Con el fin de representar explícitamente la dimensión espacial del proceso, se simuló una temporada completa de migración de zorzales comunes hacia el norte en el continente Europeo, incluyendo: (i) las trayectorias migratorias de las aves, (ii) su solapamiento con las distribuciones actuales de las plantas objetivo, y (iii) los eventos de dispersión de semillas a lo largo del área de estudio.

Posteriormente, se cuantificó el grado de coincidencia espacial entre los eventos de dispersión de semillas simulados y las proyecciones futuras del nicho climático de las plantas, con el fin de evaluar el potencial de relleno del rango futuro óptimo de cada especie de planta (*range filling*). En particular, se utilizaron modelos de distribución de especies siguiendo la metodología (e.g. datos de ocurrencia, variables ambientales, algoritmos, ensamblado y métricos de evaluación) implementada en Bracho-Estévanez et al. (2024), considerando la idoneidad climática en el año 2090 bajo el escenario SSP5-8.5 (representa una trayectoria de altas emisiones, y se seleccionó para representar un escenario de uso intensivo de combustibles fósiles y ausencia de medidas de mitigación del cambio climático). El relleno del futuro óptimo se calculó como la proporción entre el número de celdas futuras climáticamente adecuadas que reciben eventos de dispersión y el total de celdas futuras adecuadas en toda el área de estudio, indicando la fracción del rango futuro óptimo alcanzada mediante la dispersión a larga distancia por aves frugívoras migratorias. Además, se utilizaron modelos lineales generalizados mixtos con tal de evaluar el efecto de predictores como la distancia media de dispersión de semillas, la variación en la distribución potential o la latitud y longitud de la distribución actual en el relleno del futuro óptimo, considerando los efectos aleatorios de la especie de planta. Por otro lado, se emplearon tanto el criterio de información de Akaike (AIC) como el coeficiente R^2 para evaluar la idoneidad de los modelos y su capacidad explicativa. Todos los análisis se llevaron a cabo en el entorno de programación R, versión 4.2.3 (R Core Team, 2023).

3 Resultados

Las especies de plantas con fruto carnoso estudiadas rellenaron entre un 15% y un 42% de sus futuros óptimos climáticos, con un valor promedio del 22% al considerar todas las especies. La variación en la distribución potencial de las especies y en las distancias de dispersión de semillas explican, por sí solas, una proporción sustancial de las diferencias entre especies para rellenar sus futuros óptimos climáticos (R^2 = 0.29 y 0.28, respectivamente). El modelo más explicativo mostró que la distancia entre la distribución actual y el futuro óptimo climático, la distancia media de dispersión de semillas por aves frugívoras migratorias y propiedades de las distribuciones actuales son determinantes en dicho proceso (R^2 = 0.74).

Cuanto mayor es la distancia entre el rango actual de una especie y su futuro óptimo climático, menor es su capacidad para alcanzar estos nuevos territorios: por cada unidad adicional de distancia (expresada en escala estandarizada), el porcentaje de relleno del futuro óptimo climático tiende a reducirse en 0.231 unidades. Por el contrario, las especies cuyas semillas son dispersadas a mayor distancia por aves frugívoras migratorias presentan mayor capacidad para rellenar sus futuros óptimos climáticos: por cada unidad adicional en la distancia de dispersión (expresada en escala estandarizada), el porcentaje de relleno del futuro óptimo tiende a aumentar en 0.239 unidades. Además, se observaron correlaciones negativas entre el tamaño promedio de las semillas y el porcentaje de relleno del futuro óptimo de las especies de plantas (entre −0.31 y −0.07), indicando que aquellas especies con semillas más pequeñas tienen mayor capacidad de redistribución.

4 Discusión

Los resultados muestran que las aves frugívoras migratorias, al transportar semillas a centenares de kilómetros, permitirían a las plantas con fruto carnoso alcanzar áreas climáticamente adecuadas en el futuro. Dicho mecanismo favorecería

la redistribución de las plantas en el actual contexto de rápido cambio climático, y sería especialmente relevante para las especies que fructifican durante la migración prenupcial de las aves (González-Varo et al., 2021). Cabe resaltar que la dispersión de semillas a larga distancia se ve favorecida por la abundancia de aves frugívoras que migran anualmente, lo que las convierte en un vector clave para la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático.

No obstante, la capacidad de las plantas para aprovechar este mecanismo de dispersión a larga distancia es heterogénea. Las especies con mayores cambios entre su distribución actual y su futuro óptimo, y con semillas más grandes dispersadas a menor distancia (Bracho-Estévanez et al., 2025), presentan menor capacidad para alcanzar regiones más frías. Esto evidencia que los rasgos de las plantas podrían modular la efectividad de las aves frugívoras migratorias como agentes de redistribución de flora en las próximas décadas. De igual modo, este mecanismo habría podido generar diferencias entre especies de plantas en su capacidad para persistir ante cambios climáticos pasados (Reid, 1899).

Aunque las semillas sean dispersadas a larga distancia y alcancen áreas climáticamente adecuadas, esto no asegura su redistribución efectiva. La capacidad de las plantas para redistribuirse recae también en la cantidad de semillas depositadas en sus futuros óptimos climáticos y en su capacidad de establecimiento (Wu et al., 2023; Acevedo-Limón et al., 2024), cuestiones que dependen - entre otros - de las preferencias tróficas de las aves, la abundancia y fecundidad de las plantas, o las interacciones bióticas en los ecosistemas receptores de semillas (Corlett & Westcott, 2013). Aumentar nuestra comprensión sobre dichos componentes es esencial para predecir la reorganización de las comunidades vegetales en el actual contexto de cambio climático.

5 Conclusiones

Las especies de plantas con fruto carnoso no responden de manera uniforme al cambio climático, difiriendo en su capacidad para alcanzar los territorios que les serán favorables en el futuro. Además de la fenología, esta desigualdad se debe a la variabilidad interespecífica en las distancias de dispersión de semillas por aves frugívoras migratorias y en sus áreas de distribución. Aquellas especies con semillas más pequeñas, o cuyos futuros óptimos se sitúan más cerca de sus rangos actuales, presentan mayor capacidad para redistribuirse. Así pues, las aves frugívoras migratorias (junto a otros animales migratorios; González-Varo et al., 2024) desempeñarían un papel esencial en la reorganización de la vegetación bajo escenarios de cambio climático, siendo los rasgos de las plantas clave para desentrañar qué especies podrían alcanzar y eventualmente colonizar regiones más frías.

6 Referencias

Acevedo-Limón, L., Rumeu, B., Bracho-Estévanez, C. A., & González-Varo, J. P. (2024). EstablishMed, a dataset of transition probabilities for woody plant establishment in the Mediterranean Region. *Global Ecology and Biogeography*, *33*(9), 1-13.

Bracho-Estévanez, C. A., Arenas-Castro, S., González-Varo, J. P., & González-Moreno, P. (2024). Spatially explicit metrics improve the evaluation of species distribution models facing sampling biases. *Ecological Informatics*, *84*, 1-11.

Bracho-Estévanez, C. A., Morales, J. M., González-Moreno, P., Onrubia, A., Rösner, S., & González-Varo, J. P. (2025). How far can frugivorous birds disperse seeds during migration?. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *292*(2059), 1-12.

Corlett, R. T., & Westcott, D. A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*, *28*(8), 482–488.

González-Varo, J. P., Rumeu, B., Albrecht, J., Arroyo, J. M., Bueno, R. S., Burgos, T., da Silva, L. P., Escribano-Ávila, G., Farwig, N., García, D., Heleno, R. H., Illera, J. C., Jordano, P., Kurek, P., Simmons, B. I., Virgós, E., Sutherland, W. J., & Traveset, A. (2021). Limited potential for bird migration to disperse plants to cooler latitudes. *Nature. 595*, 75–79.

González-Varo, J. P., Rumeu, B., Bracho-Estévanez, C. A., Acevedo-Limón, L., Baltzinger, C., Lovas-Kiss, Á., & Green, A. J. (2024). Overlooked seed-dispersal modes and underestimated distances. *Global Ecology and Biogeography*, *33*(6), e13835.

Jordano, P. (2014). Fruits and frugivory. In R. S. Gallagher (Ed.), *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities* (pp. 18–61). CAB International.

Lenoir, J., Bertrand, R., Comte, L., Bourgeaud, L., Hattab, T., Murienne, J., & Grenouillet, G. (2020). Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nature Ecology & Evolution*, *4*(8), 1044–1059.

Nathan, R., Schurr, F. M., Spiegel, O., Steinitz, O., Trakhtenbrot, A., & Tsoar, A. (2008). Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology & Evolution*, *23*(11), 638–647.

Pakeman, R. J. (2001). Plant migration rates and seed dispersal mechanisms. *Journal of Biogeography*, *28*(6), 795–800.

R Core Team. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing. R version 4.2.3 (2023-03-15 ucrt).* The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Reid C. (1899). *The origin of the British flora*. London, UK: Dulau.

Viana, D. S., Santamaría, L., & Figuerola, J. (2016). Migratory birds as global dispersal vectors. Trends in Ecology & Evolution, 31(10), 763–775.

Wu, Z. Y., Milne, R. I., Liu, J., Nathan, R., Corlett, R. T., & Li, D. Z. (2023). The establishment of plants following long-distance dispersal. Trends in Ecology & Evolution, 38(3), 289–300.

Solving the evolutionary relationships of a disjoint distribution snake species complex (*Lygophis dilepis*, Dipsadidae) through phylogenomic and morphological tools

Nehemy, Ibrahim Kamel Rodrigues[12], Gehara, Marcelo Coelho Miguel[2], Solferini, Vera Nisaka[3], Werneck, Fernanda P.[4], Koch, Claudia[5] y Guedes, Thaís B.[61] Department of Animal Biology, Institute of Biology, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brazil

[2] Department of Earth and Environmental Sciences, Rutgers University, Newark, NJ, USA
[3] Department of Genetics, Evolution, Microbiology, and Immunology, Institute of Biology, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brazil
[4] Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA), Manaus, AM, Brazil
[5] Leibniz Institute for the Analysis of Biodiversity Change (LIB), Hamburg, Germany
[6] Instituto de Biociências, Departamento de Biodiversidade, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, São Paulo, 13506-900, Brazil.
ibrahimnehemy@hotmail.com

Abstract. The Diagonal of Open Formations (DOF: Caatinga, Cerrado, and Chaco) constitutes an excellent setting for understanding Neotropical diversification processes. *Lygophis dilepis* Cope, 1862 is a snake species with a disjunct distribution, occurring as two separated populations, one in the Caatinga and another in the Chaco, which may suggest a complex biogeographic history. We investigated whether this atypical distribution reflects independent evolutionary lineages using an integrative approach combining genomic data (GBS), external morphology, and environmental and spatial variables. Genetic structure analyses (DAPC and TESS3r) and phylogenetic inference (SVDquartets) recovered three congruent clusters, separating the Caatinga and Chaco populations and including *L. paucidens*. Integrative delimitation (Delim-SOM) supported the recognition of two independent evolutionary units within the *L. dilepis* complex, with differentiation primarily driven by genomic data. However, external morphology failed to distinguish between the two populations, highlighting cryptic diversity in the Caatinga that is hidden by morphology. Multiple lines of evidence support the hypothesis of a new evolutionary unit within the genus *Lygophis*, reinforcing the importance of the DOF as a key area for understanding diversification and evolution in the Neotropical region, which is essential for biodiversity conservation.

Keywords: Biogeography, Caatinga, Chaco, Cryptic diversity, Phylogenomics

Resumen. La Diagonal de Formaciones Abiertas (DFA: Caatinga, Cerrado y Chaco) constituye un escenario ideal para comprender los procesos de diversificación neotropical. *Lygophis dilepis* Cope, 1862 es una especie de serpiente con distribución disyunta, con dos poblaciones separadas: una en la Caatinga y otra en el Chaco, lo que sugiere una historia biogeográfica compleja. Investigamos si esta distribución atípica refleja linajes evolutivos independientes mediante un enfoque integrador que combina datos genómicos (GBS), morfología externa y variables ambientales y espaciales. Los análisis de estructura genética (DAPC y TESS3r) y de filogenia (SVDquartets) recuperaron tres agrupamientos congruentes, que separan las poblaciones de la Caatinga y del Chaco e incluyen a *L. paucidens*. La delimitación integrativa (Delim-SOM) apoyó el reconocimiento de dos unidades evolutivas independientes dentro del complejo *L. dilepis*, con diferencias sustentadas principalmente por datos genómicos. Sin embargo, la morfología externa no permitió distinguir entre ambas poblaciones, lo que resalta la diversidad críptica en la Caatinga, oculta por dicha morfología. Múltiples evidencias sustentan la hipótesis de una nueva unidad evolutiva en el género *Lygophis*, lo que refuerza la importancia de la DFA como región clave para comprender la diversificación y la evolución en la región Neotropical, aspectos esenciales para la conservación de la biota.

Palabras clave: Biogeografía, Caatinga, Chaco, Diversidad críptica, Filogenómica.

Resumo. A Diagonal de Formações Abertas (DOF: Caatinga, Cerrado e Chaco) constitui um ótimo cenário para compreender processos de diversificação neotropical. *Lygophis dilepis* Cope, 1862 é uma espécie de serpente com distribuição disjunta, ocorrendo em duas populações separadas, uma na Caatinga e outra no Chaco, o que pode sugerir uma história biogeográfica complexa. Investigamos se essa distribuição atípica reflete linhagens evolutivas independentes, utilizando uma abordagem integrativa que combina dados genômicos (GBS), morfologia externa e variáveis ambientais e espaciais. As análises de estrutura genética (DAPC e TESS3r) e a filogenia (SVDquartets) recuperaram três agrupamentos congruentes, separando as populações da Caatinga e do Chaco e incluindo *L. paucidens.* A delimitação integrativa (Delim-SOM) apoiou o reconhecimento de duas unidades evolutivas independentes no complexo *L. dilepis*, com

diferenças sustentadas principalmente pelos dados genômicos. Contudo, a morfologia externa não distinguiu as duas populações, o que ressalta a diversidade críptica na Caatinga, escondida por essa morfologia. Múltiplas evidências sustentam a hipótese de uma nova unidade evolutiva no gênero *Lygophis*, reforçando a importância da DOF como área-chave para a compreensão da diversificação e da evolução na região Neotropical, essenciais à conservação da biota.

Palavras-chave: Biogeografia, Caatinga, Chaco, Diversidade críptica, Filogenômica.

1 Introduction

The South American Diagonal of Open Formation (DOF), composed of the Caatinga, Cerrado, and Chaco biomes, represents the largest corridor of seasonally dry vegetation in the Neotropical region (Vanzolini, 1963). Although its biodiversity has historically been undersampled compared to forested environments (Leal et al., 2005), recent evidence indicates high levels of hidden diversity, including cryptic species and yet undescribed taxa (Colli et al., 2002; Nogueira et al., 2011; Werneck, 2011), suggesting complex and still poorly understood patterns of diversification in this region.

Lygophis dilepis Cope, 1862 is a snake species belonging to the family Dipsadidae, with its distribution concentrated in the DOF (Dixon, 1989; Michaud & Dixon, 1987; Ceron et al., 2021). However, this species exhibits a disjunct distribution with two populations: one in Chaco, occurring in both humid and dry Chaco and Pantanal, across Argentina, Bolívia, Brazil, and Paraguay (Dixon, 1989; Cacciali, 2009), and another population in the Caatinga (Guedes et al., 2014; Nogueira et al., 2019; Ceron et al., 2021).

Ecological niche modeling indicates that these populations occupy ecologically indistinguishable niches but fail to predict each other's geographic distributions, suggesting potential historical isolation and niche conservatism (Nogués-Bravo et al., 2008; Ceron et al., 2021). To date, no genetic or morphological biogeographic pattern of disjunct distribution, together with the lack of reciprocal prediction in ENMs, may suggest that: (i) the disjunct distribution results from vicariance associated with climatic events; or (ii) the populations represent independently evolving lineages.

In this context, uncovering cryptic diversity and describing new evolutionary units is essential not only for taxonomy but also for understanding the evolutionary processes shaping biodiversity patterns in the DOF. Therefore, we applied an integrative species delimitation approach combining phylogenetic (GBS-SNPs), morphological, and environmental data, interpreting the results within a biogeographic framework of the DOF.

2 Material and methods

We followed the taxonomic arrangement proposed by Dixon (1989) based on morphological evidence. Current phylogenetic hypotheses for the genus *Lygophis* indicate that *L. paucidens* is nested among the clades representing *L. dilepis* (Nehemy et al., *in prep*). Therefore, we included *L. paucidens* in all datasets and tested its relationship with the disjunct populations of *L. dilepis.*

We examined 194 specimens across *L. dilepis* (n=15 Chaco, n=108 Caatinga) and *L. paucidens* (n=71) for morphological traits (Peters & Orejas-Miranda, 1970). For molecular data, we performed the method Genotyping-by-Sequencing (GBS, Elshire et al., 2011) data for a total of 21 specimens, *L. dilepis* Chaco (n=3), *L. dilepis* Caatinga (n=6) e *L. paucidens* (n=12) (Fig. 1). We also included *Xenodon merremii* as an outgroup. Single nucleotide polymorphisms (SNPs) were identified using ipyrad v.0.9.79 (Eaton & Overcast, 2020).

Population genetic structure was inferred using Discriminant Analysis of Principal Components (DAPC; Jombart et al., 2010) and spatially explicit Bayesian analysis of population structure using TESS3r (Caye et al., 2016). Discrete and continuous variables in the morphological dataset were also analyzed using Principal Component Analysis (PCA) and DAPC to infer population structure and facilitate comparisons with the molecular pattern.

Phylogenetic relationships among *L. dilepis* populations and *L. paucidens* were inferred from SNP data using SVDquartets v.1.0 (Chifman & Kubatko, 2014), with *X. merremii* as the outgroup. Additionally, we applied a recent species delimitation method based on an unsupervised machine learning approach, Delim-SOM (Pyron, 2023). This method integrates molecular data, environmental data (the 19 bioclimatic variables from WorldClim and edaphic variables from SoilGrids), and spatial data (latitude, longitude, and elevation for each sampled locality). This integrative framework allows for a comprehensive assessment of species boundaries.

3 Results

Genetic structure analyses (DAPC, TESS3r) consistently recovered three genetic clusters (K=3), spatially structured across the DOF (Fig. 2). These clusters are congruent with the phylogeny inferred by SVDquartets and correspond to three distinct lineages: (i) the *L. dilepis* Chaco population; (ii) the *L. dilepis* Caatinga population; and (iii) the *L. paucidens* from Cerrado and ecotonal regions and marginal areas of the Caatinga. The recovered clusters show subtle signals of genetic admixture, mainly between *L. dilepis* from the Caatinga and *L. paucidens*.

In contrast to the genomic results, the morphological data recovered only two clusters in both PCA and DAPC analyses. The *L. paucidens* formed an exclusive cluster, while *L. dilepis* populations from Chaco and Caatinga were grouped together, sharing similar body measurements and the number and distribution patterns of scales. The separation of *L. paucidens* was driven mainly by head dimensions and dorsal scale counts. In the phylogeny inferred by SVDquartets, the *L. dilepis* population from the Caatinga forms

a well-supported clade with *L. paucidens*, whereas the Chaco population shows low support, possibly due to the limited number of sample terminals. The phylogenetic placement of *L. dilepis* Chaco population as the sister group to the other clade represents a pattern incompatible with the monophyly of *L. dilepis sensu lato.*

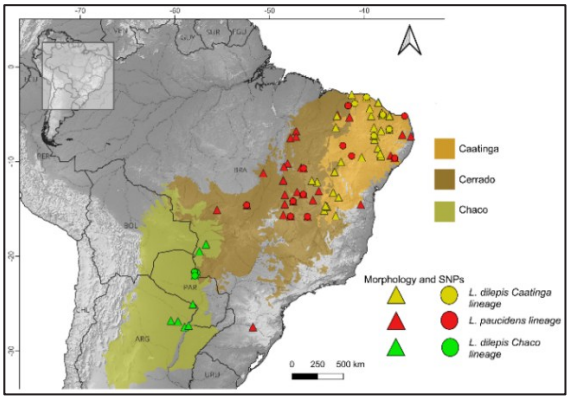


Fig. 1. Map of genomic and morphological samples of *L. dilepis* and *L. paucidens* lineages. Colors correspond to populations and inferred evolutionary lineages. Triangles represent morphological data, and circles represent genomic (SNP) data.

The results of Delim-SOM corroborate three independent evolutionary units, consistently identified across different data matrices. The differentiation among clusters showed a stronger contribution of genomic data (SNPs), which had the highest relative weight in the delimitation process, whereas environmental and spatial data contributed only marginally. Among the environmental variables, edaphic factors such as soil sand content were the most important contributors to group separation.

4 Discussion

Our integrative approach provides robust evidence for recognizing the Caatinga population of *L. dilepis* as an independent evolutionary unit, demonstrating that *L. dilepis sensu lato* is non-monophyletic, corroborates previous studies (Ceron et al., 2021), and reinforces the presence of underestimated diversity within this species complex. Although part of the molecular diversity was masked by morphology-based clustering, the robustness of the genomic data supports the existence of cryptic diversity in the Caatinga (Domingos et al., 2014; Werneck et al., 2015). Additionally, the contribution of edaphic variables suggests that soil composition may influence habitat occupancy and dispersal across the DOF, potentially structuring lineages or even reflecting the habitat preferences of these snakes (Serrano et al., 2020).

This phylogenetic arrangement suggests that the Caatinga population does not belong to *L. dilepis sensu stricto*, and is more appropriately treated as an independent evolutionary lineage. Although genetic and spatial differentiation is clear, morphological distinctiveness still requires more in-depth investigation, including the integration of internal morphological data (e.g., skull morphology, as in Entiauspe-Neto et al., 2021).

The lack of morphological differentiation despite strong genomic structure indicates that external morphology alone may underestimate lineage diversity within the *L. dilepis* complex. This information aligns with the diagnostic characteristics of *L. dilepis sensu stricto* (Dixon, 1989). The admixture signal observed between *L. dilepis* from Caatinga and *L. paucidens*, species that occur in the Cerrado and are partially sympatric, may reflect either gene flow, incomplete lineage sorting, or secondary contact following historical isolation (Thomé et al., 2021).

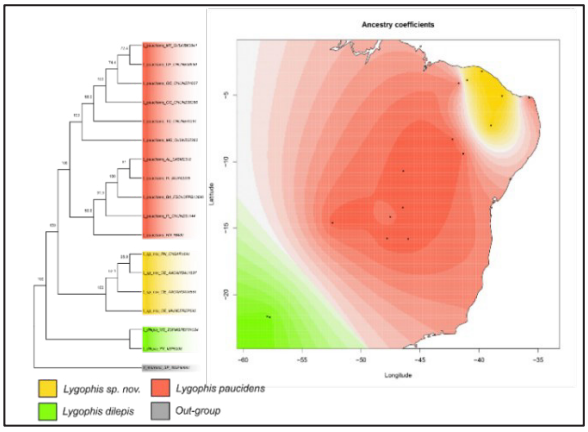


Fig. 2. Spatial distribution of *Lygophis* lineages. Left: a phylogenetic tree inferred from a matrix of 39,239 SNPs using SVDquartets, with bootstrap support values (100 replicates) at nodes. Right: TESS3r map showing spatial interpolation of ancestry coefficients and geographic distribution of genetic clusters. Colors represent a distinct lineage.

The observed arrangement may reflect vicariant events, such as changes in open areas during Quaternary paleoclimate oscillations (Werneck, 2011), as well as the complex biogeographic history of DOF (Jaramillo, 2023). Overall, the dataset used supports the *L. dilepis* Caatinga population as a distinct and valid evolutionary unit, reinforcing the need for its formal taxonomic description and highlighting the Caatinga as an underestimated biome. The *L. dilepis* complex reveals cryptic diversity across the DOF biomes, with a potentially complex biogeographic history that remains to be further explored.

5 Conclusions

Phylogenomic, environmental, and spatial congruence, as confirmed by integrative delimitation, indicate three independent evolutionary units. These findings highlight the Caatinga as an important reservoir of undocumented reptile diversity and provide a rigorous framework for describing a new species of *Lygophis.* These results have direct implications for taxonomy, biogeography, and conservation in Neotropical open formations.

6 References

Cacciali, P. (2009). *Guía para la identificación de 60 Serpientes del Paraguay*. Guyra Paraguay. Paraguay, Assunción. (pp. 217).

Caye, K., Deist, T. M., Martins, H., Michel, O., & François, O. (2016). TESS3: fast inference of spatial population structure and genome scans for selection. *Molecular Ecology Resources*, 16(2), 540–548.

Ceron, K., Mângia, S., Guedes, T. B., Alvares, D. J., Neves, M. O., De Toledo Moroti, M., ... & Santana, D. J. (2021). Ecological niche explains the sympatric occurrence of lined ground snakes of the genus *Lygophis* (Serpentes, Dipsadidae) in the South American dry diagonal. *Herpetologica*, 77(3), 239–248.

Chifman, J., & Kubatko, L. (2014). Quartet inference from SNP data under the coalescent model. *Bioinformatics*, 30(23), 3317–3324.

Colli, G. R., Bastos, R. P., & Araujo, A. F. (2002). The character and dynamics of the Cerrado Herpetofauna. In P. S. Oliveira & R. J. Marquis (Eds.), *The Cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a Neotropical savanna*. New York Chichester, West Sussex: Columbia University Press, (pp. 223–241).

Dixon, J. R. (1989). A key and checklist to the Neotropical snake genus *Liophis* with country lists and maps. *Smithsonian Herpetological Information Service,* 79, 1–28.

Domingos, F. M., Bosque, R. J., Cassimiro, J., Colli, G. R., Rodrigues, M. T., Santos, M. G., & Beheregaray, L. B. (2014). Out of the deep: cryptic speciation in a Neotropical gecko (Squamata, Phyllodactylidae) revealed by species delimitation methods. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 80, 113–124.

Eaton, D. A., & Overcast, I. (2020). ipyrad: Interactive assembly and analysis of RADseq datasets. *Bioinformatics*, 36(8), 2592–2594.

Elshire, R. J., Glaubitz, J. C., Sun, Q., Poland, J. A., Kawamoto, K., Buckler, E. S., & Mitchell, S. E. (2011). A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high-diversity species. *PloS one*, 6(5), e19379.

Entiauspe-Neto, O. M., Abegg, A. D., Koch, C., Nuñez, L. P., Azevedo, W. S., Moraes, L. J., ... & Loebmann, D. (2021). A new species of *Erythrolamprus* (Serpentes: Dipsadidae: Xenodontini) from the savannas of northern South America. *Salamandra*, 57(2).

Guedes, T. B., Nogueira, C., & Marques, O. A. (2014). Diversity, natural history, and geographic distribution of snakes in the Caatinga, Northeastern Brazil. *Zootaxa*, 3863(1), 1–93.

Jaramillo, C. (2023). The evolution of extant South American tropical biomes. *New Phytologist*, 239(2), 477–493.

Jombart, T., Devillard, S., & Balloux, F. (2010). Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations. *BMC genetics*, 11(1), 94.

Leal, I. R., Da Silva, J. M. C., Tabarelli, M., & Lacher Jr, T. E. (2005). Changing the course of biodiversity conservation in the Caatinga of northeastern Brazil. *Conservation Biology*, 19(3), 701–706.

Michaud, E. J., & Dixon, J. R. (1987). Taxonomic revision of the *Liophis lineatus* complex (Reptilia, Colubridae) of Central and South America. *Milwaukee Public Museum, Contributions in Biology and Geology*, 71, 1–26.

Nogueira, C., Ribeiro, S., Costa, G. C., & Colli, G. R. (2011). Vicariance and endemism in a Neotropical savanna hotspot: distribution patterns of Cerrado squamate reptiles. *Journal of Biogeography*, 38(10), 1907–1922.

Nogués-Bravo, D., Rodríguez, J., Hortal, J., Batra, P., & Araújo, M. B. (2008). Climate change, humans, and the extinction of the woolly mammoth. *PLoS biology*, 6(4), e79.

Peters, J. A., & Orejas-Miranda, B. (1970). Catalogue of the Neotropical Squamata. Part I: Snakes. *Bulletin of the United States National Museum*, 297, 1–347.

Pyron, R. A. (2023). Unsupervised machine learning for species delimitation, integrative taxonomy, and biodiversity conservation. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 189, 107939.

Serrano, F. A. C., dos Santos Vieira-Alencar, J. P., Diaz-Ricaurte, J. C., & de Campos Nogueira, C. (2020). Mapping local and regional distribution of *Lygophis paucidens* Hoge, 1952 (Serpentes, Dipsadidae), an elusive snake from the sandy savannas of Brazil and Paraguay. *Check List*, 16(1), 75–81.

Thome, M. T. C., Carstens, B. C., Rodrigues, M. T., Alexandrino, J., & Haddad, C. F. (2021). Genomic data from the Brazilian sibilator frog reveal contrasting Pleistocene dynamics and regionalism in two South American dry biomes. *Journal of Biogeography*, 48(5), 1112–1123.

Vanzolini, P. E. (1963). Problemas faunísticos do Cerrado. *Simpósio sobre o Cerrado*. (pp. 307–320)

Werneck, F. P., Costa, G. C., Colli, G. R., Prado, D. E., & Sites Jr, J. W. (2011). Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidencegeb. *Global Ecology and Biogeography*, 20(2), 272–288.

Werneck, F. P., Leite, R. N., Geurgas, S. R., & Rodrigues, M. T. (2015). Biogeographic history and cryptic diversity of saxicolous Tropiduridae lizards endemic to the semiarid Caatinga. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 94.

7 Acknowledgements

We thank the funding agencies for financial support: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, grants 22/15106-8 and 2025/20540-7 to IKRN and 21/07161-6 to TBG). We also thank the institutions that provided tissue samples and specimens.

Aportaciones al conocimiento de la flora alóctona de los Pirineos: catalogación, caracterización y grado de invasión

López-Pujol, Jordi[1,2], Martínez-Fuentes, Javier[1], López-Guillén, Eduard[1], Carreño, Carmen[3], Orbea, Beñat[1] y Nualart, Neus[1]

[1] 1 Institut Botànic de Barcelona (IBB), CSIC-CMCNB, Pg. Migdia s.n., 08038, Barcelona, Spain
[2] Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Espíritu Santo (UEES), 091650, Samborondón, Ecuador
[3] Universidad Autónoma de Madrid, C. Darwin, 2, Fuencarral-El Pardo. 28049 Madrid, Spain
jlopez@ibb.csic.es

Resumen. Las invasiones biológicas constituyen una amenaza creciente para la biodiversidad, también en sistemas montañosos como los Pirineos. En el marco de varios proyectos INTERREG, se está elaborando un catálogo de la flora alóctona de esta cordillera a partir del *Atlas de Flora de los Pirineos* y de fuentes complementarias como publicaciones científicas, herbarios y bases de datos como iNaturalist. Actualmente, se está llevando a cabo el análisis de las características ecológicas de estos taxones, sus patrones de distribución y su grado de invasión mediante un árbol de decisiones adaptado al contexto pirenaico. Además, está prevista la evaluación de sus impactos siguiendo el sistema EICAT de la UICN. El catálogo reúne actualmente cerca de 800 taxones, lo que sitúa a los Pirineos entre los principales focos de invasiones biológicas en los sistemas montañosos europeos y subraya la necesidad de reforzar medidas de prevención y control.

Palabras clave: Especies alóctonas invasoras, flora alóctona, Pirineos.

Resumo. As invasões biológicas constituem uma ameaça crescente para a biodiversidade, também em sistemas montanhosos como os Pirenéus. No âmbito de vários projetos INTERREG, está a ser elaborado um catálogo da flora alóctone desta cordilheira com base no *Atlas da Flora dos Pirenéus* e em fontes complementares, como publicações científicas, herbários e bases de dados como o iNaturalist. Atualmente, está em curso a análise das características ecológicas destes táxones, dos seus padrões de distribuição e do seu grau de invasão através de uma árvore de decisão adaptada ao contexto pirenaico. Além disso, está prevista a avaliação dos seus impactos segundo o sistema EICAT da UICN. O catálogo reúne atualmente cerca de 800 táxones, o que coloca os Pirenéus entre os principais focos de invasões biológicas nos sistemas montanhosos europeus e sublinha a necessidade de reforçar as medidas de prevenção e controlo.

Palavras-chave: Espécies alóctones invasoras, flora alóctone, Pirenéus.

Abstract. Biological invasions constitute a growing threat to biodiversity, including in mountain systems such as the Pyrenees. Within the framework of several INTERREG projects, a catalogue of the alien flora of this mountain range is being developed based on the Atlas of the Flora of the Pyrenees and complementary sources such as scientific publications, herbaria, and databases like iNaturalist. Currently, analyses are being carried out on the ecological characteristics of these taxa, their distribution patterns, and their degree of invasion using a decision tree adapted to the Pyrenean context. In addition, the assessment of their impacts following the IUCN EICAT system is planned. The catalogue currently includes nearly 800 taxa, placing the Pyrenees among the main hotspots of biological invasions in European mountain systems and highlighting the need to strengthen prevention and control measures.

Keywords: Alien flora, invasive alien species, Pyrenees.

1 Introducción

Las invasiones biológicas constituyen una amenaza creciente para la biodiversidad y los ecosistemas del planeta. Hasta hace bien poco, no obstante, se creía que los sistemas montañosos eran relativamente inmunes a la entrada y establecimiento de especies de plantas invasoras debido a una serie de características de las propias montañas, como sus duras condiciones climáticas, su aislamiento geográfico y los menores niveles de perturbación humana en comparación con las tierras bajas, pero también a las cortas épocas de crecimiento de las plantas y al fuerte filtrado ambiental.

Sin embargo, la percepción de las montañas como entornos libres de invasiones ha cambiado notablemente en los últimos años. La publicación de un número creciente de estudios —en gran parte gracias a la puesta en marcha de la Red de Investigación sobre Invasiones en Montaña (MIREN, por sus siglas en inglés; https://www.mountaininvasions.org/) en 2005—, ha puesto en evidencia la vulnerabilidad de los sistemas montañosos cada vez mayor a las invasiones biológicas, debido tanto al incremento de la actividad humana como al cambio

climático, que facilitan la expansión de plantas no nativas hacia mayores altitudes por un aumento de la presión de propágulo y a la reducción de las limitaciones térmicas para el crecimiento de las especies en las zonas de gran altitud. Esta preocupación se ve reforzada por la creciente evidencia de que el cambio climático está siendo más pronunciado en las regiones montañosas respecto a las tierras bajas (Pepin et al., 2025). Por todo ello, el conocimiento de estas invasiones resulta imprescindible para su prevención y control y para proteger, por tanto, las especies y los ecosistemas montañosos nativos. Cabe señalar en este punto que muy a menudo las montañas son centros de biodiversidad, con tasas muy elevadas tanto de riqueza de especies como de endemicidad —sirva como ejemplo que la gran mayoría de los 36 *hotspots* mundiales de biodiversidad están localizados enteramente o parcialmente en regiones montañosas (https://www.conservation.org/learning/biodiversity-hotspots)— fruto de su diversidad de condiciones eco-climáticas y de su papel como refugios cuaternarios, lo que también les convierte en "santuarios" de diversidad genética (Médail y Diadema, 2009).

Las montañas del sur de Europa constituyen un caso especialmente relevante, ya que se caracterizan por una extraordinaria riqueza florística, pero, sobre todo, y a diferencia de otros continentes, porque han sufrido el impacto del hombre desde tiempos inmemoriales (Ellis et al., 2021) y porque el cambio climático se cebará especialmente en ellas (Herrando-Moraira et al., 2022).

Los Pirineos representan un ejemplo paradigmático de las dinámicas actuales de las invasiones de plantas en las montañas del sur de Europa. Situados en la interfaz entre las regiones mediterránea y eurosiberiana, los Pirineos albergan una riqueza florística excepcional, con más de 3600 taxones nativos según el *Atlas de la Flora de los Pirineos* (https://atlasflorapyrenaea.eu/), producto de los proyectos transfronterizos FLORAPYR AVANCE y FLORAPYR 3D (financiados por el programa INTERREG POCTEFA). En el marco de dichos proyectos, se está elaborando un listado revisado, unificado, completo y actualizado de la flora alóctona, y que próximamente estará al alcance de gestores e investigadores que trabajan en el campo de las invasiones biológicas.

2 Materiales y Métodos

El área de estudio es la definida en el *Atlas* y fue originalmente delimitada por el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC; https://www.opcc-ctp.org/). Incluye un total de 640 celdas UTM (*Universal Transverse Mercator*) 10 × 10 km, que comprenden toda la cordillera de los Pirineos y los territorios cercanos, desde el Cap de Creus en Cataluña hasta la costa cantábrica en el País Vasco. La superficie total aproximada es de unos 63.000 km^2 (puesto que algunas celdas de los Pirineos centrales presentan una superficie menor a 100 km^2 y algunas celdas costeras comprenden áreas marítimas).

Al igual que otros sistemas montañosos del sur de Europa, los Pirineos han estado sometidos a impactos antropogénicos desde tiempos antiguos, contando con presencia humana en los valles y las zonas situadas ligeramente por encima de los 1000 m s. n. m. desde el final del último periodo glacial y en áreas alpinas y subalpinas tras el Dryas reciente (Gassiot Ballbè et al., 2017). Tradicionalmente, las actividades humanas en esta zona estaban ligadas a la agricultura y la ganadería, aunque en las últimas décadas su economía se ha orientado hacia el turismo, con la consiguiente expansión de las redes de carreteras, de las infraestructuras asociadas a los deportes de invierno y de la urbanización.

Como punto de partida para la mejora de la catalogación de las plantas introducidas presentes en los Pirineos, se seleccionaron los taxones indicados como alóctonos en el *Atlas* (462 taxones a fecha de julio de 2021), a los que se han ido incorporando nuevos taxones a partir de múltiples fuentes: (1) publicaciones recientes sobre la flora alóctona de zonas que abarcan los Pirineos, como por ejemplo la *checklist* de Cataluña publicada a finales de la década pasada (Aymerich y Sáez, 2019), (2) los listados técnicos sobre plantas invasoras para la región de "Pyrénées et Midi-Pyrénées" (Prud'homme et al., 2021) y para Occitania (Cottaz et al., 2021), (3) datos de herbario con material procedente de los Pirineos; (4) bases de datos en línea como el *Banco de Datos de Biodiversidad de Cataluña* (*Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya*; http://biodiver.bio.ub.es/biocat) y (5) datos procedentes de la plataforma de ciencia ciudadana iNaturalist (https://www.inaturalist.org/).

Además de proporcionar una lista de taxones, el proyecto también incluye el análisis de la distribución geográfica de las plantas alóctonas detectadas (con mapas de densidad de taxones por celdas UTM) y el estudio de la evolución temporal de la introducción de plantas alóctonas en los Pirineos (mediante la obtención del año de la primera cita de cada taxón detectado, se han elaborado mapas acumulativos por periodos de tiempo).

Finalmente, y con el fin de delinear los patrones taxonómicos, biológicos y ecológicos de la flora alóctona de los Pirineos, para cada taxón se ha recopilado la siguiente información: el origen (área nativa), la forma biológica (según el esquema clásico de Raunkiær), el hábitat preferente que ocupa en los Pirineos, la vía de introducción y la intencionalidad de la introducción. Para cada taxón se está delimitando su estadio de invasión (es decir, si es una planta ocasional o *casual*, si está naturalizada o es ya invasora) con la ayuda de un árbol de decisión. Finalmente, para aquellos taxones que ya actúan como invasores en los Pirineos, se prevé establecer su categoría de impacto sobre los ecosistemas nativos mediante el sistema EICAT propuesto por la UICN (https://iucn.org/resources/conservation-tool/environmental-impact-classification-alien-taxa).

3 Resultados y Discusión

3.1 Riqueza de la flora alóctona pirenaica

Hasta la fecha, y a falta de añadir los taxones proporcionados por iNaturalist que no aparecen en otras

fuentes (tarea que se espera completar en los próximos meses), el catálogo de la flora exótica de los Pirineos incluye 771 taxones confirmados. Este número supone, de entrada, un aumento más que notable respecto al número de taxones indicados como alóctonos en el *Atlas* al principio del proyecto (concretamente, se han recogido 309 taxones más, lo que incrementa el listado en aproximadamente un 67%).

La flora alóctona pirenaica, que superará con holgura los 800 taxones al final del proyecto, debe considerarse como especialmente voluminosa en comparación con otras cordilleras montañosas. Por ejemplo, los Alpes albergan muchos menos taxones (509 según Aeschimann et al., 2004) a pesar de su mayor extensión (170.000 km^2 frente a los 63.000 km^2 de los Pirineos), aunque se debe tener en cuenta que han pasado dos décadas desde la catalogación de la flora alóctona alpina. También resulta notoria la comparación con sistemas montañosos tropicales, pues los Andes ecuatorianos, con una extensión de unos 90.000 km^2, albergan 451 especies alóctonas según un estudio reciente (Herrera et al., 2025).

Aunque esta diversidad excepcional de flora alóctona en los Pirineos puede atribuirse —al menos en parte— a su gran variabilidad de condiciones climáticas, topográficas, geológicas y ecológicas, es el factor humano el principal responsable de que esta cordillera deba considerarse como un *hotspot* de invasiones biológicas. Algunas partes de los Pirineos, especialmente en el este, coinciden con zonas de intensa actividad turística (la Costa Brava norte/Cap de Creus y regiones circundantes), mientras que otras se encuentran muy cerca (<50 km) de una de las mayores regiones metropolitanas del sur de Europa, Barcelona, con más de 5,5 millones de habitantes. Muchas de estas zonas, además, incluyen hábitats con una marcada influencia costera, lo que permite que elementos florísticos de climas suaves o incluso relativamente cálidos (por ejemplo, *Crassulaceae* y *Cactaceae*) prosperen en muchas áreas de baja montaña.

3.2 Distribución geográfica y evolución temporal

Aunque no se dispone todavía de los datos definitivos de distribución para los casi 800 táxones alóctonos confirmados a fecha de hoy, sí tenemos la certeza de que la distribución de esta flora alóctona no es uniforme, ni en el eje este-oeste ni en el eje norte-sur y que, además, tiene una relación directa con lo que se comenta al final de la sección anterior. Así, la zona litoral oriental —la más antropizada de los Pirineos— presenta un mayor número de taxones no-nativos que el interior de los Pirineos (Fig. 1), con una gran actividad turística y comercial. La *Côte Vermeille* pero, especialmente, la Costa Brava, atraen a un gran número de visitantes –según datos oficiales, la Costa Brava recibió más de 7,5 millones de turistas en 2024 (https://newsletter.costabrava.org/es/noticia/datos-de-turismo-de-2024/) y las carreteras y autopistas (lugares perturbados y posibles corredores de dispersión para estas plantas) que comunican España y Francia por el lado mediterráneo están entre las más concurridas de Europa. Por otro lado, las celdas UTM de la vertiente norte presentan una mayor riqueza de taxones alóctonos que las de la española, lo que puede explicarse por su mayor densidad de población, pero también gracias al continuo trabajo de campo que realizan *los Conservatoires botaniques nationaux*, con registros de alto grado de precisión.

Tanto el patrón temporal de citaciones de taxones alóctonos (Fig. 3) como el de ocupación de celdas UTM (datos no mostrados) no son constantes a lo largo del periodo total de los datos. Hay un claro aumento de primeras citas a partir de finales de los años 70 e inicios de los años 80, época en que proliferaron las tesis doctorales (o tesinas) florísticas centradas en los Pirineos. La apertura de los túneles del Cadí (en 1984) y de Puymorens (en 1994), junto con la finalización de las obras de la autopista A64 ("*La Pyrénéenne*") en 1998, han favorecido la accesibilidad y fomentado la circulación de personas, lo que sin duda ha contribuido a los incrementos de especies detectadas de finales del siglo pasado e inicios del presente. La mejora de los accesos (tanto por carretera como por ferrocarril) suele estar detrás del aumento de la presencia de especies alóctonas en regiones montañosas de todo el mundo tal y como demuestran numerosos estudios (p. ej. Barros et al., 2022).

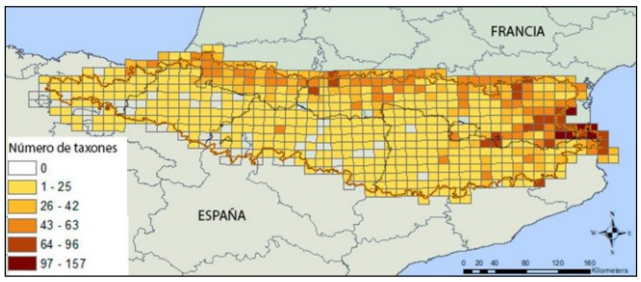


Fig. 1. Distribución de las plantas alóctonas (N = 462) en los Pirineos, por celdas UTM de 10 × 10 km.

3.3 Patrones biológicos y ecológicos

El análisis de los datos disponibles a día de hoy indica que la flora alóctona de los Pirineos se caracteriza por tres rasgos. En primer lugar, existe un predominio de especies de origen americano (39%), que representan más de un tercio del total, con Norteamérica aportando más taxones que Sudamérica, seguida de Asia oriental y meridional, la cuenca mediterránea y el Paleártico occidental (todos con el 16%). Que las Américas constituyan la principal región de origen de la flora alóctona de los Pirineos no resulta sorprendente, ya que esta región es también la principal fuente de especies vegetales alóctonas tanto para España (Sanz et al., 2004) como para Cataluña (Aymerich y Sáez, 2019), territorios que abarcan amplias zonas de la cordillera. Sin embargo, a diferencia de estas áreas, la flora alóctona de los Pirineos incluye un mayor número de especies norteamericanas que sudamericanas (22% frente al 14%), probablemente porque muchas plantas norteamericanas están preadaptadas a las condiciones climáticas más frías de los Pirineos.

En segundo lugar, existe un predominio de los terófitos como principal forma de vida vegetal (30%), seguidos por los fanerófitos (27%) y los hemicriptófitos (21%). El claro

predominio de especies herbáceas es un patrón común en las floras alóctonas de montaña en todo el mundo (McDougall et al., 2011). La proporción relativamente elevada de especies leñosas en la flora alóctona de los Pirineos (más de una cuarta parte) merece una investigación más detallada, aunque podría explicarse parcialmente por la fuerte influencia mediterránea que afecta a amplias zonas de estas montañas, especialmente a su sector oriental (los fanerófitos están bien representados entre las especies alóctonas de la Europa mediterránea; Cao Pinna et al., 2021).

En tercer y último lugar, la jardinería es la principal vía de introducción de plantas alóctonas en los Pirineos (57%), seguida por la agricultura (21%), el comercio (19%) y, en mucha menor medida, la silvicultura (3%). El claro predominio de los usos ornamentales entre las vías de introducción de plantas es coherente con los patrones globales observados tanto para regiones montañosas (McDougall et al., 2011) como a nivel global (van Kleunen et al., 2018).

4 Conclusiones

Aunque queda pendiente la inclusión de datos de portales de ciencia ciudadana —que a día de hoy ya no resulta prudente obviarlos puesto que este tipo de registros ya suponen casi el 87% del total de registros de GBIF (GBIF, 2024)— nuestros datos nos permiten ya delinear los patrones de distribución geográfica y temporal de la flora introducida de los Pirineos. Junto a la catalogación completa de las plantas alóctonas, la identificación de cuáles de ellas están naturalizadas, y la evaluación de los impactos de las que ya actúan como invasoras (mediante el sistema EICAT) son herramientas que serán de gran ayuda para el diseño de estrategias de prevención, control y gestión.

5 Referencias

Aeschimann, D.; Lauber, K., Moser, D.M., et al. (2004). Flora alpina 1–3. Haupt.

Aymerich, P., & Sáez, L. (2019). Checklist of the vascular alien flora of Catalonia (northeastern Iberian Peninsula, Spain). *Mediterranean Botany*, 40, 215–242. https://doi.org/10.5209/mbot.63608

Barros, A., Haider, S., Müllerová, J., et al. (2022). The role of roads and trails for facilitating mountain plant invasions. En Holden, A., Fennell, D. (Eds.), *Tourism, recreation and biological invasions* (pp. 14–26). CABI. https://doi.org/10.1079/9781800620544.0003

Cao Pinna, L., Axmanová, I. Chytrý, M., et al. (2021). The biogeography of alien plant invasions in the Mediterranean Basin. *Journal of Vegetation Science*, 32, e12980.https://doi.org/10.1111/jvs.12980

Cottaz, C., Dao, J., & Hamon, M. (2021). Liste de référence des plantes exotiques envahissantes de la région Occitanie. Synthèse, analyses de risque et catégorisation des taxons. État de la situation au 31 décembre 2020 (Document technique des CBN d'Occitanie). CBNMed & CBNPMP .https://cbnpmp.fr/document/methodo_liste-ref-PEE_2021.pdf

Ellis, E.C., Gauthier, N., Klein Goldewijk, K., et al. (2021). People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118, e2023483118. https://doi.org/10.1073/pnas.2023483118

Gassiot Ballbè, E., Mazzucco, N., Clemente Conte, I., et al. (2017). The beginning of high mountain occupations in the Pyrenees: Human settlements and mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC. En J. Catalan, J.M. Ninot & M.M. Aniz (Eds.), *High mountain conservation in a changing world* (pp. 75–105). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_4

GBIF [Global Biodiversity Information Facility]. (2024). *Human observations*. https://doi.org/10.15468/dl.ta3tsb

Herrando-Moraira, S., Nualart, N., Galbany-Casals, M., et al. (2022). Climate Stability Index maps, a global high resolution cartography of climate stability from Pliocene to 2100. *Scientific Data*, 9, 48. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01144-5

Herrera, I., Vargas, A., Rizzo, K., et al. (2025). Compiling and analyzing the non-native flora of a megadiverse Neotropical country: A new catalogue for continental Ecuador. *NeoBiota* 2025, 100, 155–189.

McDougall, K.L., Alexander, J.M., Haider, S., et al. (2011). Alien flora of mountains: Global comparisons for the development of local preventive measures against plant invasions. *Diversity and Distributions*, 17, 103–111. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00713.x

Médail, F., & Diadema, K. (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography*, 36, 1333–1345. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02051.x

Pepin, N., Apple, M., Knowles, J., et al. (2025). Elevation-dependent climate change in mountain environments. *Nature Reviews Earth & Environment*, 6, 772–788. https://doi.org/10.1038/s43017-025-00740-4

Prud'homme, F., Dao, J., & Rudi-Dencausse, A.-S. (2021). Cotation des liens fonctionnels entre habitats d'intérêt communautaire et plantes exotiques envahissantes: méthode, analyse et outil mis en place en Pyrénées et Midi-Pyrénées. *Sciences Eaux & Territoires*, 79, 2–9. https://doi.org/10.14758/set-revue.2021.HS.08

Sanz, M., Dana, E., & Sobrino, E. (2004). Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España. Dirección General para la Biodiversidad.

van Kleunen, M., Essl, F., Pergl, J., et al. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions. *Biological Reviews*, 93, 1421–1437. https://doi.org/10.1111/brv.12402

La fauna salvaje en un entorno humanizado próximo a la ciudad de Oviedo, Asturias (España)

Pérez-García, Luis[1], Ruiz-Fernández, Jesús[1], González-Díaz, Benjamín[1] y García-Hernández, Cristina[1]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Calle Amparo Pedregal, s/n, 33011, Oviedo, España
perezgluis@uniovi.es

Resumen. El estudio de la respuesta de la fauna silvestre ante la presión antrópica en paisajes fragmentados es clave para la gestión de la biodiversidad. Este trabajo evalúa la diversidad, actividad relativa (TD/RAI) y patrones temporales de los mamíferos de tamaño medio y grande en la periferia rural del municipio de Oviedo (Asturias, España). Se empleó la técnica de fototrampeo mediante cuatro cámaras instaladas en pasos de fauna a lo largo de la carretera AS-322 entre Piñera y Palombar del 19 de noviembre al 6 de diciembre de 2023. Se identificaron siete especies de mamíferos (*Vulpes vulpes*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Meles meles*, *Felis silvestris*, *Genetta genetta*, *Sciurus vulgaris*) y un ave (*Turdus merula*). El zorro común (*Vulpes vulpes*) y el jabalí (*Sus scrofa*) resultaron las especies con mayor tasa de detección. Se identificó una limitación metodológica en la aplicación del TD/RAI estándar para especies gregarias sin patrones corporales distintivos, como el jabalí, proponiéndose una corrección basada en el conteo de individuos por grupo que ajusta la estimación de actividad. El análisis de patrones horarios confirmó una marcada actividad nocturna y crepuscular en la mayoría de las especies, lo que sugiere una adaptación conductual para minimizar el solapamiento con la actividad humana diurna. Los resultados evidencian una notable capacidad de adaptación de la fauna a entornos altamente humanizados siempre que se mantengan corredores y refugios de vegetación natural.

Palabras clave: fototrampeo, tasa de detección, patrones de actividad, mesocarnívoros, ungulados, municipio de Oviedo.

Resumo. O estudo da resposta da fauna selvagem à pressão antrópica em paisagens fragmentadas é fundamental para a gestão da biodiversidade. Este trabalho avalia a diversidade, a atividade relativa (TD/RAI) e os padrões temporais dos mamíferos de médio e grande porte na periferia rural do município de Oviedo (Astúrias, Espanha). Foi utilizada a técnica de armadilhagem fotográfica com quatro câmaras instaladas em passagens de fauna ao longo da estrada AS-322 entre Piñera e Palombar, durante um período de amostragem de 19 de novembro a 6 de dezembro de 2023. Foram identificadas sete espécies de mamíferos (*Vulpes vulpes*, *Sus scrofa*, *Capreolus capreolus*, *Meles meles*, *Felis silvestris*, *Genetta genetta*, *Sciurus vulgaris*) e uma ave (*Turdus merula*). A raposa-vermelha (*Vulpes vulpes*) e o javali (*Sus scrofa*) foram as espécies com maior taxa de deteção. Identificou-se uma limitação metodológica na aplicação do TD/RAI padrão para espécies gregárias sem padrões corporais distintivos, como o javali, propondo-se uma correção baseada na contagem de indivíduos por grupo que ajusta a estimativa de atividade. A análise dos padrões horários confirmou uma acentuada atividade noturna e crepuscular na maioria das espécies, sugerindo uma adaptação comportamental para minimizar a sobreposição com a atividade humana diurna. Os resultados evidenciam uma notável capacidade de adaptação da fauna a ambientes altamente humanizados, desde que se mantenham corredores e refúgios de vegetação natural.

Palavras-chave: armadilhagem fotográfica, taxa de deteção, padrões de atividade, mesocarnívoros, ungulados, município de Oviedo.

Abstract. The study of wildlife response to anthropogenic pressure in fragmented landscapes is key to biodiversity management. This work evaluates the diversity, relative activity (detection rate/relative abundance index, DR/RAI), and temporal patterns of medium-sized and large mammals in the rural periphery of the municipality of Oviedo (Asturias, Spain). The camera-trapping technique was used, with four cameras installed at wildlife passages along the AS-322 road between Piñera and Palombar from 19 November to 6 December 2023. Seven mammal species (*Vulpes vulpes, Sus scrofa, Capreolus capreolus, Meles meles, Felis silvestris, Genetta genetta, Sciurus vulgaris*) and one bird species (*Turdus merula*) were identified. The red fox (*V. vulpes*) and the wild boar (*S. scrofa*) showed the highest detection rates. A methodological limitation of the standard DR/RAI was identified for gregarious species without distinctive body patterns, such as the wild boar, and a correction based on the count of individuals per group is proposed to adjust the activity estimate. The analysis of hourly patterns confirmed a marked nocturnal and crepuscular activity in most species, suggesting a behavioural adaptation to minimise overlap with diurnal human activity. The results demonstrate a remarkable capacity of wildlife to adapt to humanised environments as long as corridors and patches of vegetation are maintained.

Keywords: camera trapping, detection rate, activity patterns, mesocarnivores, ungulates, municipality of Oviedo.

1 Introducción

La expansión de las actividades humanas genera paisajes con distintos grados de fragmentación donde la fauna silvestre debe ajustar sus patrones conductuales para sobrevivir en ecosistemas transformados (Johnson & Munshi-South, 2017; Zhang et al., 2023). Comprender estas respuestas de adaptación es fundamental para predecir las dinámicas de la biodiversidad en el Antropoceno y para desarrollar modelos de gestión que fomenten una coexistencia sostenible entre la sociedad y la fauna silvestre en espacios compartidos. En entornos periurbanos, la proximidad a infraestructuras y núcleos de población actúa como un filtro ecológico que modifica los ritmos de actividad y el uso del espacio por parte de los animales. El fototrampeo se ha consolidado como una técnica de bajo coste y alta eficacia para monitorizar la presencia, diversidad y comportamiento de la fauna en estos contextos complejos, permitiendo obtener registros continuos sin interferencia humana directa (Chávez et al., 2013). En la región Eurosiberiana del noroeste de España, el abandono de las prácticas agrarias tradicionales ha favorecido un proceso de matorralización que proporciona refugio a una fauna holártica diversa, incluyendo ungulados como el jabalí (*Sus scrofa*) y el corzo (*Capreolus capreolus*), así como una comunidad de carnívoros y mesocarnívoros. A pesar de la relevancia ecológica de estos espacios de transición urbano-rural, existe una carencia de estudios que cuantifiquen la actividad relativa de estas comunidades en la periferia inmediata de ciudades medias como Oviedo.

El objetivo general de este trabajo es evaluar la respuesta de la fauna salvaje ante la presión antrópica en un paisaje periurbano fragmentado del suroccidente del municipio de Oviedo. Los objetivos específicos son: i) determinar la presencia y diversidad de mamíferos mediante fototrampeo; ii) estimar la actividad relativa de cada especie aplicando la Tasa de Detección o Índice de Abundancia Relativa (TD/RAI); y iii) analizar los patrones de movilidad horaria para inferir estrategias de adaptación conductual. La hipótesis de partida postula que, pese a la elevada humanización del entorno, la fauna mantiene una presencia significativa mediante la adaptación de sus pautas de movilidad espacial y el ajuste de sus ritmos de actividad hacia la nocturnidad.

2 Área de estudio y metodología

El área de estudio, incluido en una "Zona de Seguridad" cinegética, se localiza en el sector suroccidental del concejo de Oviedo (Asturias), a lo largo del valle del río Nalón. Se trata de un entorno de baja y media montaña (95-402 m s.n.m.) caracterizado por un clima oceánico Cfb (Muñoz-Jiménez, 1982) y una matriz vegetal compuesta por bosques planocaducifolios, matorral y mosaicos de prados.

El transecto monitorizado discurre paralelo a la carretera AS-322 entre las localidades de Piñera y Palombar, un eje que conecta núcleos rurales con una densidad de población moderada. Se instalaron cuatro cámaras de fototrampeo (C1, C2, C3 y C4) en pasos de fauna estratégicos que conectan ámbitos forestales, y que son utilizados para cruzar la vía AS-322. Las cámaras C1 y C2 corresponden a modelos Boskon Guard BG526, mientras que C3 y C4 son Digital Scouting Camera SG2060-K. El período de monitoreo abarcó del 19 de noviembre al 6 de diciembre de 2023, con un esfuerzo de muestreo total de 432 horas para C1 y C2, 408 horas para C4 y 192 horas para C3. Los equipos se programaron para capturar tres fotografías consecutivas por evento de detección. Las imágenes fueron clasificadas manualmente, discriminando entre fauna salvaje, animales domésticos y fotografías fallidas (disparos por viento o lluvia).

Para estimar la actividad relativa se calculó la TD/RAI, definida como el número de eventos de captura independientes por cada 100 días de trampeo (Guerrero-Casado et al., 2022). Se consideraron capturas independientes aquellas separadas por un intervalo mínimo de 30 minutos para una misma especie en una misma cámara, con independencia del número de individuos visibles en la imagen o imágenes.

Dada la naturaleza gregaria del jabalí, se aplicó una corrección metodológica consistente en contabilizar el número total de individuos observados en cada captura independiente (TD/RAI modificada), siguiendo aproximaciones basadas en el ajuste por tamaño de grupo (Rowcliffe et al., 2008; Palencia et al., 2022). Para el caso específico de la gineta (*Genetta genetta*), se realizó un análisis de patrones de manchas del pelaje para identificar individuos únicos y validar la precisión del método estándar. Por su parte, los patrones de actividad horaria se agruparon en cuatro franjas (día, amanecer, anochecer y noche) para evaluar el grado de solapamiento temporal con la actividad humana.

3 Resultados

3.1 Fototrampeo y diversidad de especies

Se obtuvieron un total de 594 fotografías, de las cuales el 79,6% (n=473) correspondieron a fauna salvaje, el 19,2% a disparos fallidos (n=114) y el 0,7% a animales domésticos (n=4). Se identificaron siete especies de mamíferos: zorro común (*Vulpes vulpes*), jabalí (*Sus scrofa*), corzo (*Capreolus capreolus*), tejón (*Meles meles*), gato montés (*Felis silvestris*), gineta (*Genetta genetta*) y ardilla común (*Sciurus vulgaris*), además del ave mirlo común (*Turdus merula*) y un conjunto de pequeños roedores no identificables específicamente mediante las imágenes (Fig. 1).

La cámara C1 registró la mayor diversidad con siete especies, mientras que C3 presentó la menor diversidad, limitada a zorro, jabalí y roedores no identificados. El zorro fue la especie más frecuentemente fotografiada, acumulando el 41,4% de las capturas totales de fauna (n=196), seguido del jabalí con el 24,9% (n=118) y la gineta con el 10,1% (n=48).

3.2 Actividad relativa de la fauna

La aplicación de la TD/RAI estándar indicó un claro predominio del zorro (59,02 detecciones/100 días-trampa), seguido del jabalí (37,70) y los roedores no identificados

(21,31). Destacó también la gineta (19,67), mientras que el resto de especies mostraron tasas más bajas (<10; Tabla 1).



Fig. 1. Ejemplos de la fauna identificada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: jabalí (C4), corzo (C1), zorro (C2), tejón (C1), gineta (C1) y ardilla (C2). Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. TD/RAI estándar y modificada (entre paréntesis) para cada especie y por cámara. Elaboración propia

Especie	C1	C2	C3	C4	TD/RAI
Zorro	61,1	44,4	100	52,9	59,02
Corzo	5,6	0	0	5,9	3,28
Jabalí	27,8 (61,1)	5,6 (5,6)	112,5 (125)	47,1 (64,7)	37,7 (54,10)
Tejón	22,2	0	0	0	6,56
Gato Montés	33,3	0	0	0	9,84
Gineta	16,7	27,8	0	23,5	19,67
Mirlo	11,1	0	0	0	3,28
Ardilla	0	22,2	0	0	6,56
Roedores	0	0	37,5	58,8	21,31

Al aplicar la corrección por tamaño de grupo al jabalí (TD/RAI modificada), su tasa de actividad relativa total ascendió a 54,10 detecciones/100 días-trampa, un valor muy próximo al del zorro (59,02). A escala de cámara, el jabalí superó al zorro en actividad relativa corregida en tres de las cuatro estaciones (C1, C3 y C4), siendo la C2 la única ubicación donde el zorro mantuvo una tasa muy superior (44,4 frente a 5,6). Para la gineta, el análisis de patrones del pelaje permitió identificar entre 10 y 13 ejemplares distintos. La TD/RAI estándar calculada para esta especie (19,67) coincidió con el número de eventos independientes contabilizados por individuo, validando la precisión del método en especies solitarias con movimiento errático. Se confirmó la movilidad de al menos un ejemplar entre las cámaras C1 y C2, separadas por una distancia lineal de 720 m.

3.3 Patrones horarios

El análisis temporal reveló un comportamiento predominantemente nocturno en la comunidad de mamíferos estudiada. El 75% de las detecciones de zorro y el 60% de jabalí ocurrieron en horario nocturno. No obstante, el jabalí mostró una mayor flexibilidad, con un 25% de actividad registrada durante el anochecer y presencia esporádica diurna. La gineta y el gato montés presentaron picos de actividad marcadamente crepusculares, concentrados en las horas previas al amanecer (30% de los registros). Las especies estrictamente diurnas fueron la ardilla común y el mirlo común, cuyas detecciones se limitaron a las horas centrales del día y primeras horas de la mañana, respectivamente (Fig. 2).

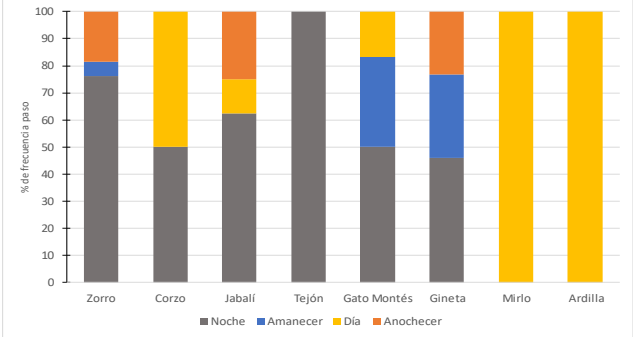


Fig. 2. Frecuencia de capturas de cada especie agrupadas por franjas horarias. Fuente: elaboración propia.

4 Discusión

Los resultados confirman la hipótesis de partida: el área periurbana estudiada alberga una comunidad de mamíferos diversa y con una elevada actividad relativa. La riqueza específica observada (siete mamíferos) es comparable a la de entornos menos antropizados de la región, lo que evidencia la importancia de los remanentes de vegetación como refugio en paisajes fragmentados (Torre et al., 2022). Las tasas de detección obtenidas para el zorro y el jabalí son notablemente altas en comparación con estudios de mayor duración temporal (Fuentes-Lamas et al., 2025). Este fenómeno puede atribuirse a la conjunción de factores favorables en el área de estudio: la suavidad climática, la elevada disponibilidad de recursos tróficos en mosaicos agroforestales y, especialmente, la existencia de una "Zona de Seguridad" cinegética que convierte el entorno en un área de refugio durante la temporada de caza (Laguna et al., 2021).

Desde el punto de vista metodológico, los datos obtenidos subrayan una limitación significativa en el uso del TD/RAI estándar. La subestimación del jabalí detectada inicialmente se corrige al contabilizar el número real de individuos por grupo. Este sesgo es atribuible al comportamiento de desplazamiento gregario y más lineal de *Sus scrofa*, que contrasta con el campeo errático y solitario del

zorro (Oehler et al., 2025; Evans et al., 2024). En consecuencia, se recomienda la aplicación de la TD/RAI modificada en estudios que incluyan ungulados sociales para evitar interpretaciones erróneas sobre la estructura de la comunidad faunística.

La nocturnidad observada en el zorro y el incremento de la actividad crepuscular en mesocarnívoros como la gineta y el gato montés constituyen una respuesta conductual típica ante la presión antrópica diurna, permitiendo la coexistencia en espacios compartidos con el ser humano (Teixeira et al., 2023; Vázquez-García et al., 2025). La movilidad inter-cámaras detectada en la gineta (720 m) es coherente con los rangos de desplazamiento descritos para la especie en hábitats forestales fragmentados (Sarmento et al., 2010).

5 Conclusiones

El fototrampeo ha permitido constatar la presencia de una comunidad diversa de mamíferos de tamaño medio y grande en la periferia rural de Oviedo, con el zorro común y el jabalí como especies dominantes en términos de actividad relativa. El estudio valida empíricamente la necesidad de ajustar la metodología de cálculo del TD/RAI para especies gregarias como el jabalí, cuya actividad real es subestimada por el método estándar basado únicamente en eventos independientes. La adaptación conductual de la fauna, reflejada en la nocturnidad de sus patrones de actividad, demuestra la capacidad de estas especies para explotar hábitats fragmentados siempre que persistan refugios de vegetación y corredores de movilidad. Futuras líneas de investigación deberán ampliar el esfuerzo de muestreo temporal y espacial para refinar las estimas de densidad poblacional y profundizar en el análisis de la conectividad funcional en estos paisajes de interfaz urbano-rural.

6 Referencias

Chávez, C., De la Torre, A., Bárcenas, O., Medellín, R. A., Zarza, H., & Ceballos, G. (Eds.). (2013). Manual de fototrampeo para estudio de fauna silvestre. Universidad Nacional Autónoma de México.

Evans, T. S., Ellison, N., Boudreau, M. R., Strickland, B. K., Street, G. M., & Iglay, R. B. (2024). What drives wild pig (Sus scrofa) movement in bottomland and upland forests? *Movement Ecology, 12*(1), 32.

Fuentes-Lamas, D.L., Silla, F., & Sereno-Cadierno, J. (2025). Conviviendo en el límite: El papel del solapamiento temporal entre depredador-presa. Ecosistemas, 34(1), 2880.

Guerrero-Casado, J., Carpio, A. J., Mendoza-Lozano, A., & Tortosa, F. S. (2022). Detección de mesocarnívoros en zonas agrícolas del sur de España. *Galemys, 34*, 28-32.

Johnson, M. T. & Munshi-South, J. (2017). Evolution of life in urban environments. *Science, 358*(6363), eaam8327.

Laguna, E., Barasona, J. A., Vicente, J., Keuling, O., & Acevedo, P. (2021). Differences in wild boar spatial behaviour among land uses. *Science of The Total Environment, 796*, 148966.

Muñoz-Jiménez, J. (1982). Geografía Física. El relieve, el clima y las aguas. In F. Quirós (Ed.), *Geografía de Asturias* (Tomo 1). Ayalga Ediciones.

Oehler, F., Hagen, R., Hackländer, K., Walton, Z., Ashish, K., & Arnold, J. (2025). How do red foxes explore their environment? *Movement Ecology, 13*(1), 4.

Palencia, P., Barroso, P., Vicente, J., Hofmeester, T. R., Ferreres, J., & Acevedo, P. (2022). Random encounter model for estimating population density. *Remote Sensing in Ecology and Conservation, 8*(5), 670-682.

Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., & Carbone, C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 1228-1236.

Sarmento, P. B., Cruz, J. P., Eira, C. I., & Fonseca, C. (2010). Habitat selection and abundance of common genets. European *Journal of Wildlife Research*, 56(1), 59-66.

Teixeira, D. F., Ares-Pereira, G., Camarinha, C., Lima, C., Magalhães, A., Castro, G., Fonseca, C., & Rosalino, L. M. (2023). Effect of anthropic disturbances on the activity pattern of two generalist mesocarnivores inhabiting Mediterranean forestry plantations. *Biodiversity and Conservation, 32*(4), 1251-1270. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02548-4

Torre, I., Pulido, T., Vilella, M., & Díaz, M. (2022). Mesocarnivore distribution along gradients of anthropogenic disturbance. *Diversity*, *14*(2), 133.

Vázquez García, P., Vázquez, V. M., Hartasánchez, A., Pando, D., Alambiaga, I., & Monrós, J. S. (2025). Activity patterns of the European wildcat in the Cantabrian Mountains (NW Spain), interactions with sympatric carnivores and factors affecting its presence. *Mammalian Biology, 105*, 615-628. https://doi.org/10.1007/s42991-025-00500-3

Zhang, C., Li, Y., Hu, X., Ma, X., Jia, W., Liu, K., & Nie, Y. (2023). Human-induced behavioural changes of global threatened terrestrial mammals. *Global Ecology and Biogeography*, *32*(9), 1645-1659. https://doi.org/10.1111/geb.13710

7 Agradecimientos

Esta contribución aborda parte de los temas de investigación tratados en el proyecto PID2020-115269GB-I00 (MICINN, Gobierno de España), y se enmarca dentro de las actividades del Grupo de Investigación Reconocido GEAFROST (Universidad de Oviedo; referencia: GR-024-0012).

Patrones ecogeomorfológicos y umbrales de degradación en pastizales del Parque Nacional Sierra de las Nieves

Menjíbar-Romero, Mario[1], Nadal-Romero, Estela[2], Hueso-González, Paloma[1] y Martínez-Murillo, Juan Francisco[1]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Málaga. Bulevar Louis Pasteur, 28, 29010, Málaga, España
[2] Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Campus de Aula Dei. Avda Montañana 1005, 50059, Zaragoza, España.
mariomenjibar@uma.es

Resumen. Este estudio analiza las alteraciones superficiales y edáficas derivadas de la degradación de pastizales por presión ganadera y erosión hídrica en el Parque Nacional Sierra de las Nieves. Ante la vulnerabilidad de los ecosistemas de montaña frente al Cambio Global, se evaluaron variables ecogeomorfológicas y físico-químicas del suelo en parcelas con distintos grados de degradación, comparándolas con áreas adyacentes de badlands. Los resultados evidencian que la degradación severa altera drásticamente el suelo superficial. Los pastizales muy degradados alcanzan condiciones equiparables a los badlands, sugiriéndose el cruce de umbrales de degradación irreversible. Este deterioro reduce la disponibilidad hídrica y la estabilidad de agregados, comprometiendo la regeneración natural. Consecuentemente, se merman servicios ecosistémicos esenciales como la captura de carbono, regulación hidrológica y control de la erosión del suelo, disminuyendo de forma crítica la resiliencia del hábitat ante el calentamiento global.

Palabras clave: pastizal, suelo, propiedades edáficas, badland, Sierra de las Nieves.

Resumo. Este estudo analisa as alterações superficiais e edáficas derivadas da degradação de pastagens pela pressão de pastoreio e erosão hídrica no Parque Nacional Sierra de las Nieves. Face à vulnerabilidade dos ecossistemas de montanha perante a Mudança Global, avaliaram-se variáveis ecogeomorfológicas e físico-químicas do solo em parcelas com distintos graus de degradação, comparando-as com áreas adjacentes de badlands. Os resultados evidenciam que a degradação severa altera drasticamente o solo superficial. As pastagens muito degradadas alcançam condições equiparáveis às dos badlands, sugerindo a ultrapassagem de limiares de degradação irreversível. Esta deterioração reduz a disponibilidade hídrica e a estabilidade dos agregados, comprometendo a regeneração natural. Consequentemente, reduzem-se serviços ecossistêmicos essenciais como a captura de carbono, a regulação hidrológica e o controlo erosivo, diminuindo de forma crítica a resiliência do habitat face ao aquecimento global.

Palavras-chave: pastagens, solo, propiedades do solo, badland, Sierra de las Nieves.

Abstract. This study analyzes the surface and soil alterations resulting from grassland degradation driven by grazing pressure and water erosion in the Sierra de las Nieves National Park. Given the vulnerability of mountain ecosystems to Global Change, eco-geomorphological and physicochemical soil variables were evaluated in plots with varying degrees of degradation, comparing them with adjacent badland areas. The results demonstrate that severe degradation drastically alters the topsoil. Highly degraded grasslands reach conditions comparable to badlands, suggesting the crossing of irreversible degradation thresholds. This deterioration reduces water availability and aggregate stability, compromising natural regeneration. Consequently, essential ecosystem services—such as carbon sequestration, hydrological regulation, and erosion control—are diminished, critically decreasing the habitat's resilience to global warming.

Keywords: grassland, soil, soil properties, badland, Sierra de las Nieves.

1 Introducción

El Cambio Global, es decir, la confluencia del calentamiento climático y las presiones antrópicas (García-Ruiz et al., 2015), afecta severamente a las montañas. Las áreas de montaña son especialmente vulnerables a la intensificación de estos procesos, sufriendo transformaciones ambientales y socioeconómicas que comprometen tanto sus ecosistemas como el tejido económico y vital de sus habitantes (Chaudhary et al., 2017). En estos entornos, los pastizales son ecosistemas fundamentales que destacan por su amplia importancia en los servicios ecosistémicos de regulación, provisión y culturales (Pereira et al., 2022).

En las montañas alpinas mediterráneas, los pastizales sufren presiones complejas. Por un lado, el calentamiento global desencadena procesos de colonización por vegetación leñosa, y, por otro lado, la intensificación del pastoreo y la proliferación de actividades recreativas aceleran la degradación y erosión del suelo (Torresani et al., 2019). Estas condiciones adversas desencadenan la pérdida de biodiversidad, de las reservas de carbono, de la estructura edáfica y de su capacidad de retención hídrica, disminuyendo drásticamente la capacidad del suelo para sostener a los pastizales y mermando la entrega de servicios ecosistémicos esenciales.

Ante la notable escasez de estudios sobre la variabilidad espacial de la degradación de los pastizales en la montaña

mediterránea peninsular, esta investigación analiza la degradación que sufren los pastizales de las tierras altas del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves, un entorno donde esa degradación está estrechamente relacionada con la extensión de badlands. Sus objetivos son: i) caracterizar las alteraciones ecogeomorfológicas y edáficas derivadas del pastoreo y la erosión hídrica, ii) determinar su representatividad; y iii) evaluar sus implicaciones para respaldar estrategias de manejo adaptativo al Cambio Global basadas en la funcionalidad edáfica.

2 Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la alta montaña del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves, en el sur de la península Ibérica (Fig. 1), situadas por encima de 1 600 m s.n.m. (Menjíbar-Romero et al., 2024). Se trata de un entorno mediterráneo caracterizado por un clima hiperhúmedo y fuertemente continentalizado. Desde el punto de vista litológico, la zona presenta laderas y cimas de roquedo calcáreo, separadas por depresiones de fondo llano o casi llano, rellenadas de rocas sedimentarias blandas muy propensas a la erosión hídrica en regueros y cárcavas, donde es frecuente observar procesos y morfologías de badlands (Menjíbar-Romero et al., 2026). El uso predominante del territorio es el pastoreo extensivo que, sumado a la presión de las actividades recreativas, condiciona la evolución de unos suelos generalmente someros, creando un escenario idóneo para analizar procesos erosivos extremos.

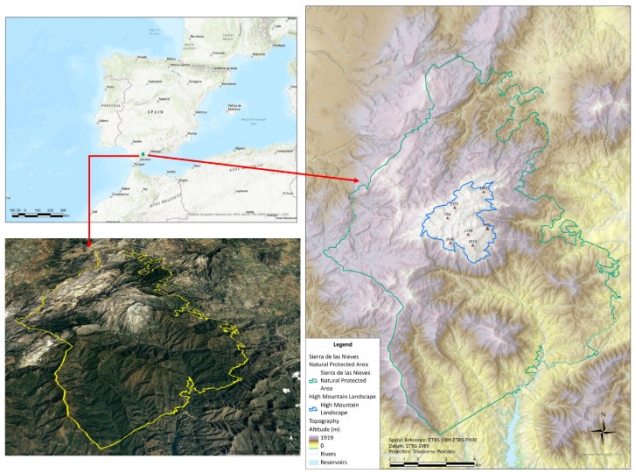


Fig. 1. Localización del Parque Nacional Sierra de las Nieves y límites del entorno de alta montaña.

En cuanto al diseño experimental, se delimitó una parcela abierta que reúne las principales características ecogeomorfológicas de la zona y representan una secuencia espacial interpretada como gradiente temporal de degradación (Fig. 2). En ella, se identificaron cuatro tipos de cobertura representativas de diferentes etapas de degradación del pastizal: pastizal no degradado (ND), semidegradado (SD), degradado (D) y superficie tipo badland (B), considerada esta última como la etapa final del deterioro en el área experimental. La caracterización superficial de cada cobertura se realizó mediante una evaluación exhaustiva de la cubierta herbácea, la pedregosidad superficial y diversos indicadores de erosión hídrica. Se tomaron sistemáticamente diez muestras de suelo en superficie, utilizando un procedimiento de muestreo aleatorio estratificado en cada tipo de pastizal y en la superficie de badlands. Las muestras se tomaron de la capa de suelo de 0 a 5 cm y se extrajeron tanto en forma alterada como inalterada (utilizando cilindros de 10 cm³). Además, se obtuvieron cuidadosamente agregados de suelo inalterados de la superficie y se transportaron al laboratorio en recipientes herméticamente sellados.

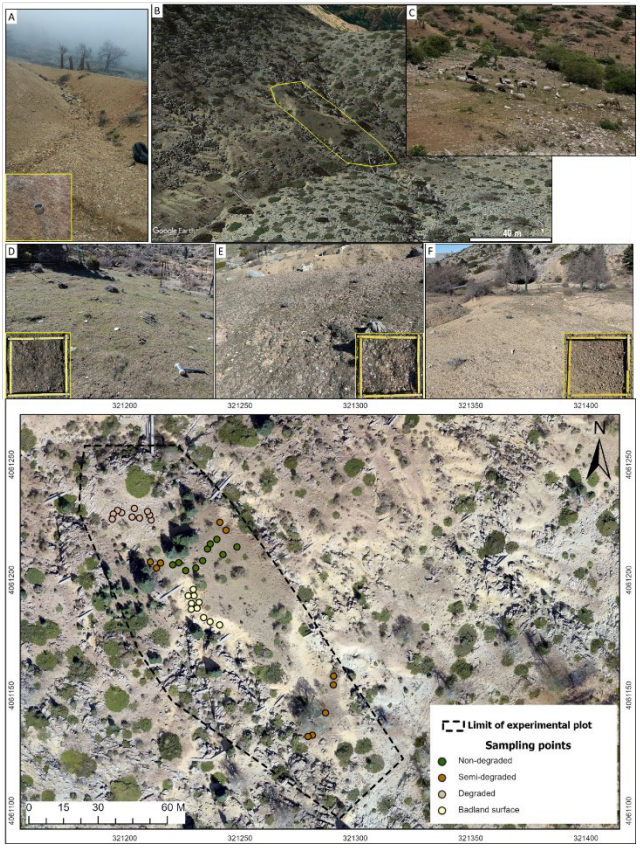


Fig. 2. Límites de la parcela experimental abierta y localización de los puntos de muestreo de suelo.

La selección de las propiedades edáficas a analizar en laboratorio siguió los criterios de Ruiz-Sinoga y Romero-Díaz (2012) para evaluar la degradación del suelo en montañas mediterráneas: sensibilidad a los procesos de degradación física, química y estructural. Su relevancia radica en que permiten la evaluación del estado de provisión de servicios ecosistémicos claves para la vegetación y los suelos, como la retención de agua y la estabilidad estructural. De este modo, en el laboratorio se analizaron: textura, materia orgánica, carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico, estabilidad de agregados, la capacidad de retención hídrica, densidad aparente y porosidad.

Para el tratamiento analítico de los datos, tras verificar la normalidad y homocedasticidad (pruebas de Shapiro-Wilk y Levene), las variaciones edáficas entre coberturas se analizaron mediante un ANOVA de un factor y una prueba *post hoc* LSD ($p < 0,05$). Como complemento, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para identificar las variables con mayor peso en la variabilidad observada, para confirmar cuantitativamente la influencia de la degradación de la cubierta vegetal del pastizal y en el suelo.

3 Resultados y discusión

Los resultados evidencian un claro gradiente de degradación ecogeomorfológica y edáfica en la parcela experimental, transitando desde pastizales no degradados (ND) hasta superficies de badlands (B). El pastizal ND presenta un ecosistema saludable con cobertura total de herbáceas y musgo, sin signos de erosión. A medida que el entorno evoluciona hacia un estado semidegradado (SD) y degradado (D), la cubierta vegetal disminuye drásticamente (por debajo del 10 % en el estado D), aumentando la pedregosidad superficial por encima del 70 % y acentuando la erosión hídrica. La etapa final de este proceso es la superficie de badland, caracterizada por la ausencia total o casi total de vegetación, la incisión activa de la escorrentía sobre el sustrato margoso y una morfología estacional dinámica (costras y micro-flujos de lodo).

Desde el punto de vista edáfico, los suelos transicionan de Umbrisoles Háplicos a Leptosoles Esqueléticos. Los análisis demuestran que la degradación altera significativamente la mayoría de las propiedades del suelo superficial. Desde el punto de vista estructural, se documentó un claro gradiente decreciente en la estabilidad de los agregados (ND > SD > D > B). Asimismo, la capacidad de retención hídrica disminuyó progresivamente desde las áreas ND hacia las zonas degradadas, un proceso íntimamente ligado a la pérdida de materia orgánica.

A nivel químico, el pastizal ND registró los valores máximos de conductividad eléctrica, materia y carbono orgánico, y reservas de carbono orgánico del suelo (SOC). Estas reservas en los primeros 5 cm del perfil cayeron drásticamente de 22,62 Mg ha^{-1} en el pastizal ND, a 10,55 Mg ha^{-1} en el degradado. De hecho, la disponibilidad de nutrientes y el SOC en los pastizales muy degradados alcanzaron niveles críticos, asemejándose peligrosamente a las condiciones extremas de los badlands.

Finalmente, el análisis de componentes principales (ACP) respaldó cuantitativamente esta divergencia (Fig. 3). El primer componente (31,03% de la varianza), fuertemente asociado al COS y al intercambio catiónico, separó nítidamente los pastizales saludables (valores positivos) de las zonas D y B (valores negativos). En conjunto, los datos confirman que la pérdida de la cubierta herbácea desencadena un colapso estructural y físico-químico del suelo, empujando al pastizal hacia umbrales de degradación prácticamente irreversibles.

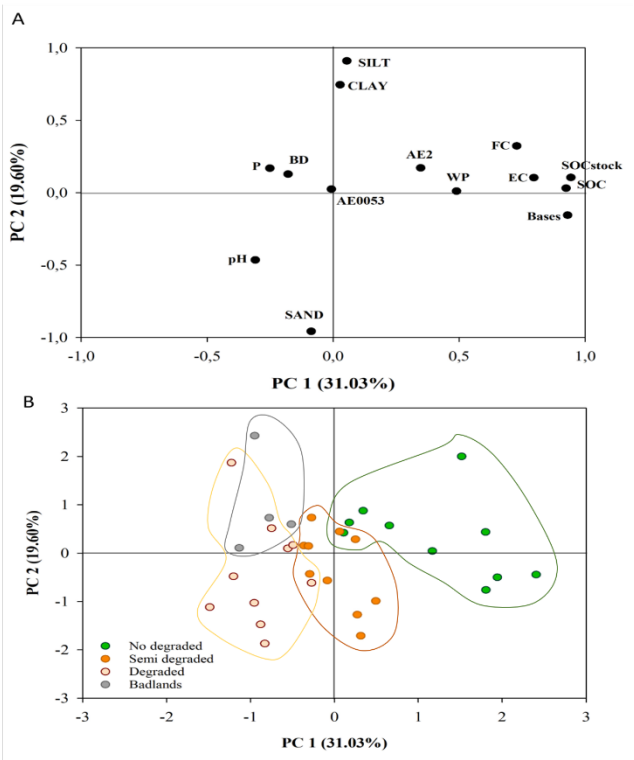


Fig. 3. Vectores propios en el plano de los dos primeros componentes obtenidos en el ACP (A) y puntuaciones de los CP en el plano del CP1 y CP2 considerando todos los datos de las propiedades del suelo (B) y únicamente las fracciones de estabilidad de agregados (C).

El estudio evidencia que la degradación de pastizales en la alta montaña del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves origina un colapso edáfico. Al reducirse la cubierta vegetal, caen drásticamente la materia orgánica, las reservas de carbono, la retención hídrica y la estabilidad de agregados del suelo. Los suelos muy degradados alcanzan un deterioro físico-químico similar al del de los materiales de badland en superficie. Esto desencadena un bucle erosivo de deterioro que anula la provisión de forraje, la regulación hidrológica y el secuestro de carbono, amenazando gravemente los servicios ecosistémicos de los pastizales en el contexto de Cambio Global.

4 Conclusiones

i) La degradación de los pastizales altera drásticamente las condiciones ecogeomorfológicas y las propiedades físico-químicas del suelo superficial, equiparándolas en sus estadios más severos a las de superficie de badlands.

ii) El colapso físico-químico y estructural derivado de estas alteraciones merma de forma crítica los servicios ecosistémicos de regulación, retroalimentando la vulnerabilidad a la erosión hídrica y amenazando directamente la supervivencia de la cubierta herbácea.

iii) En consecuencia, para hacer frente a esta pérdida de funcionalidad edáfica y la amenaza del Cambio Global, resulta crítico implementar estrategias de conservación y gestión proactiva que preserven la cubierta vegetal y aseguren la sostenibilidad de estos entornos.

5 Referencias

Chaudhary, S., Tshering, D., Phuntsho, T., Uddin, K., Shakya, B., & Chettri, N. (2017). Impact of land cover change on a mountain ecosystem and its services: Case study from the Phobjikha valley, Bhutan. Ecosystem Health and Sustainability, 3(9), 1393314. https://doi.org/10.1080/20964129.2017.1393314

García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Lasanta, T., Vicente-Serrano, S. M., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B. L., Sanjuán, Y., Beguería, S., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Gómez-Villar, A. (2015). Los efectos geoecológicos del cambio global en el Pirineo central español: Una revisión a distintas escalas espaciales y temporales. Pirineos, Revista de Ecología de Montaña, 170, e012. https://doi.org/10.3989/Pirineos.2015.170005

Menjíbar-Romero, M., Remond, R. & Martínez Murillo, J.F. (2024). Las unidades de paisaje del Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves: caracterización, cambios y métricas. *Rev. Geogr. Norte Gd.,* 87. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022024000100114

Menjíbar-Romero, M., Sánchez-Fernández, M. Martínez Murillo, J. F. & Gómez-Gutiérrez, A. (2026). Medium-term quantification and mapping of eroded and sedimentation areas in two depressions located in Sierra de las Nieves (South of Spain). *Geomorphology*. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2026.110285

Pereira, P., Inacio, M., Bogunovic, I., Francos, M., Barceló, D., & Zhao, W. (2022). Ecosystem services in mountain environments: Benefits and threats. Pirineos, Revista de Ecología de Montaña, 177, e068. https://doi.org/10.3989/pirineos.2022.177001

Ruiz-Sinoga, J. D., Pariente, S., Romero Díaz, A., & Martínez-Murillo, J. F. (2012). Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). Catena, 94, 17–25. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.004

6 Agradecimientos

Los autores agradecen los fondos recibidos por la Fundación Ramón Areces que apoyó este trabajo.

Geographic distribution of *Nymphaea gracilis* Zucc. (Nymphaeaceae): an assessment for a Mexican endemic species

López-Camarillo Hugo[1,3], Ríos-Muñoz César A.[2] y Luna-Vega Isolda[1]

[1] Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México
[2] Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México
hugolopezcamarillo4.6@gmail.com

Abstract. A fundamental aspect of biological knowledge of a taxon is understanding its geographic distribution. However, this knowledge is scarce in continental aquatic taxa, which remain poorly documented. The case of *Nymphaea gracilis* Zucc., an endemic Mexican water lily listed as threatened under Mexican law, is no exception; knowledge of its geographic distribution is limited. For this reason, this study compared four methods for estimating the geographic distribution of this taxon: 1) grid method (GM); 2) minimum convex polygon (MCP); 3) mean propinquity (MP); and 4) species distribution models (SDMs). Eighty-three georeferenced occurrence records obtained from herbaria, iNaturalist, and fieldwork from 2018 to 2024 were used. The records were grouped into six periods representing cumulative records of the species to assess changes in area size and the predictive capacity of each method. The results show that GR had the lowest predictive performance and was strongly influenced by the established cell size. PMC generated stable areas, determined from the third period onward. PM yielded discontinuous distributions, which decreased in size as more data were included. DEMs generated the most inclusive distribution areas with few records, as they consider the environmental factors in which the species records are found. This study provides valuable information for ecological research, monitoring, and conservation planning of Mexican continental aquatic plants using different methodological approaches.

Keywords: Wetlands, Aquatic Plants, Nymphaeaceae, Areography, Species Distribution Models.

Resumen. Un aspecto fundamental del conocimiento biológico de un taxón es comprender su distribución geográfica. Sin embargo, este conocimiento es escaso en taxones acuáticos continentales, los cuales permanecen pobremente documentados. El caso de *Nymphaea gracilis* Zucc., un nenúfar mexicano endémico y catalogado como amenazado por la legislación mexicana no es la excepción; el conocimiento de su distribución geográfica es limitado. Por este motivo, este estudio comparó cuatro métodos para estimar la distribución geográfica de este taxón: 1) gradilla (GR); 2) polígono mínimo convexo (PMC); 3) propincuidad media (PM) y 4) modelos de distribución de especies (MDEs). Se usaron 83 registros georreferenciados de ocurrencia obtenidos de herbarios, iNaturalist y trabajos de campo desde 2018 a 2024. Los registros se agruparon en seis períodos que representan los registros de la especie de forma acumulada para evaluar los cambios en el tamaño del área y la capacidad predictiva de cada método. Los resultados muestran que GR tuvo el rendimiento predictivo más bajo y estuvo fuertemente influenciado por el tamaño de celda establecido. PMC generó áreas estables, determinadas desde el tercer perido. Con PM se obtuvieron distribuciones discontinuas, que se redugeron en tamaño conforme mas datos fueron incluidos. Los MDEs generaron las áreas de distribución más inclusivas con pocos registros, ya que consideran los factores ambientales en los que se encuentran los registros de la especie. Este estudio proporciona información valiosa para la investigación ecológica, el monitoreo y la planificación de la conservación de las plantas acuáticas continentales mexicanas mediante diferentes enfoques metodológicos.

Palabras clave: Humedales, plantas acuáticas, Nymphaeaceae, areografía, modelos de distribución de especies.

Resumo. Um aspecto fundamental do conhecimento biológico de um táxon é a compreensão de sua distribuição geográfica. No entanto, esse conhecimento é escasso em táxons aquáticos continentais, que permanecem pouco documentados. O caso de Nymphaea gracilis Zucc., um lírio d'água endêmico do México listado como ameaçado pela legislação mexicana, não é exceção; o conhecimento sobre sua distribuição geográfica é limitado. Por essa razão, este estudo comparou quatro métodos para estimar a distribuição geográfica desse táxon: 1) método da grade (MG); 2) polígono convexo mínimo (PCM); 3) proximidade média (PM); e 4) modelos de distribuição de espécies (MDEs). Foram utilizados 83 registros de ocorrência georreferenciados, obtidos de herbários, iNaturalist e trabalho de campo, entre 2018 e 2024. Os registros foram agrupados em seis períodos, representando registros cumulativos da espécie, para avaliar as mudanças no tamanho da área e a capacidade preditiva de cada método. Os resultados mostram que o MG apresentou o menor desempenho preditivo e foi fortemente influenciado pelo tamanho da célula estabelecido. O PCM gerou áreas estáveis, determinadas a partir do terceiro período. A modelagem de distribuição periódica (PM) resultou em distribuições descontínuas, que diminuíram de tamanho à medida que mais dados foram incluídos. Os modelos digitais de elevação (DEMs) geraram as áreas de distribuição mais abrangentes com poucos registros, pois consideram os fatores

ambientais nos quais os registros das espécies são encontrados. Este estudo fornece informações valiosas para a pesquisa ecológica, o monitoramento e o planejamento da conservação de plantas aquáticas continentais mexicanas, utilizando diferentes abordagens metodológicas.

Palavras-chave: Zonas úmidas, plantas aquáticas, Nymphaeaceae, areografia, modelos de distribuição de espécies.

1 Introduction

The assessment for distribution areas for a given taxon is complex; some authors have used various scale-dependent methods to describe features that indicate suitable environments for specific species (Peterson *et al*., 2011; Soberón & Osorio-Olvera, 2023). Some of these methods include grids (GR), convex hulls (CH), mean propinquity (MP), and species distribution modeling (SDM) (Rapoport & Monjeau, 2001; Peterson *et al*., 2011; Phillips *et al*., 2017). Although all these methods have some limitations, including sampling bias, mathematical constraints, different theoretical bases, and a lack of ecological considerations (Rapoport & Monjeau, 2001; Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012), they have been used to better represent the geographic space occupied by a taxon.

In this study, we assess the distribution area for *Nymphaea gracilis* Zucc. an endemic and threatened Mexican water lily (SEMARNAT, 2010) using the four methods mentioned above by comparing their prediction capacity and area occupied in six temporal periods from 1827 to 2024.

2 Materials and methods

We obtained 82 unique locality records from herbaria, field work from 2018 to 2024, and iNaturalist.mx (https://mexico.inaturalist.org/taxa/206515-Nymphaea-gracilis). Six chronological periods were created to assess how geographic records accumulate over time and influence the representation of the distribution of the species: a) 1832–1977 (14 records); b) 1832–1986 (14); c) 1832–1992 (14); d) 1832–2013 (14); e) 1832–2021 (14) and f) 1832–2024 (12).

For each period, four methods were used: 1) GR (0.25º x 0.25º and 0.50º x 0.50º); 2) CH; 3) MP; and 4) SDM (based on Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012). All these methods were implemented according to the procedures outlined by Kobelkowsky-Vidrio (2024) in QGIS 3.36 (QGIS.org, 2025).

For SDM, we defined the accessible area (M) for *N. gracilis* selecting all the biogeographic provinces for Mexico where the species have presence (Morrone *et al*., 2017). We used a set of 19 bioclimatic layers (1910-2009) (Karger *et al*., 2017) to prevent collinearity and overparameterization (Martínez-Sánchez *et al*., 2023), resulting in only 2, 3, 8, 12, 14, 15, 18, and 19 layers used for analysis (bios).

We ran 10 replicates in Maxent 3.4.4 (Phillips *et al*., 2017) using the default parameters (regularization multiplier = 1, auto features, 10,000 background points) per period, using 50 % of unique records for model training, with random seed. We selected the median value for each period, and presence was classified using the minimum training presence threshold for binary values (0 = absence, 1 = presence) to facilitate the comparison of area sizes across periods.

The results were compared across all methods for each temporal period, and their prediction capability was calculated as the number of records predicted per period and method.

3 Results

3.1 Distribution area sizes

We compared the number of localities needed to cover 100 % of the area and ranked the methods from smallest to largest area (in km^2): 0.25º GR cells, MP, 0.50º GR cells, CH, and SDM (Table 1 and Fig. 1).

The GR depends on the cell size used to define the distribution, but there are no guidelines for determining the cell size. Using CH, the polygons increased in size with every period added but the size of the areas did not change much because the extreme outer records for the species were nearly close to the extreme points previously considered. With the MP, a decreasing trend in area size was observed as new localities were added in each period, splitting the larger zones into discontinuous areas, as indicated by the reduction in mean minimum spanning tree values. For SDM, the size of the obtained areas did change in all periods but always considering a wide size.

Table 1. Size of areas (km^2) using four methods to delineate the distribution for *N. gracilis*.

Period	GR 0.25º	GR 0.50º	CH	MP	SDM
1832–1977	7,903	28,792	138,151	284,779	306,562
1832–1986	15,838	54,730	191,254	169,380	294,595
1832–1992	21,623	66,290	206,237	119,918	222,404
1832–2013	25,188	74,844	214,249	102,930	314,716
1832–2021	32,335	94,843	219,200	103,424	326,112
1832–2024	34,500	100,609	230,889	94,450	276,018

3.2 Prediction capability

We found that GR was the least effective, needing all the localities to include all of the records. On the other hand, the methods requiring the fewest records to encompass more than 90 % of the known localities of *N. gracilis* within the calculated areas are: SDM (28 records), CH (56), MP (70)

(Fig. 2). With this last method, the addition of more records reduced the predictability until it used all the records.

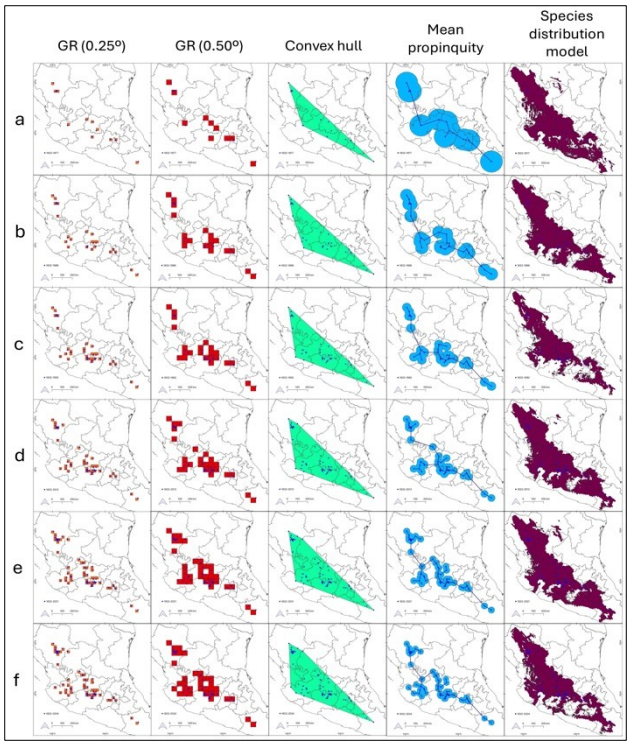


Fig. 1. Distribution areas of *Nymphaea gracilis* using four methods in six periods.

4 Discussion

4.1 Distribution area sizes

For the GR (both cell sizes), arbitrary sizes can influence area measurements because there are no other parameters to consider when they are established; therefore, this method does not reflect the biological and geographical dynamics of the species (Cervellini *et al*., 2020). In the case of CH, the primary limitation is that the areas neither reflect accurately the limits for dispersal for this species, but only the local limits of known records of individuals (Burgman & Fox, 2003).

For MP, the use of a few records resulted in a large area, which decreased further with the addition of more records in the subsequent periods. With all records included, the area increased again, showing that this method depends on the number of available data and the distance among the records, which can be susceptible to misinterpretation (Rapoport & Monjeau, 2001).

The areas obtained by the SDM demonstrate the capacity of this method to assess the distribution of the species associated with a set of descriptive environmental variables (Peterson *et al*., 2011). However, it should be noted that scale is important, given that climatic layers are useful to national level but are not for local level, given that microclimatic conditions involved in the presence of water bodies where *N. gracilis* is found were not considered (Franklin, 2009; Castillo-Torres *et al*., 2017).

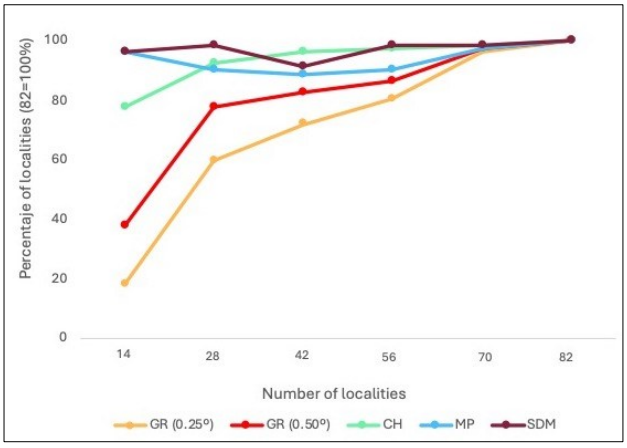


Fig. 2. Percentage of total known localities for *N. gracilis* predicted using four methods.

4.2 Prediction capability

For GR, predictability depends on the size of the occupied cells, but the cell size determination is arbitrary (Mota-Vargas & Rojas-Soto, 2012). With CH, the number of records was not decisive, but their location shaped the resulting area. This issue makes the method sensitive to record placement and collection date (Rapoport & Monjeau, 2001).

The MP has higher predictive accuracy with few records, but decreases as more periods are added, making its effectiveness dependent on the number of records and the distance among them (Rapoport & Monjeau, 2001), requiring a good sampling representation.

The limitation of the SDM in predicting areas of suitability where *N. gracilis* may occur is due to the large scale at which this method operates. This method lacks depiction of microclimatic conditions and also overestimates dryland areas where the species cannot disperse (LaDeau, 2010; Peterson *et al*., 2011).

5 Conclusions

The most predictive method to assess the geographical distribution of *N. gracilis* with a small data set was SDM, enhanced with climatic parameters not included in the other methods and applied at a large spatial scale.

When considering other methods, we must understand that the approximations in size and predictability obtained will be determined by theoretical bases rather than by biological or environmental conditions, given that all methods are only a geometric representation.

The contributions of the four methods to assess the distribution of *N. gracilis* are: GR) to describe the geographical knowledge of the species over time; CH) quickly and easily define an area of study; MP) identify small regions of interest in space; and SDM can predict broader areas where the species might exist if the necessary climatic conditions are present.

6 References

Burgman, A. M. & Fox, C. J. (2003). Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation, 6*, 19-28. DOI: https://doi.org/10.1017/S1367943003003044

Cervellini, M., Zannini, P., Di Musciano, M., Fattorini, S., Jiménez-Álfaro, B., Rocchini, D., Field, F., Ventanas, O. R, Irl, S. D. H., Beierkuhnlein, C., Hoffmann, S., Fischer, J. C., Casella, L., Angelini, P., Genovesi, P., Nascimbene, J. & Chiarucci, A. (2020). A grid-based map for the biogeographical regions of Europe. *Biodiversity Data Journal, 8*, e53720. DOI: https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e53720

Castillo-Torres, P. A., Martínez-Meyer, E., Córdoba-Tapia, F. & Zambrano, L. (2017). Potential distribution of native freshwater fish in Tabasco, Mexico. *Revista Mexicana de biodiversidad, 88*, 415-424. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.001

Franklin, J. (2009). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press, United Kingdom.

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H, P. & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *5*(4), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

Kobelkowsky-Vidrio, T. (2024). Práctica 110. Técnicas para inferir áreas de distribución geográfica utilizando un Sistema de Información Geográfica. En T. Escalante, E. A. García-Trejo & J. J. Morrone (Coords.), *Biogeografía Práctica* (pp. 386-398). Universidad Nacional Autónoma de México.

LaDeau, S. (2010). Advances in modeling highlight a tension between analytical accuracy and accessibility. *Ecology, 91*, 3488–3492. https://doi.org/10.1890/09-2249.1

Martínez-Sánchez, J. M., Cuéllar-Rodríguez, L. G., Yerena-Yamallel, J. I., Cavazos, M. T. & Gárate-Escamilla, H. A. (2023). Comparación de bases de datos climáticos en la modelación de distribución potencial de *Pinus cembroides* Zucc. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales 14*, 135-158. https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i79.1350

Morrone, J., Escalante, T. & Rodríguez-Tapia, G. (2017). *Provincias biogeográficas mexicanas*. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/pbiogmx17gw.html

Mota-Vargas, C. & Rojas-Soto, O. R. (2012). The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: the case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation 20*, 10–17. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2011.07.002

Pearson, R. G., Raxworthy, C., Nakamura, M. & Peterson, A. T. (2007). Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography 34*, 102–117. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M. & Bastos-Araújo, M. (2011). Ecological niches and geographic distributions. Princeton University Press, United States of America.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E. & Blair, M. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography 40*, 887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Rapoport, E. H. & Mojeau, J. A. (2001). Areografía. In: Llorente-Bousquets, J. & J. J. Morrone (Eds.), *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones* (pp. 23-31). Las Prensas de Ciencias.

SEMARNAT. (2010). NOM-059- SEMARNAT-2010, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Soberón, J. & Osorio-Olvera, J. (2023). A dynamic theory of the area of distribution. *Journal of Biogeography 50*, 1037–1048. https://doi.org/10.1111/jbi.14587

Soberón, J. & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics 2*, 1–10. https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4

QGIS. (2025). *QGIS.org Blog.* https://blog.qgis.org/2024/02/28/qgis-3-36-maidenhead-is-released/

7 Acknowledgments

We like to thank the SECIHTI (CBF-2025-G-499) and DGAPA-PAPIIT (219424) for the funding support, and all the people involved in this research.

Análisis de la flora y vegetación de las *codines* del PN "Sant Llorenç del Munt i l'Obac" (Barcelona) y su relación con el microrelieve y otros factores biofísicos

Pintó Josep[1], Garcia-Lozano Carla[1], Varga Diego[1], Roig-Munar Francesc Xavier[2] y Muñoz William[1]

[1] Laboratorio de Análisis y Gestión del Paisaje, Universitat de Girona, Plaça Ferrater Mora, 1, 17004, Girona, España
[2] Consultor ambiental. Carritxaret 18.6, es Migjorn Gran, 07749 Menorca, España
josep.pinto@udg.edu

Resumen. Para analizar la composición florística de las *codines* y su relación con los factores físicos, principalmente el microrelieve, el grosor del suelo, la altitud y la orientación, se ha efectuado un muestreo aleatorio para seleccionar 26 *codines* situadas en distintos rangos altitudinales y de orientación. Dichos espacios se han visitado en distintos meses del año para la toma de datos florísticos (inventarios, transectos, dinámica, fenología) y la confección de perfiles que permitieran el análisis de la flora y vegetación de estos ambientes singulares. El análisis efectuado ha permitido distinguir los distintos hábitats existentes en las *codines*, relacionados con el grosor del suelo, desde la roca desnuda hasta los suelos más desarrollados. La vegetación de estos ecotopos está formada por comunidades vegetales pratenses de la alianza *Thero-Brachypodion* donde predominan las especies anuales así como algunos geófitos y caméfitos de porte reducido. Algunas de estas comunidades albergan algún endemismo de escala regional, como *Erodium glandulosum*, junto con especies de distribución rara en el conjunto del macizo debido a tener su hábitat restringido en estos ecotopos lo que les confiere un alto valor de conservación. Este sería el caso de especies como *Arenaria conimbricensis* y *Arenaria fontqueri* (endémica del macizo). La disposición espacial de las comunidades y especies en las *codines* está condicionada principalmente por el microrelieve y el grosor del suelo. La vegetación se dispone en bandas de acuerdo con un gradiente edáfico determinado por la mayor o menor acumulación de material edáfico. La altitud y la exposición también condicionan la presencia de algunas especies como *Erodium glandulosum* por ejemplo, que no se encuentra en *codines* situadas por debajo de los 850 m. Los resultados sugieren la diferenciación entre los prados de anuales que colonizan los suelos esqueléticos, de los prados más densos de hemicriptófitos y caméfitos sufruticosos que ocupan los suelos más desarrollados.

Palabras clave: *Codina*, Prado seco mediterráneo, *Thero-Brachypodion*, Sant Llorenç del Munt i l'Obac.

Resumo. Para analisar a composição florística das clareiras e a sua relação com os fatores físicos, principalmente o microrrelevo, a espessura do solo, a altitude e a orientação, foi realizada uma amostragem aleatória para selecionar 26 clareiras localizadas em diferentes intervalos altitudinais e de orientação. Estes espaços foram visitados em diferentes meses do ano para a recolha de dados florísticos (inventários, transectos, dinâmica, fenologia) e a elaboração de perfis que permitirão a análise da flora e da vegetação destes ambientes únicos. A análise realizada permitiu distinguir os diferentes habitats existentes nas clareiras, relacionados com a espessura do solo, desde a rocha nua até aos solos mais desenvolvidos. A vegetação das clareiras é composta por comunidades vegetais da aliança *Thero-Brachypodion*, onde predominam espécies anuais, bem como alguns geófitos e pequenas caméfitas. Algumas destas comunidades albergam endemismo à escala regional, como o *Erodium glandulosum*, juntamente com espécies de distribuição rara em todo o maciço devido ao seu habitat restrito a estes ecótopos, o que lhes confere um elevado valor de conservação. Este seria o caso de espécies como a *Arenaria conimbricensis* e a *Arenaria fontqueri* (endémicas do maciço). A disposição espacial das comunidades e espécies nas clareiras é condicionada principalmente pelo microrrelevo e pela espessura do solo. A vegetação está disposta em faixas de acordo com um gradiente edáfico determinado pela maior ou menor acumulação de material edáfico. A altitude e a exposição determinam também a presença de algumas espécies, como o *Erodium glandulosum*, por exemplo, que não se encontra em zonas situadas abaixo dos 850 m. Os resultados sugerem a diferenciação entre os prados de plantas anuais que colonizam os solos esqueléticos, dos prados mais densos de hemicriptófitas e caméfitas subfruticas que ocupam os solos mais desenvolvidos.

Palavras-chave: Clareira, Prado seco mediterrânico, *Thero-Brachypodion*, Sant Llorenç del Munt e Obac.

Abstract. To analyze the floristic composition of the glades and their relationship with the physical factors, mainly the microrelief, the thickness of the soil, the altitude and the orientation, a random sampling has been carried out to select 26 glades located in different altitudinal and orientation ranges. These spaces have been visited in different months of the year for the collection of floristic data (inventories, transects, dynamics, phenology) and the preparation of profiles that will allow the analysis of the flora and vegetation of these unique environments. The analysis carried out has made it possible to distinguish the different habitats existing in the glades, related to the thickness of the soil, from the bare

rock to the most developed soils. The vegetation of the clearing is made up of plant communities of the *Thero-Brachypodion* alliance where annual species predominate as well as some geophytes and small camephytes. Some of these communities harbor some endemism on a regional scale, such as *Erodium glandulosum*, along with species of rare distribution throughout the massif due to having their habitat restricted in these ecotopes, which gives them a high conservation value. This would be the case for species such as *Arenaria conimbricensis* and *Arenaria fontqueri* (endemic to the massif). The spatial arrangement of the communities and species in the glades is mainly conditioned by the microrelief and the thickness of the soil. The vegetation is arranged in bands according to a soil gradient determined by the greater or lesser accumulation of material. Altitude and exposure also determine the presence of some species such as *Erodium glandulosum*, for example, which is not found in areas located below 850 m. The results suggest the differentiation between the meadows of annuals that colonize the skeletal soils, from the denser meadows of hemicryptophytes and suffruticous camephytes that occupy the most developed soils.

Keywords: Glade, Mediterranean dry meadow, *Thero-Brachypodion*, Sant Llorenç del Munt and Obac.

1 Introducción

El Parque Natural de "Sant Llorenç del Munt i l'Obac" con casi 14.000 ha de superficie es uno de los mayores de Catalunya. Está situado al norte de la ciudad de Barcelona, a 40 km de distancia en línea recta, y forma parte de la red de espacios de interés natural (PEIN) desde 1987 (Fig. 1).

El relieve del PN está modelado principalmente sobre conglomerados del Eoceno que se elevan hasta los 1.100 m de altitud en la cima de La Mola, el punto más elevado del macizo. Una de las características más remarcables del relieve, que comparte con la vecina montaña de Montserrat, es la abundancia de calveros, *codines* en catalán, que junto con la profusión de cantiles proporcionan a estas sierras un aire agreste y salvaje (Nuet & Panareda, 1985).

Las *codines*, a pesar de su aspecto desnudo o falto de vegetación, mantienen comunidades de terófitos con una alta biodiversidad y albergan especies de gran valor biogeográfico como *Arenaria fontqueri* Cardona & J.M. Monts. subsp. *cavanillesiana* (Font Quer) Cardona & J.M. Monts., endémica de este macizo, o *Erodium glandulosum* (Cav.) Willd., endémica de las sierras calizas del norte de la Península Ibérica (Pintó, 1988, 1993).

Estas comunidades y especies colonizan estos ecotopos según la altitud y la orientación, y se distribuyen en el espacio en función de variables relacionadas con el microrelieve y el grosor del suelo.

Los prados de anuales calcícolas mediterráneos de las *codines* de estas sierras se han clasificado históricamente como pertenecientes a la asociación *Erodio-arenarietum conimbricensis* (Bolòs, A. & Bolòs, O., 1950). Sin embargo, en estos ecotopos se encuentra realmente un mosaico de comunidades de terófitos y de caméfitos fruticosos que se distribuyen el espacio formando un mosaico relacionado principalmente con el grosor del suelo, pero también con la altitud y la orientación (Fig. 2).

En este trabajo se analiza la composición florística de las comunidades de prados que colonizan las *codines* en relación con los factores mencionados. Los datos obtenidos han completado y actualizado la información publicada en trabajos previos (Pintó, 1988; Pintó, 1993; Pintó & Panareda, 1995).

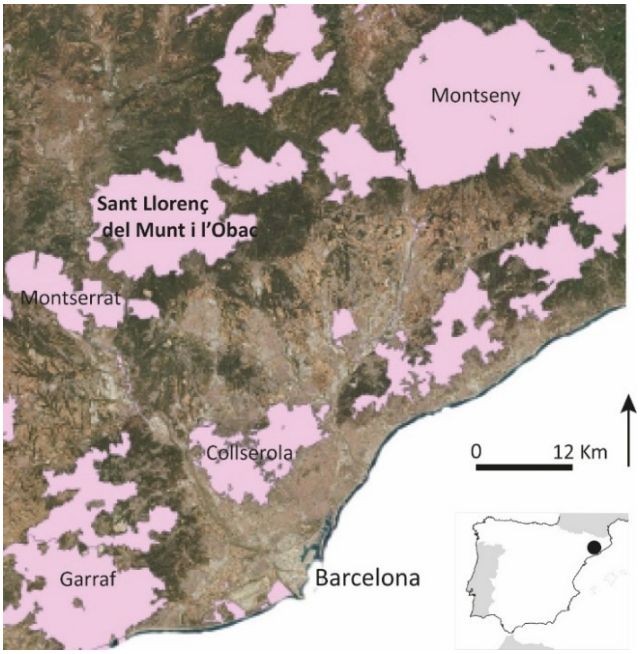


Fig. 1. Situación del PN "Sant Llorenç del Munt i l'Obac" en la Cordillera Prelitoral catalana, entre los macizos del Montseny y Montserrat.



Fig. 2. Ejemplo de *codina* que muestra un mosaico de hábitats: roca desnuda en el sector de más pendiente, prado discontinuo de anuales en las primeras acumulaciones de disgregados del conglomerado y prados más densos donde el suelo presenta mayor grosor.

2 Métodos

Para analizar la composición florística y su relación con los factores físicos, principalmente el microrelieve, el grosor del suelo, la altitud y la orientación, se ha efectuado un muestreo aleatorio para seleccionar 26 *codines* situadas en distintos rangos altitudinales y de orientación. Dichos lugares se han visitado en distintos meses del año para la toma de datos florísticos (inventarios, transectos, dinámica, fenología) y la confección de perfiles que permitieran el análisis de la flora y vegetación de estos espacios singulares.

3 Resultados

El factor condicionante principal es el grosor del suelo. En los sectores donde la pendiente no permite la acumulación de suelo prevalece la roca desnuda. Sin embargo, en las pequeñas cornisas o aprovechando algunas diaclasas, se encuentran especies rupícolas de gran interés biogeográfico como *Ramonda miconii* que aparece en las paredes orientadas al norte, más húmedas, y *Saxifraga callosa* ssp. *cataláunica* que coloniza el mismo hábitat pero solo por encima de los 1.000 m, aproximadamente, de altitud.

En los lugares donde se acumulan las partículas resultantes de la disgregación del conglomerado y el grosor de materiales finos no excede los 10 cm predominan los caméfitos suculentos del género *Sedum* y afines como *Sedum album*, S. *dasyphyllum*, S. *acre* y *Petrosedum sediforme*, acompañados de algún geófito como *Dipcadi serotinum* y terófitos como *Teucrium botrys* y *Sonchus tenerrimus*. Esta comunidad ocupa superficies muy pequeñas y discontinuas.

En superficies menos inclinadas y con un grosor del suelo algo mayor, aparece un prado poco denso de pequeñas hierbas anuales donde destacan *Arenaria conimbricensis*, *Euphorbia exigua*, *Thrincia hispida*, *Galium parisiense* y *Arenaria serpyllifolia*, acompañadas de algunos geófitos como *Ranunculus gramineus*, *Tulipa sylvestris y Narcisus assoanus*, junto con los caméfitos suculentos antes mencionados, que recubren pobremente el suelo. *Arenaria fontqueri*, endémica de esta sierra, solo aparece en codines situadas en altitudes superiores a los 850 m. En este mismo tipo de hábitat, cuando la acumulación de partículas es muy delgada aparecen *Saxifraga tridactylites* y *Hornungia petraea*, dos anuales de pequeño porte y floración primaveral.

En las *codines* de mayor altitud, por encima de los 900 m, algunos de estos prados se ven enriquecidos con la presencia de la rara *Erodium glandulosum*, una especie endémica de las sierras calizas del norte de la península ibérica.

En los sectores donde el grosor del suelo es mayor, la vegetación adquiere una mayor densidad y algunos caméfitos fruticosos y subfruticosos, como *Thymus vulgaris*, *Teucrium polium* o *Fumana ericoides*, junto con algunas especies de hemicriptófitos como *Anthyllis vulneraria* ssp. *gandogeri*, *Koeleria vallesiana* o *Convolvulus cantabrica*, pueden llegar a ser las especies dominantes de estos prados secos mediterráneos (Tabla 1).

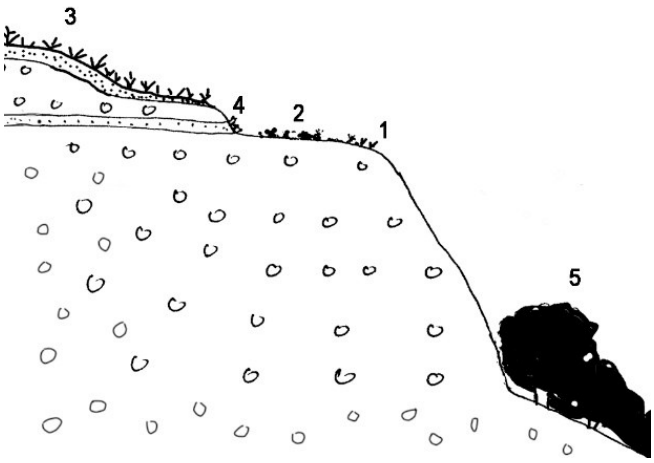


Fig. 3. Perfil esquemático de las comunidades de las *codines*. 1. Comunidad de geófitos suculentos. 2. Prado discontinuo de anuales caracterizado por *Arenaria conimbricensis*. 3. Prado denso dominado por hierbas y matas perennes. 4. Comunidad de helechos de las pequeñas oquedades más o menos húmedas. 5. Encinar.

En los lugares más frecuentados o cerca de caminos se observa la entrada de especies de carácter ruderal como *Vulpia ciliata*, *Erodium cicutarium*, *Bromus rubens*, etc

A medida que el grosor del suelo aumenta aparecen arbustos como *Cistus albidus*, *Rosmarinus officinalis* y *Juniperus oxycedrus* indicando una transición hacia la comunidad arbustiva del *Rosmarino-Lithospermetum* o en algunos casos con la entrada de *Buxus sempervirens* y *Juniperus phoenicea* hacia la maquia de boj y sabina (*Stipo-Juniperetum phoeniceae*).

Finalmente, las pequeñas cavidades o balmas formadas por erosión diferencial en estratos de arenisca o arcilla, de potencia centimétrica, son colonizadas por un conjunto de helechos como *Ceterach officinarum*, *Asplenium trichomanes*, *Polipodium vulgare*, *Asplenium ruta-muraria* y más raramente *Cheilanthes pteridiodes*. Si estas oquedades están orientadas al norte es frecuente entonces encontrar también a *Ramonda miconii* o incluso *Asplenium fontanum* en las *codines* situadas a mayor altitud.

4 Discusión

Se han identificado cuatro hábitats principales de las *codines* del PN de Sant Llorenç del Munt, con las correspondientes comunidades vegetales que los ocupan.

Hasta la fecha, tanto los prados de anuales caracterizados por la presencia más o menos abundante de *Arenaria conimbricensis*, como los prados más densos dominados por especies de caméfitos sufruticosos y hemicriptófitos, se han clasificado como pertenecientes a una misma asociación, el *Erodio-Arenarietum conimbricensis* A. & O. de Bolòs 1950.

Los resultados de este trabajo permiten observar que a pesar de que ambas comunidades comparten un buen número de especies, hay diferencias significativas tanto en el biotopo que ocupan como en las especies dominantes en

cada comunidad, hecho observado también por Mercadé & Ferré (2019).

En este trabajo preliminar no se ha podido avanzar más allá de presentar las diferencias existentes entre ambas comunidades y sugerir que los prados de dominados por especies perennes deberían encuadrarse en otra asociación distinta dentro de la misma alianza del *Thero-Brachypodion*.

Tabla 1. Principales especies de los prados de terófitos, y de los prados dominados por especies perennes o bienales, ordenadas por el grado de frecuencia que presentan en la comunidad. (En números romanos se indica la presencia de cada planta en el conjunto de inventarios según el criterio siguiente: II: especie presente en el 20 - 40% de los inventarios; III: en el 40,1-60%; IV: en el 60,1-80% y V: en el 80,1-100%. No se indican los taxones hallados en menos del 20% de los inventarios).

Prado de anuales	Prado de hierbas y matas perennes
Arenaria conimbricensis, V	*Anthyllis vulneraria* ssp. *gandogeri*, V
Teucrium botrys, V	*Melilotus spicatus*, V
Euphorbia exigua, IV	*Dipcadi serotinum*, IV
Dipcadi serotinum, IV	*Thymus vulgaris*, IV
Sherardia arvensis, III	*Koeleria vallesiana*, IV
Sedum álbum, III	*Linum strictum*, III
Brachypodium distachyon, III	*Convolvulus cantábrica*, III
Thincia hispida, III	*Dipcadi serotinum*, III
Lysimachia linum-stellatum, III	*Helianthemum oelandicum* ssp. *italicum*, II
Erodium glandulosum, II	*Fumana ericoides*, II
Melilotus spicatus, II	*Stipa offneri*, II
Narcissus assoanus, II	*Narcissus assoanus*, II
Galium parisiense, II	*Allium* sphaerocephalon, II
Arenaria serpyllifolia, II	*Lathyrus clymenum*, II
Catapodium rigidum, II	*Brachypodium distachyon*, II
Lysimachia arvensis, II	*Teucrium polium*, II
Linum strictum, II	*Coris monspeliensis*, II
Brachypodium distachyon, II	*Argyrolobium zanonii*, II
Hornungia petraea, II	*Arenaria conimbricensis*, II
Arenaria fontqueri, II	*Sideritis hirsuta*, II
Medicago minima, II	*Thrincia hispida*, II
Bombycilaena erecta, II	*Petrosedum sediforme*, II
Crupina vulgaris, II	*Anthericum liliago*, II
Petrorhagia prolifera, II	*Avena barbata*, II
Cuscuta epithymum, II	*Helianthemum nummularium ssp. italicum*, II
	Satureja montana, II
	Tulipa sylvestris ssp. australis, II
	Ranunculus gramineus , II

5 Conclusiones

Las *codines* del PN "Sant Llorenç del Munt i l'Obac" constituyen uno de los elementos más característicos de su paisaje. Albergan comunidades vegetales con un alto grado de biodiversidad, principalmente especies anuales. En este trabajo se ha presentado la necesidad de diferenciar la comunidad que coloniza los suelos más esqueléticos, dominada por terófitos, de la comunidad que coloniza suelos más desarrollados, donde abundan hemicriptófitos y caméfitos sufruticosos, hasta ahora encuadradas ambas en una misma asociación fitosociológica.

6 Referencias

Bolòs, A. de (1950). *La vegetación de las comarcas barcelonesas*. Instituto español de estudios mediterráneos.

Mercadé, A. & Ferré, A. (2019). Cartografía digital dels hàbitats CORINE i dels hábitats d'interès comunitari del Parc Natural de Sant Llorenç del Munt i l'Obac a escala 1:10.000. Informe tècnic.

Nuet, J. & Panareda, J.M. (1985). Notes sobre la vegetació de les codines de la muntanya de Montserrat. *XXVI Assemblea Intercomarcal d'estudiosos. Centre d'Estudis del Bages*, Volum 2: 67-74.

Pintó, J. (1988). Vegetació del Montcau. *Notes de Geografía Física*, 17: 43-49.

Pintó, J. (1990). Cartografía de la vegetació de Sant Llorenç del Munt. *Notes de Geografía Física*, 19: 57-72.

Pintó, J. (1993). La dinámica de la vegetació a Sant Llorenç del Munt. *Notes de Geografía Física*, 22: 25-54.

Pintó, J. & Panareda, J.M. (1995). *Memòria del mapa de vegetació de Sant Llorenç del Munt*. Ed. Aster. Terrassa, 168 pp.

Biogeografía, Realidad Virtual y percepción multisensorial: propuesta de un itinerario en el Parque Natural de Somiedo (Asturias)

Rodríguez Tuñón, Ángeles[1], Herrera Arenas, Daniel[1] y Rodríguez Pérez, Carmen[1]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, Campus del Milán. C/ Francisco Rodríguez García, s/n 33011 Oviedo, España.
uo64219@uniovi.es

Resumen. Se presenta un itinerario biogeográfico en el Parque Natural de Somiedo diseñado con el objetivo de lograr una mayor comprensión del patrimonio natural y cultural. Esta propuesta introduce la percepción multisensorial puesto que todos los estímulos se complementan, creando una lectura más completa del entorno y del paisaje. El itinerario se compone de seis puntos de interés para la observación de formaciones vegetales características de una de las rutas más frecuentadas en el Parque Natural. Además, recurre a herramientas de realidad virtual para una exploración de detalle en contextos educativos o turísticos, que puede realizarse antes o después de la visita, y que fomenta el turismo virtual cuando no es posible visitar el lugar. Todo ello promueve una interpretación ambiental más integradora en busca de una mayor concienciación sobre la conservación patrimonial del Parque Natural.

Palabras clave: itinerario biogeográfico, paisaje natural, percepción multisensorial, realidad virtual.

Resumo. Apresenta-se um roteiro biogeográfico no Parque Natural de Somiedo, concebido para promover uma compreensão mais profunda do seu património natural e cultural. Esta proposta incorpora a perceção multissensorial, partindo do princípio de que todos os estímulos se complementam, criando uma interpretação mais abrangente do ambiente e da paisagem. O itinerário compreende seis pontos de interesse para a observação de formações vegetais características ao longo de uma das rotas mais frequentadas do Parque Natural. Além disso, utiliza ferramentas de realidade virtual para uma exploração detalhada em contextos educativos ou turísticos. Esta exploração pode ser realizada antes ou depois de uma visita, promovendo o turismo virtual quando as visitas presenciais não são possíveis. Tudo isto fomenta uma interpretação ambiental mais integrada, visando sensibilizar para a conservação do património do Parque Natural.

Palavras-chave: itinerário biogeográfico, paisagem natural, perceção multissensorial, realidade virtual.

Abstract. A biogeographical itinerary in Somiedo Natural Park is presented, designed to encourage a deeper understanding of its natural and cultural heritage. This proposal incorporates multisensory perception, based on the idea that all stimuli complement each other, creating a more comprehensive interpretation of the environment and landscape. The itinerary comprises six points of interest for observing characteristic plant formations along one of the most frequented routes in the Natural Park. Furthermore, it makes use of virtual reality tools for detailed exploration in educational or tourist contexts. This exploration can be carried out before or after a visit, promoting virtual tourism when in-person visits are not possible. It all fosters a more integrated environmental interpretation, aiming to raise awareness about the conservation of the Natural Park's heritage.

Keywords: biogeographical itinerary, multisensory perception; natural landscape, virtual reality.

1 Introducción

El municipio de Somiedo, ubicado en la montaña centro-occidental asturiana, constituye un espacio privilegiado para el estudio biogeográfico debido a la complejidad de su relieve, a su diversidad litológica y a la riqueza de sus formaciones arbóreas climácicas de alto valor ecológico y a los numerosos endemismos y curiosidades botánicas. A estas características se unen la pervivencia de la actividad ganadera tradicional y una extensa red de caminos (Arango González, 2011). Por su excepcionalidad, la totalidad del concejo se encuentra bajo las figuras de protección de Parque Natural y Reserva de la Biosfera de la UNESCO, albergando asimismo varias Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), y Zonas de Especial Conservación (ZEC). El Instrumento de Gestión Integrado (IGI) de los espacios protegidos de Somiedo establece como requisitos para lograr la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible del territorio la educación ambiental, la divulgación del patrimonio cultural y etnográfico y la ordenación del uso público y turístico (Gobierno del Principado de Asturias, 2015).

Bajo la premisa de que un mayor conocimiento del entorno promueve la conservación de su patrimonio, se ha di-

señado un itinerario biogeográfico multisensorial aprovechando una de las rutas más frecuentadas en el Parque Natural de Somiedo (PR.AS-15.1). Para cada punto de observación propuesto se detallan las formaciones vegetales y sensaciones percibidas, buscando profundizar en una percepción multisensorial del paisaje. La principal aportación metodológica, además del análisis multisensorial complementario a la interpretación de campo tradicional, es la integración de una herramienta de realidad virtual (RV).

2 Materiales y métodos

El diseño del itinerario biogeográfico comenzó con una revisión bibliográfica y documental sistemática que culminó con la selección de las áreas a explorar *in situ* a lo largo de la ruta PR.AS-15.1. El trabajo de campo permitió fijar los puntos de interés para una observación detallada de las formaciones vegetales concretas y de los factores ambientales (naturales y antrópicos) que las condicionan. Asimismo, se recopilaron datos acerca de la vegetación en cada punto y de las experiencias sensoriales allí percibidas. Se tomaron fotografías y grabaciones en 360º con la cámara Insta 360 PRO. El ambiente sonoro fue registrado con la grabadora SONY UX570. La información recabada fue analizada con el software QGIS utilizando cartografía base del Instituto Geográfico Nacional.

Para cada punto de observación se elaboró una ficha descriptiva con varios niveles de lectura que invita y orienta a la percepción multisensorial de esa formación vegetal. Además, se diseñó una herramienta de RV, utilizando el software 3D Vista, que integra la fotografía en 360º con todo el material gráfico, sonoro y documental.

3 Resultados

El itinerario biogeográfico multisensorial se compone de seis puntos de observación dispuestos a lo largo de la ruta PR.AS-15.1 entre Valle del Lago y Lago del Valle, yendo por el camino de umbría y regresando por el fondo de valle. Cada parada se acompaña de una ficha descriptiva de la principal formación vegetal observable (ejemplo en Fig. 1), incluyendo los factores ambientales condicionantes y las preferencias ecológicas de las especies presentes. Además, invita a una observación multisensorial para mejorar la apreciación y el conocimiento del entorno. El recorrido virtual, pensado para preparar la visita y profundizar en el contenido una vez realizada, se encuentra alojado en https://www.observatoriodelterritorio.es/rarv/Articulos/BiogeoSomiedo/

El primer punto de interés se encuentra en el entorno del embalse de Valle del Lago, que recoge el agua canalizada desde los lagos antes de ser dirigida a la central hidroeléctrica de La Malva (Saltos de Agua de Somiedo, 1918). En la cola del embalse crece una amplia sauceda de salguera cantábrica (*Salix cantabrica,* Rech. fil.). Además, abundan especies hidrófitas como *Potamogeton natans*, L., *Ranunculus peltatus,* Schrank, y *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult., así como algas carófitas. Es un entorno tranquilo, de sonidos vibrantes gracias al canto de las aves e insectos en la sauceda, unidos a animales domésticos y a los ocasionales sonidos antrópicos, como motores. Hay un olor característico a agua fresca y barro y la humedad se siente claramente en la piel.



Fig. 1. Ejemplo de ficha explicativa (anverso y reverso), para el punto de observación n.º 4, el hayedo.

En el segundo punto de observación, ya en la aldea de Valle del Lago, pueden apreciarse tanto los manejos agroganaderos actuales como los vestigios de los tradicionales. La ficha y el recurso de RV acompañantes permiten una comparativa diacrónica de la ortofoto del PNOA de máxima actualidad con la del vuelo americano (serie B) de 1956/1957. Se observa cómo los antiguos terrenos de labor son hoy en día prados de siega y de diente; los antiguos prados de diente están siendo colonizados por matorrales seriales, fundamentalmente aulagares de *Genista hispanica* subsp. *occidentalis,* Rouy, mientras que el hayedo en la ladera de umbría se ha extendido y densificado.

El siguiente punto de observación, en el barrio de L'Outeiro, aprovecha la presencia de un molino que conserva la tradicional cubierta vegetal (*teito*) de escoba negra (*Cytisus scoparius*, (L.) Link). Esta especie se encuentra en un evidente un proceso de expansión, aportando un aroma característico durante su floración en primavera. La experiencia sensorial se puede complementar con la observación de la sauceda, ligando el gorgojeo del río al canto de aves e insectos y al susurro de las hojas.

Desde aquí, el camino cruza conos de deyección aterrazados para su cultivo (actualmente transformados en pastos) y va ascendiendo por la ladera de umbría, adentrándose en el hayedo, el cuarto punto de observación (Fig. 1). Aquí, el entorno se vuelve más sombrío, fresco y húmedo, ya que las hayas (*Fagus sylvatica,* L.) apenas dejan pasar la luz solar. También silencioso, resonando apenas el crujido de la hojarasca bajo nuestro paso. El olor herbal de los prados va difuminándose, dando paso a un aroma húmedo más in.tenso, de madera, hongos y tierra. En primavera se dejan ver las especies vernales, aportando su color y aromas característicos.

El camino termina en el Lago del Valle, que ocupa una cubeta de sobreexcavación glaciar labrada a expensas de materiales pizarrosos por el avance del hielo aportado desde la plataforma de Las Duernas (Muñoz Jiménez, 1980) hacia el *val,* dando lugar a la formación de una gran lengua glaciar que descendió hasta los 650 m s.n.m. (Rodríguez Pérez, 2015). Alberga algas carófitas e hidrófitos. En su entorno crecen juncos, cárices y sauces, en zonas encharcadas, además de escobonales sobre los materiales pizarrosos. En las laderas que lo rodean se encuentran aulagares divididos por numerosas canales de aludes. Entre las muchas sensaciones, destacan el silencio invernal acompañado de un aire frío y seco con "olor a nieve, las rachas de viento y tormentas, el estruendo de aludes y deslizamientos de rocas en primavera, el canto de aves e insectos, los aromas florales y, en verano, la intensificación de las actividades turística y ganadera.

El camino de vuelta se realiza por el fondo del valle, atravesando una *braña* donde aún sobreviven *cabanas de teito* (cabañas con techumbre vegetal) en distinto grado de conservación. Se utilizaba para el aprovechamiento equinoccial de los recursos de altura desde Valle del Lago, aunque en la actualidad se dedica exclusivamente a pastizal. Este camino permite observar claramente la disimetría entre las laderas de solana y de umbría, aportando perspectiva de conjunto del hayedo y de los aprovechamientos de fondo de valle y de los conos de deyección.

4 Discusión

El IGI de los espacios protegidos de Somiedo propone la educación ambiental y la divulgación del patrimonio cultural y etnográfico como herramientas para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible (Gobierno del Principado de Asturias, 2015). Tomando como base la ruta PR.AS-15.1, se ha diseñado un itinerario biogeográfico multisensorial que explica las características y los condicionantes de las formaciones vegetales encontradas, así como las experiencias sensoriales vinculadas a cada una de ellas.

Las excursiones e itinerarios son herramientas utilizadas para realizar una observación directa del paisaje (Liceras Ruiz, 2018), utilizando tradicionalmente el sentido de la vista (Cosgrove, 2002). Desde la década de 1970 se ha incorporado también la escucha (Westerkamp, 1974 revisado 2001) y recientemente se intentan integrar todos los sentidos para profundizar en el conocimiento del paisaje (véase Koegst et al, 2023). Por ello, este itinerario se propone como una exploración multisensorial del componente vegetal del paisaje, buscando una interpretación ambiental integradora de alto impacto, que promueva una mayor sensibilización y conservación del patrimonio de Somiedo.

Los itinerarios también pueden realizarse en formato digital, generando una realidad mixta que superpone información a los elementos presentes en el medio y que muestra distintas escalas espaciales y temporales (Fernández García y Herrera Arenas, 2022). Se han propuesto itinerarios virtuales con fines educativos (Marino Alfonso et al, 2021), turísticos (González López et al, 2020), comerciales (Chen et al, 2023) y patrimoniales (Herrera Arenas et al, 2025). La herramienta de RV diseñada tiene como objetivo complementar la información presentada en las fichas, de forma que pueda servir tanto para acercar esta ruta a quien no pueda trasladarse a Somiedo y para facilitar, asimismo, la preparación de la visita, tanto con fines didácticos como turísticos y el recuerdo posterior.

5 Conclusiones

Este itinerario biogeográfico multisensorial ha sido diseñado como herramienta de interpretación ambiental para promover una mayor valoración y conservación del patrimonio natural y cultural en el Parque Natural de Somiedo. Se acompaña de fichas descriptivas y recursos de RV que explican cómo la litología, las pendientes, la orientación de las vertientes y los usos históricos y recientes del territorio condicionan la marcada disimetría observable en el paisaje vegetal actual. Este análisis muestra la evolución reciente de la cubierta vegetal y cómo su rápido avance (relacionado con el envejecimiento de la población, el cambio en los sistemas de manejo ganadero y el desarrollo del turismo) ame-

naza el diverso mosaico paisajístico. La experiencia se enriquece al incorporar la dimensión multisensorial del paisaje, favoreciendo una mayor inmersión del observador. Así, la percepción paisajística trasciende la imagen visual e integra estímulos sonoros, olfativos y táctiles, esenciales en la construcción de la experiencia y en la interacción con el entorno. Los recursos creados pueden emplearse como herramienta preparatoria para las visitas, poniendo el énfasis en los estímulos sensoriales más relevantes y guiando al observador hacia una comprensión más profunda del paisaje tradicional de este espacio de la montaña asturiana.

6 Referencias

Arango Fernández, J. (2011). Somiedo. De la transhumancia al Parque Natural. Oviedo. KRK Ediciones y Ayuntamiento de Somiedo. ISBN 9788483673690.

Chen, J., Ning, C., & Chen, C. (2023). A systematic literature review of virtual embodied experience. *Psychol Mark.* Vol40 11; 2167–2185. https://doi.org/10.1002/mar.21876

Cosgrove, D. (2002). Observando la naturaleza: el paisaje y el sentido europeo de la vista. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 34.* https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/428

Fernández García, F., & Herrera Arenas, D. (2022). Territorio, paisaje, turismo y TIC. La realidad aumentada y la realidad virtual como herramientas para la promoción del turismo. *Estudios turísticos* (224), 43-57. https://doi.org/10.61520/et.2242022.13

Gobierno del Principado de Asturias. (2015). Decreto 169/2014, de 29 de diciembre, por el que se declara la Zona especial de Conservación Somiedo (ES0000054) y se aprueba el I Instrumento de Gestión Integrado de diversos espacios protegidos en el concejo de Somiedo. Boletín Oficial del Principado de Asturias núm. 3 de 5 de enero de 2015. https://naturalezadeasturias.es/upload/IGI_Decreto_169_2014_IGI_Somiedo.pdf

González López, A., Loredo, E., & Herrera Arenas, D. (2020). Realidad aumentada con aprovechamiento turístico. Una aplicación para el Camín Real de la Mesa (tramo somedano). *ROTUR, Revista de Ocio y Turismo 14*(1) 47-59. https://doi.org/10.17979/rotur.2020.14.1.5943

Herrera Arenas, D., Rodríguez Pérez, C., & Sevilla Álvarez, J. (2025). Interpretation of Heritage in Mountain Areas (Leitariegos and Cueto Arbás (Asturias, Spain)) Through Experience Based on Virtual Reality. *Land 14*(2), 292. https://doi.org/10.3390/land14020292

Koegst, L.; Kühne, O., & Edler, D. (Eds).(2023). *Multisensory Landscapes: Theories and Methods*. Springer VS.

Liceras Ruiz, A. (2018). Los itinerarios didácticos en la enseñanza de la Geografía. Reflexiones y propuestas acerca de su eficacia en educación. *UNES: Universidad, Escuela y Sociedad (5)*, 66–81. https://revistaseug.ugr.es/index.php/revistaunes/article/view/12199

Marino Alfonso, J.L., Poblete Piedrabuena M.A., Beato Bergua, S., & Herrera Arenas, D. (2021). Itinerario geográfico con realidad aumentada a través del paisaje natural en los Arribes del Duero Zamoranos (Castilla y León, España). *ERIA 2021*(1), año XLI, 5-28. https://doi.org/10.17811/er.1.2021.5-28

Muñoz Jiménez, J (1980). Morfología estructural y glaciarismo en la cordillera Cantábrica. El relieve del sinclinal de Saliencia (Asturias-León). *Ería: Revista cuatrimestral de geografía 1*, 35-65.

Rodríguez Pérez, C. (2015). El relieve de la montaña central asturiana: La sierra de Sobia y el macizo de Somiedo. Oviedo. Real Instituto de Estudios Asturianos. ISBN 9788494461200

Saltos de Agua de Somiedo (1918). Memoria Descriptiva. Barcelona. Tipografía La Académica

Westerkamp, H. (1974 revisado 2001). Soundwalking. *Sound Heritage*, III (4): 18-27. https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/WSP_Doc/Booklets/SHWesterkamp.pdf

7 Agradecimientos

Esta comunicación forma parte de la difusión de resultados de los proyectos de investigación *Paisajes de Interés Cultural en riesgo de desaparición (NO de España): su documentación y digitalización (PID2023-147884NBI00)* y *BIOFOODSCAPE: Paisajes agroalimentarios en las montañas españolas. Diversidad biocultural, innovación social y desarrollo territorial (ID2023-146662OB-I00).* Ambos están financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, la Agencia Estatal de Investigación y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE), en el marco de la convocatoria de Proyectos I+D+i 2023, modalidad "Generación de Conocimiento", del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023.

Conservation of the phylogenetic diversity of Squamata reptiles in the Caatinga

Oliveira, Júlia Silva[1], Oliveira, Henrique José[2], Costa, Henrique Caldeira[3], Mesquita, Daniel Oliveira[4] y Guedes, Thaís Barreto[5]

[1] Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil
[2] Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, Universidade Federal de Juiz de Fora, 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil
[3] Departamento de Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil
[4] Departamento de Sistemática e Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 58051-900, Brasil
[5] Instituto de Biociências, Departamento de Biodiversidade, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, São Paulo, 13506-900, Brasil
thais.guedes-costa@unesp.br

Abstract. Protected areas (PAs) aim to safeguard biological diversity, particularly amid rapid environmental changes driven by human activities. The Caatinga, located mainly in northeastern Brazil, harbors high biodiversity, including Squamata reptiles: 114 species of snakes, 98 lizards, and 26 amphisbaenians, more than 80 of which are endemic. However, this non-forested biome has historically been neglected in terms of conservation, with only 2.55% of its territory currently protected by PAs. This raises concerns about the effectiveness of these areas in conservation under different biodiversity metrics, such as species richness and phylogenetic diversity (PD). In this context, we evaluated whether current PAs in the Caatinga are effective in conserving phylogenetic diversity, which reflects the evolutionary history of Squamata species. Using occurrence records and a recent phylogeny, we calculated phylogenetic diversity (PD) and standardized effect size (SES.PD) for conservation units with at least five species. SES.PD values ranged from -1.43 to 2.00. Three areas showed significantly positive values (SES.PD > 1.80; p > 0.95): FLONA Araripe-Apodi, APA Serra da Aratanha, and ESEC Raso da Catarina, indicating phylogenetic overdispersion. No area showed significant phylogenetic clustering (p < 0.05). Only 24 of the 82 PAs in the Caatinga were suitable for analysis, sheltering just 45 species (18.91% of the total). We conclude that protected areas in the Caatinga do not adequately protect the phylogenetic diversity of Squamata, highlighting the urgent need to expand inventories and include this biodiversity metric in the prioritization of areas for conservation.

Keywords: Worm lizards, Protected areas, Non-forest biome, Lizards, Biodiversity metrics, Snakes

Resumen. Las áreas protegidas (APs) tienen como objetivo salvaguardar la diversidad biológica, especialmente en un contexto de rápidos cambios ambientales provocados por las actividades humanas. La Caatinga, situada principalmente en el noreste de Brasil, alberga una gran biodiversidad, entre la que se incluyen los reptiles del orden Squamata: 114 especies de serpientes, 98 de lagartos y 26 de anfisbenas, de las cuales más de 80 son endémicas. Sin embargo, este bioma no forestal ha sido históricamente descuidado en términos de conservación, y actualmente solo el 2,55% de su territorio está protegido por áreas de protección estricta. Esto suscita preocupaciones respecto a la eficacia de estas áreas para la conservación con diferentes métricas de biodiversidad, como la riqueza de especies y la diversidad filogenética (PD). En este contexto, evaluamos si las actuales áreas protegidas de la Caatinga son eficaces para conservar la diversidad filogenética, que refleja la historia evolutiva de las especies de Squamata. Utilizando registros de presencia y una filogenia reciente, calculamos la diversidad filogenética (PD) y el tamaño del efecto estandarizado (SES.PD) para las unidades de conservación con al menos cinco especies. Los valores de SES.PD variaron entre -1,43 y 2,00. Tres áreas presentaron valores significativamente positivos (SES.PD > 1,80; p > 0,95): FLONA Araripe-Apodi, APA Serra da Aratanha y ESEC Raso da Catarina, lo que indica superdispersión filogenética. Ninguna área mostró agrupamiento filogenético significativo (p < 0,05). Solo 24 de las 82 APs de la Caatinga fueron aptas para el análisis, resguardando apenas 45 especies (18,91% del total). Concluimos que las áreas protegidas de la Caatinga no protegen adecuadamente la diversidad filogenética de los Squamata, lo que pone de relieve la urgencia de ampliar los inventarios e incluir este indicador de biodiversidad a la hora de priorizar las áreas de conservación.

Palabras clave: Anfisbenas, Áreas protegidas, Bioma no forestal, Lagartos, Métricas de biodiversidad, Serpientes.

Resumo. Áreas protegidas (APs) visam salvaguardar a diversidade biológica, particularmente em meio às rápidas mudanças ambientais impulsionadas pelas atividades humanas. A Caatinga, localizada principalmente no nordeste do Brasil, abriga alta biodiversidade, incluindo répteis Squamata: 114 espécies de serpentes, 98 de lagartos e 26 de anfisbênias, das quais mais de 80 são endêmicas. No entanto, esse bioma não florestado tem sido historicamente negligenciado em termos

de conservação, com apenas 2,55% de seu território atualmente protegido por APs. Isso levanta preocupações sobre a eficácia dessas áreas na conservação sob diferentes métricas da biodiversidade, como a riqueza de espécies e a diversidade filogenética (PD). Nesse contexto, avaliamos se as APs atuais na Caatinga são eficazes na conservação da diversidade filogenética, que reflete a história evolutiva das espécies de Squamata. Utilizando registros de ocorrência e uma filogenia recente, calculamos a diversidade filogenética (PD) e o tamanho do efeito padronizado (SES. PD) para unidades de conservação com pelo menos cinco espécies. Os valores de SES. PD variaram de -1,43 a 2,00. Três áreas apresentaram valores significativamente positivos (SES.PD > 1,80; p > 0,95): FLONA Araripe-Apodi, APA Serra da Aratanha e ESEC Raso da Catarina, indicando superdispersão filogenética. Nenhuma área apresentou agrupamento filogenético significativo (p < 0,05). Apenas 24 das 82 áreas protegidas (APs) na Caatinga foram adequadas para análise, abrigando apenas 45 espécies (18,91% do total). Concluímos que as APs na Caatinga não protegem adequadamente a diversidade filogenética de Squamata, destacando a urgência de expandir os inventários e incluir esta métrica de biodiversidade na priorização de áreas para conservação.

Palavras-chave: Anfisbênias, Áreas protegidas, Bioma não-florestal, Lagartos, Métricas de diversidade biológica, Serpentes

1 Introduction

Protected areas (PAs) aim primarily to conserve biological diversity, especially in the face of rapid environmental changes driven by human activities (Prieto-Torres et al., 2021). However, Neotropical non-forested biomes and reptiles receive less attention in the establishment and management of protected areas, making their biota vulnerable to irreversible losses, including the loss of evolutionary history, i.e., phylogenetic diversity (Lessa et al., 2019; Cox et al., 2022; Guénard et al., 2025).

The Caatinga, located mainly in northeastern Brazil, harbors high biodiversity, including Squamata reptiles: 114 species of snakes, 98 lizards, and 26 amphisbaenians, more than 80 of which are endemic (Rodrigues et al., 2003; Guedes et al., 2014; Nogueira et al., 2019; Uchôa et al., 2022). However, this non-forested biome has historically been neglected in terms of conservation, with only 2.55% of its territory currently protected by strictly protected areas (Guedes et al., 2014). In this context, we evaluated whether current protected areas in the Caatinga are effective in conserving the phylogenetic diversity of Squamata reptiles.

2 Materials and methods

We compiled a database of Squamata occurrence records for the Caatinga (sensu Silva et al., 2017) based on data from the scientific literature and biological collections. We considered only occurrence records of specimens deposited in scientific collections with associated vouchers and identified at the species level. The geographic coordinates associated with each locality and specimen in the dataset were obtained from the literature and verified using Google Earth (https://earth.google.com/web/).

To evaluate the effectiveness of conservation units in protecting Squamata in the Caatinga, we assessed the presence of target species within Brazilian protected areas (PAs) that are totally or partially located within the Caatinga. We retained a single record per species per conservation unit to avoid overestimation. We considered both strictly protected areas and areas those allowing sustainable use of biological resources (i.e., Strict Protection Units and Sustainable Use Units, respectively; CEM, 2022).

For phylogenetic analyses, we constructed a phylogenetic tree of Caatinga Squamata based on a set of one hundred pseudo-posterior trees from the most recent phylogeny for the group (Title et al., 2024). Missing target species were replaced by congeneric species when available or imputed through one thousand simulations to account for uncertainty in phylogenetic placement (Neves et al., 2024). We used the *ape* package v. 5 (Paradis et al., 2019) to prune the trees and make them ultrametric. Finally, we generated a consensus tree from the 1,000 simulated trees (Neves et al., 2024).

Based on species composition within each conservation unit and the consensus tree, we estimated phylogenetic diversity (Faith's PD) for all Squamata species present in each PA using the *pd* function of the picante package (Kembel et al., 2010). To control for the potential effect of species richness, we calculated the standardized effect size of phylogenetic diversity (SES.PD) under a richness-based null model (Kembel et al., 2010) using the *ses.pd* function from the same package. Positive SES.PD values indicate higher phylogenetic diversity than expected by chance, whereas negative values indicate lower phylogenetic diversity, reflecting assemblages of more closely related species (Swenson, 2014).

To avoid biases associated with low species richness, conservation units with fewer than five recorded species were excluded from the analyses, as community phylogenetic metrics are not informative under such conditions. All analyses were conducted in the R environment (R Core Team, 2022). Finally, we produced maps of species richness and SES.PD for each protected area in the Caatinga using QGIS v. 3.22 (QGIS Development Team, 2022).

3 Results

The Caatinga comprises 82 protected areas, but only 42 PAs contain Squamata records, with species richness ranging from one to 45 species (Fig. 1). After excluding units with low richness (< 5 species), we calculated phylogenetic

diversity for 24 conservation units, of which 13 are Sustainable Use Units (APA and FLONA) and 11 are Strict Protection Units (ESEC, MONA, PARES, PARNA, REVIS). Standardized phylogenetic diversity values (SES.PD) ranged from -1.43 to 2.00, showing divergence between species richness and SES.PD (Fig. 1; Table 1). The highest positive SES.PD values were recorded in FLONA Araripe-Apodi (SES.PD = 2.00; SR = 26; p = 0.98), APA Serra da Aratanha (SES.PD = 1.92; SR = 26; p = 0.97), and ESEC Raso da Catarina (SES.PD = 1.89; SR = 25; p = 0.97). The lowest SES.PD values were observed in APA Serra do Barbado (SES.PD = –1.43; SR = 8; p = 0.09), ESEC Aiuaba (SES.PD = –1.28; SR = 7; p = 0.11), PARNA Chapada Diamantina (SES.PD = –0.69; SR = 8; p = 0.25), and APA Lago de Sobradinho (SES.PD = –0.68; SR = 36; p = 0.24).

No area showed significant phylogenetic clustering, as no negative SES.PD values was associated with $p < 0.05$. Additionally, most areas exhibited SES.PD values between –0.7 and 0.9, indicating that phylogenetic diversity does not differ strongly from random expectations.

Table 1. Standardized phylogenetic diversity (SES.PD) of Squamata in Caatinga conservation areas. Areas with a significantly positive SES.PD ($p > 0.95$) are highlighted in bold. PD.obs = observed phylogenetic diversity; S = species richness.

Unidade de Conservação	S	PD.obs	SES.PD	p
FLONA Araripe-Apodi	26	16.05	2.00	0.98
APA Serra da Aratanha	26	16.09	1.92	0.97
ESEC Raso da Catarina	25	15.78	1.89	0.97
PARNA Serra das Confusões	35	18.62	1.11	0.87
APA Chapada do Araripe	39	19.76	1.02	0.86
PARNA Ubajara	45	21.42	0.91	0.82
APA Cavernas do Peruaçu	10	7.49	0.93	0.82
PARES Sete Passagens	9	6.87	0.68	0.76
REVIS Riacho Pontal	18	11.10	0.56	0.71
MONA Rio São Francisco	6	4.75	0.32	0.60
APA Serra da Ibiapaba	9	6.24	0.16	0.55
REVIS Matas de Água Azul	8	5.79	0.10	0.53
PARNA Serra da Capivara	5	3.85	–0.04	0.47
APA Lagoa de Itaparica	36	17.06	–0.14	0.43
APA Rio Preto	9	5.92	–0.30	0.37
APA Serra de Baturité	31	14.93	–0.39	0.34
APA Boqueirão da Onça	6	4.32	–0.40	0.31
PARNA Catimbau	8	5.37	–0.41	0.33
APA Marimbus-Iraquara	15	8.59	–0.41	0.35
APA Dunas e Veredas	42	18.34	–0.64	0.26
APA Lago de Sobradinho	36	16.21	–0.68	0.24
PARNA Chapada Diamantina	8	5.08	–0.71	0.25
ESEC Aiuaba	7	4.35	–1.28	0.11
APA Serra do Barbado	8	4.39	–1.43	0.09

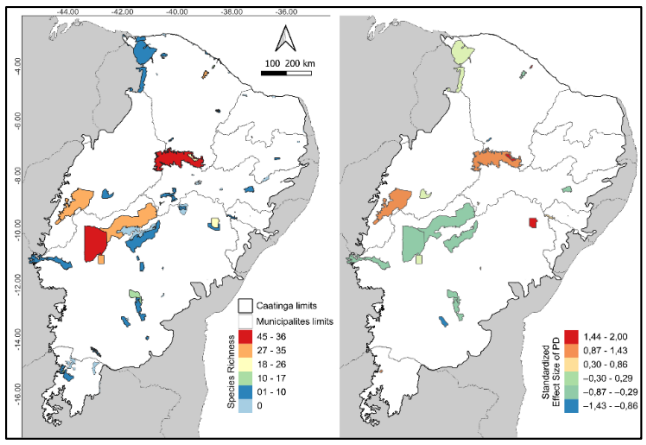


Fig. 1. Caatinga Protected Areas. On the left, the richness of Squamata reptile species found in each PA. On the right, PAs used in the standardized phylogenetic diversity analysis (SES.PD). On both maps, the color gradient ranges from the lowest values (bluish tones) to the highest values (reddish tones)

4 Discussion

Our results indicate the limited effectiveness of protected areas in safeguarding Squamata diversity in the Caatinga, both in terms of species richness and phylogenetic diversity. Of the 82 protected areas identified in the biome, 42 contained records totaling 45 species (18.91% of the total), and only 24 were suitable for standardized phylogenetic diversity analyses.

This raises concerns about the potential loss of the group's evolutionary history, particularly because the protected areas with the highest SES.PD values belong to categories more susceptible to human activities, namely Sustainable Use Units. No clear relationship was observed between species richness and standardized phylogenetic diversity, supporting the effectiveness of the null model in controlling for richness effects (Swenson, 2014).

Conservation units with positive SES.PD values and $p > 0.95$ harbor assemblages composed of more phylogenetically distinct species than expected by chance, representing a greater share of divergent evolutionary lineages of Caatinga Squamata and thus deserving priority in conservation efforts (Faith, 1992; Kembel et al., 2010). In contrast, none of the protected areas with negative SES.PD values showed $p < 0.05$, which prevents us from inferring significant phylogenetic clustering in these assemblages (Kembel et al., 2010).

5 Conclusions

Our results highlight the fragility of phylogenetic diversity protection for Squamata within protected areas in the Caatinga. We emphasize the urgency of conducting targeted biodiversity surveys, particularly in protected areas lacking herpetofaunal data, as well as incorporating phylogenetic diversity into conservation prioritization strategies.

6 References

CEM. Centro de Estudos da Metrópole, 2022. Base Cartográfica Digital Georreferenciada das Unidades de Conservação Ambiental do Brasil. http://dx.doi.org/10.55881/CEM.db.unc001

Cox, N., Young, B. E., Bowles, P., Fernandez, M., Marin, J., Rapacciuolo, G., ... & Xie, Y. (2022). A global reptile assessment highlights shared conservation needs of tetrapods. *Nature*, 605(7909), 285-290. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04664-7

Faith, D. P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation*, 61(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91201-3

Guedes, T. B., Nogueira, C., & Marques, O. A. (2014). Diversity, natural history, and geographic distribution of snakes in the Caatinga, Northeastern Brazil. *Zootaxa*, 3863(1), 1-93. https://doi.org/10.11646/zootaxa.3863.1.1

Guénard, B., Hughes, A. C., Lainé, C., Cannicci, S., Russell, B. D., & Williams, G. A. (2025). Limited and biased global conservation funding means most threatened species remain unsupported. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(9), e2412479122. https://doi.org/10.1073/pnas.2412479122

Kembel, S. W., Cowan, P. D., Helmus, M. R., Cornwell, W. K., Morlon, H., Ackerly, D. D., ... & Webb, C. O. (2010). Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*, 26(11), 1463-1464.

Lessa, T., Dos Santos, J. W., Correia, R. A., Ladle, R. J., & Malhado, A. C. (2019). Known unknowns: Filling the gaps in scientific knowledge production in the Caatinga. *PLOS ONE*, 14(7), e0219359. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219359

Neves, K. C., Andersen, A. N., Schultz, T. R., & Vasconcelos, H. L. (2024). Macroecological patterns of functional and phylogenetic diversity vary between ground and arboreal assemblages in Neotropical savanna ants. *Ecography*, 2024(8), e07122. https://doi.org/10.1111/ecog.07122

Nogueira, C. C., Argôlo, A. J., Arzamendia, V., Azevedo, J. A., Barbo, F. E., Bérnils, R. S., ... & Martins, M. (2019). Atlas of Brazilian snakes: verified point-locality maps to mitigate the Wallacean shortfall in a megadiverse snake fauna. *South American Journal of Herpetology*, 14(Suppl. 1), 1-274. https://doi.org/10.2994/SAJH-D-19-00120.1

Paradis, E., & Schliep, K. (2019). ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics*, 35(3), 526-528.

Prieto-Torres, D. A., Nori, J., Rojas-Soto, O. R., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Challenges and opportunities in planning for the conservation of Neotropical seasonally dry forests into the future. *Biological Conservation*, 257, 109083. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109083

QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. https://www.qgis.org/

R Core Team. (2022). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 3.3.1). R Foundation for Statistical Computing. http://www.R-project.org/

Rodrigues, M. T. (2003). Herpetofauna da Caatinga. In I. R. Leal, M. Tabarelli, & J. M. C. Silva (Eds.), *Ecologia e conservação da Caatinga* (pp. 181-236). Editora Universitária da UFPE.

Silva, J. M. C., Barbosa, L. C. F., Leal, I. R., & Tabarelli, M. (2017). The Caatinga: Understanding the challenges. In J. M. C. Silva, I. R. Leal, & M. Tabarelli (Eds.), *Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America* (pp. 3-19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_1

Swenson, N. G. (2014). Functional and phylogenetic ecology in R (Vol. 639). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9542-0

Title, P. O., Singhal, S., Grundler, M. C., Costa, G. C., Pyron, R. A., Colston, T. J., ... & Rabosky, D. L. (2024). The macroevolutionary singularity of snakes. *Science*, 383(6685), 918-923. https://doi.org/10.1126/science.adh2449

Uchôa, L. R., Delfim, F. R., Mesquita, D. O., Colli, G. R., Garda, A. A., & Guedes, T. B. (2022). Lizards (Reptile: Squamata) from the Caatinga, northeastern Brazil: detailed and updated overview. Vertebrate Zoology 72, 599–659. https://doi.org/10.3897/vz.72.e78828

7 Acknowledgments

The Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 141057/2023-8) funded JSO. The Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) funded HJO. To CNPq and the Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) supported DOM (04/2019). The Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) funded TBG (2021/07161-8 and 2022/09428-2).

EJE 2: Técnicas y métodos de monitorización y análisis

Incorporación del análisis de fitolitos en la Biogeografía: aplicaciones paleo ambientales en regiones semiáridas del noreste de Brasil

Schacht, Gustavo Luis[1] y Calegari, Marcia Regina[2]

[1] Departamento de Geografía / Laboratório de Fitólitos da Bahia / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.
[2] Departamento de Geografía / Laboratorio Multiusuário de Estudos da Dinâmica Ambiental / Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, Centro, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.
schacht@ufrb.edu.br

Resumen. La Biogeografía es la ciencia dedicada a comprender la distribución de la fauna y la flora, así como de los procesos ecológicos, evolutivos y ambientales. Para esto, la Biogeografía ha incorporado técnicas provenientes de distintas áreas del conocimiento, especialmente aquellas capaces de aportar informaciones sobre escenarios pretéritos. La comprensión de los grandes conjuntos vegetales frente a cambios ambientales pasados es fundamental para interpretar su dinámica actual y proyectar posibles repercusiones frente a escenarios de cambios actuales y futuros. En este contexto, los proxis paleo ambientales como los fitolitos son una herramienta valiosa, aún subutilizada en Biogeografía. Los fitolitos son partículas de sílice biogénica producidas por diversos grupos de plantas a lo largo de su ciclo de vida. Tras la muerte y descomposición de la biomasa vegetal, estas partículas son incorporadas al suelo, donde pueden preservarse durante largos períodos. Este trabajo tiene como objetivo demostrar el potencial del análisis de fitolitos como herramienta aplicada a estudios biogeográficos y de evolución del paisaje, mostrando resultados preliminares de su aplicación en una región de condiciones semiáridas em noreste de Brasil. Se establecieron once puntos de muestreo en la cuenca del río Paraguaçu, en el estado de Bahía (Brasil). En cada punto se abrieron perfiles de suelo de hasta 2,5 m de profundidad, con muestreo sistemático cada 10 cm. Las muestras fueron destinadas al análisis de fitolitos, isótopos de carbono (δ13C) y datación por carbono 14, permitiendo una aproximación multiproxy a la reconstitución paleoambiental. En los perfiles analizados se registró una buena tasa de recuperación de fitolitos, expresada a través de la fracción insoluble en ácido (FIA), cuyos valores oscilaran entre 0,21% y 4,92%. Estos resultados indican una adecuada preservación de los fitolitos bajo condiciones semiáridas, reforzando su utilidad como proxy paleoambiental en regiones donde otros indicadores presentan limitaciones significativas. La variabilidad observada en los ensamblajes fitolíticos sugiere cambios en la composición y estructura de la vegetación a lo largo del tiempo, aportando información relevante sobre la dinámica de los paisajes y la evolución de los biomas de Brasil, así como el alto potencial del análisis de fitolitos en estudios biogeográficos.

Palabras clave: distribución de vegetación, cuaternario, caatinga, paisaje, suelos.

Resumo. A Biogeografia é a ciência dedicada à compreensão da distribuição da fauna e da flora, bem como dos processos ecológicos, evolutivos e ambientais a ela relacionados. Para tanto, a Biogeografia tem incorporado técnicas de diversas áreas do conhecimento, especialmente aquelas capazes de fornecer informações sobre cenários passados. Compreender o comportamento de grandes comunidades vegetais diante de mudanças ambientais passadas é fundamental para interpretar sua dinâmica atual e projetar possíveis repercussões diante de cenários de mudanças presentes e futuras. Nesse contexto, indicadores paleoambientais como os fitólitos são uma ferramenta valiosa, porém ainda subutilizada em Biogeografia. Os fitólitos são partículas biogênicas de sílica produzidas por diversos grupos de plantas ao longo de seu ciclo de vida. Após a morte e decomposição da biomassa vegetal, essas partículas são incorporadas ao solo, onde podem ser preservadas por longos períodos. Este estudo visa demonstrar o potencial da análise de fitólitos como ferramenta para estudos biogeográficos e de evolução da paisagem, apresentando resultados preliminares de sua aplicação em uma região semiárida do nordeste do Brasil. Onze pontos de amostragem foram estabelecidos na bacia do rio Paraguaçu, no estado da Bahia, Brasil. Em cada ponto, perfis de solo com até 2,5 m de profundidade foram abertos, com amostragem sistemática a cada 10 cm. As amostras foram utilizadas para análise de fitólitos, análise de isótopos de carbono (δ13C) e datação por carbono-14, permitindo uma abordagem multiproxy para a reconstituição paleoambiental. Uma boa taxa de recuperação de fitólitos foi registrada nos perfis analisados, expressa como fração insolúvel em ácido (FIA), com valores variando de 0,21% a 4,92%. Esses resultados indicam preservação adequada de fitólitos em condições semiáridas, reforçando sua utilidade como proxy paleoambiental em regiões onde outros indicadores apresentam limitações significativas. A variabilidade observada nas assembleias de fitólitos sugere mudanças na composição e estrutura da vegetação ao longo do tempo, fornecendo informações relevantes sobre a dinâmica da paisagem e a evolução dos biomas brasileiros, além de destacar o alto potencial da análise de fitólitos em estudos biogeográficos.

Palavras-chave: distribuição de vegetação, quaternário, caatinga, paisagem, solos.

Abstract. Biogeography is the science dedicated to understanding the distribution of fauna and flora, as well as the ecological, evolutionary, and environmental processes related to it. To this end, Biogeography has incorporated techniques from various areas of knowledge, especially those capable of providing information about past scenarios. Understanding the behavior of large plant communities in the face of past environmental changes is fundamental to interpreting their current dynamics and projecting possible repercussions in the face of present and future change scenarios. In this context, paleoenvironmental indicators such as phytoliths are a valuable, yet still underutilized in Biogeography. Phytoliths are biogenic silica particles produced by various plant groups throughout their life cycle. After the death and decomposition of plant biomass, these particles are incorporated into the soil, where they can be preserved for long periods. This study aims to demonstrate the potential of phytolith analysis as a tool for biogeographical and landscape evolution studies, presenting preliminary results of its application in a semi-arid region of northeastern Brazil. Eleven sampling points were established in the Paraguaçu River basin, in the state of Bahia, Brazil. At each point, soil profiles up to 2.5 meter-deep were opened, with systematic sampling every 10 cm. The samples were used for phytolith analysis, carbon isotope analysis (δ13C), and carbon-14 dating, allowing a multiproxy approach for paleoenvironmental reconstitucion. A good phytolith recovery rate was recorded in the analyzed profiles, expressed as the acid insoluble fraction (AIF), with values ranging from 0.21% to 4.92%. These results indicate adequate preservation of phytoliths under semi-arid conditions, reinforcing their usefulness as a paleoenvironmental proxy in regions where other indicators present significant limitations. The variability observed in phytolith assemblages suggests changes in the composition and structure of vegetation over time, providing relevant information on landscape dynamics and the evolution of Brazilian biomes, as well as highlighting the high potential of phytolith analysis in biogeographical studies.

Keywords: vegetation distribution, quaternary, caatinga, landscape, soils.

1 Introducción

Se entiende que, como señala Romariz (2012), la biogeografía es responsable de comprender el origen, la distribución y la evolución de la fauna y la flora. En el contexto de las plantas, comprender las grandes comunidades vegetales del pasado complementa la tarea de comprender el impacto del cambio climático actual en la biodiversidad.

El origen del mosaico geobotánico brasileño (los biomas de Brasil) es consecuencia de la expansión y contracción de la vegetación, causada por la alternancia de climas húmedos y secos a lo largo de los periodos glaciales e interglaciales (Ab'Saber, 2003; Conti y Furlan, 2003).

A lo largo de la historia de este mosaico, conjuntos de vegetación que ahora se encuentran separados, como la Amazonía y la Mata Atlántica, muestran evidencia de conexión, lo que demuestra la importancia de este tema para la Biogeografía. Autores como Hermanowski et al. (2012), Pinaya et al. (2019) y Coelho et al. (2022) abordan esta conexión, que aún no se comprende completamente.

Esta falta de comprensión se debe a la escasa presencia de elementos que permitan reconstruir esta historia. Es en este sentido que los fitolitos emergen como indicador capaz de ayudar a los investigadores en Biogeografía.

Aunque utilizados en Arqueología y Paleoecología, los fitolitos han sido poco explorados en Biogeografía. Para Piperno (2006), los fitolitos son estructuras silícicas producidas por las plantas y depositadas en el suelo. Dada su resistencia a degradación y su huella taxonómica, es posible reconstituir las condiciones paleoambientales.

A diferencia del polen, los fitolitos no requieren condiciones específicas para su mantenimiento y son fácilmente accesibles, incluso en terrenos semiáridos. Este artículo tiene como objetivo demostrar su aplicación, importancia y viabilidad para la Biogeografía.

2 Materiales y métodos

Se establecieron once trincheras en la cuenca del río Paraguaçu, en el interior de Bahía, Brasil. Las trincheras tienen hasta 2,5 metros de profundidad. Se recolectaron muestras en cada trinchera para la caracterización y clasificación del suelo, por horizonte pedogenético. Estas muestras se utilizaron para análisis físico-químicos de rutina, realizados en Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). Para el estudio paleoambiental, se recolectaron muestras cada 10 cm, que se utilizaron para análisis de fitolitos, análisis de isótopos de carbono (δ13C) y datación por carbono-14 a tres profundidades.

El análisis de isótopos de carbono se realizó en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad Estatal de São Paulo (UNESP), utilizando un espectrómetro de masas de relación isotópica Delta V Advantage (Thermo Scientific). Los resultados de la composición isotópica se presentan en unidades δ (‰).

La datación por carbono-14 se realizó en el Laboratorio de Radiocarbono de Vilnius (Lituania). La unidad de medida estándar para la datación es años cal BP (calibrados antes del presente).

La extracción de fitolitos se realizó en el Laboratorio Multiusuario de Estudios de Dinámica Ambiental, siguiendo los pasos descritos como Método 2 en Calegari (2013b). Se prepararon portaobjetos en aceite de inmersión con la fracción recuperada. Bajo microscopio, se contabilizaron 200 fitolitos identificables en cada portaobjetos (Carnelli et al., 2001). La identificación y denominación de los fitolitos se realizó de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura de Fitolitos (Neumann et al., 2019).

3 Resultados

La incorporación de fitolitos en los análisis biogeográficos aún es muy poco común. Los primeros estudios de este tema se publicaron en 1841, pero fue en el siglo siguiente que el área cobró relevancia (Zucol, Brea y Passegi, 2008).

Datos de Fonseca (2023) indican que entre 1957 y 2022 se publicaron 302 artículos científicos sobre fitolitos en Brasil, su mayoría relacionados con la arqueología. En el noreste de Brasil, a pesar de ser una herramienta importante, la autora solo encontró 16 publicaciones.

Trabajos como de Calegari et al. (2022) demuestran que el interés por los fitolitos ha crecido en los últimos años en Brasil y a nivel mundial; sin embargo, los estudios se concentran en el sur y sureste de Brasil, y fuera del ámbito de la Biogeografía. Nos encontramos ante una herramienta que puede incorporar información importante para la Biogeografía, pero que aún se utiliza poco.

En la cuenca hidrográfica del río Paraguaçu, los puntos seleccionados para este estudio se concentran en áreas con Ferrasols, arenosos, pobres en nutrientes y con pH variando entre 4,3 y 6,7. Además, los sitios dan testimonio de condiciones más húmedas en el pasado, con enclaves de vegetación forestal, en un entorno actualmente cubierto por bosques secos. El porcentaje de recuperación de AIF osciló entre el 0,21 % y el 4,92 % del material inicial, lo que indica una buena concentración de fitolitos.

Los isótopos de carbono ($\delta^{13}C$), a lo largo de las diferentes profundidades, variaron entre -19,75‰ y -27,39‰, lo que indica una variación en la cobertura vegetal desde un pastizal de gramíneas C4, hasta un ambiente forestal con predominio de plantas C3 (Novello, 2021).

Los cambios estructurales de la vegetación y en las condiciones paleoclimáticas demuestran que la región, que actualmente alberga los Bosques Secos de Caatinga, alguna vez tuvo predominio de Sabana (Cerrado) y ambientes de bosque húmedo como la Mata Atlántica. Actualmente, estos dos últimos se encuentran en pequeños refugios.

Al evaluar la datación por carbono-14, se observa que las fechas más antiguas están ubicados en las zonas más elevadas del relieve de la cuenca, alcanzando una edad de 40.475 años cal BP. Los resultados indican un clima más húmedo y frío, especialmente a finales del Cuaternario, con una expansión de ambientes más boscosos que los actuales en las áreas estudiadas, los cuales, más recientemente (alrededor de 3.400 años cal BP), fueron reemplazados por la Caatinga en algunos espacios, lo que indica una importante dinámica biogeográfica, sobre todo durante el Último Máximo Glacial.

4 Discusión

La comprensión de la dinámica paleoclimática y los cambios en la vegetación en el interior del noreste de Brasil ha demostrado ser importante para los investigadores de Geografía, especialmente al considerar la comprensión histórica de la formación del paisaje en esta región.

La incorporación de fitolitos para comprender estos pulsos de vegetación proporciona información clave, especialmente en ambientes semiáridos, contribuyendo a una comprensión de la historia y la resiliencia de los biomas frente a cambios ambientales pasados y futuros.Debido a su alta resistencia a la degradación bioquímica, los fitolitos constituyen un indicador eficaz en contextos donde otros indicadores presentan una baja preservación.

Especialmente para la parte superior de la cuenca estudiada, los resultados de los modelos paleoclimáticos presentados por Laureano et al. (2016) demuestran que la transición Pleistoceno-Holoceno estuvo marcada por condiciones más húmedas que las actuales, corroborando los resultados encontrados. También en concordancia con los resultados de este trabajo, para Novello et al. (2012), estudiando la misma región, el Holoceno Inferior y Medio se caracterizó por la sucesión de climas más secos y más húmedos, hasta aproximadamente 3000 años AP, cuando se alternaron intervalos secos y húmedos, lo que también refuerza los datos encontrados, que confirman la transición entre períodos de vegetación más abierta y más cerrada.

Estos resultados, obtenidos a través de fitolitos, están directamente vinculados a las características pedológicas de las áreas estudiadas, ya que se sabe que varios factores controlan la cantidad de fitolitos preservados, como las especies vegetales, el pH del suelo, la hidrología, el clima y la geomorfología (Drees et al., 1989). De igual manera, el pH encontrado en las áreas estudiadas contribuye a la preservación de estos fitolitos, ya que, según Sommer et al. (2006), la sílice es memo’s soluble entre pH 2,5 y 8,5.

5 Conclusiones

Se puede concluir que la incorporación del análisis de fitolitos en los estudios de biogeografía, junto con otros indicadores paleoambientales, permite a los investigadores comprender con mayor detalle la variación de la cubierta vegetal en diferentes áreas. Comprender la vegetación del pasado está directamente relacionado con comprender cómo se comportará la biodiversidad en un escenario de cambio climático actual. La técnica de los fitolitos, aunque poco utilizada en biogeografía, ya cuenta con un amplio conocimiento en otras áreas, especialmente en arqueología. Por lo tanto, en escenarios complejos, como las regiones semiáridas, donde el polen, el indicador más extendido en biogeografía, no satisface las necesidades del investigador, se debería fomentar la inclusión de los fitolitos.

6 Referencias

Ab'Saber, A. N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.* São Paulo, Ateliê Editorial.

Calegari, M. R., Souza, E., Mozer, J. H., Marcolin, L., & Fonseca, C. F. (2022). Fitólitos – uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental – conceitos e revisão sobre aplicação no Brasil. *Derbyana*, 43, e778. https://doi.org/10.14295/derb.v43.778

Carnelli, A. L., Madella, M., & Theurillat, J. P. (2001). Biogenic silica production in selected alpine plant species and plant communities. *Annals of Botany*, 87(4), p. 425–434. https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1355

Coelho, F. E. A., et al. (2022). Historical connection between Atlantic Forest and Amazonia drove genetic and ecological diversity in Lithobates palmipes (Anura, Ranidae). *Systematics and Biodiversity*, 20(1), 2046657. https://doi.org/10.1080/14772000.2022.2046657

Conti, J. B., & Furlan, S. A. (2003). Geoecologia: O Clima, os Solos e a Biota. En: ROSS, J. S. (Org.). *Geografia do Brasil*. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

De Oliveira, P. E., Barreto, A. M. F., & Suguio, K. (1999). Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 152(3), p. 319-337. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00061-9

Drees et al. (1989). Silica in solils: quartz and disordered silica polymorphs. En: DIXON & WEES (1989). *Minerals in soil environments*. 2ª ed., p. 913-974.

Fonseca, C. F. (2023). Estudo Paleoambiental em enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal da Paraiba.

Hermanowski, B., Costa, M. L., Carvalho, A. T., & Behling, H. (2012). Palaeoenvironmental dynamics and underlying climatic changes in southeast Amazonia (Serra Sul dos Carajás, Brazil) during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 366, p. 227-246. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.09.030

Laureano, F. V., Karmann, I., Grander, D. E., Auler, A. S., Almeida, R. P., Cruz, F. W., Stricks, N. M., & Novello, V. F. (2016). Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, 273(1), p. 63-77. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.009

Neumann, K., Stromberg, C. A. E., Ball, T., Albert, R. M., Vrydaghs, L., & Cumming, L. S. (2019). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, 124(1), p. 189–199. https://doi.org/10.1093/aob/mcz064

Novello, V. F., Cruz, F. W., Karmann, I., Burns, S. J., Strikis, N. M., Vuille, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Santos, R. V., Frigo, E., & Barreto, E. A. (2012). Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. *Geophysical Research Letters*, 39(23), p. L23706. https://doi.org/10.1029/2012GL053936

Novello, V. F., Campos, M. C., Chiessi, C. M., Paula-Santos, G. M., Pessenda, L. C. R., Gomes, T., Utida, G., & Cruz, F. W. (2021). Aplicação de isótopos estáveis de carbono no estudo das mudanças climáticas e ambientais. *Derbyana,* 42, e735. Htpps://doi.org/10.14295/derb.v42.735

Pinaya, J. L. D., et al. (2019). Brazilian montane rainforest expansion induced by Heinrich Stadial 1 event. *Scientific Reports*, 9, 17912. https://doi.org/10.1038/s41598-019-53036-1

Piperno, D. R. (2006). Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Lanham, MD: AltaMira Press.

Romariz, D. A. (2012). *Biogeografia: temas e conceitos.* São Paulo, Editora Scortecci.

Sommer, M., Kaczorek, D., Kuzyakov, Y., & Breuer, J. (2006). Silicon pools and fluxes in soils and landscapes: a review. Journal Plant Nutrition. *Soil Science*, 169(3), p. 310-329. https://doi.org/10.1002/jpln.200521981

Zucol, A. F., Brea, M., & Passegi, E. (2008). Los estúdios fitolíticos em America del Sur: uma visión retrospectiva. En: Korstanje, M. A., Babot, M. P.; *Matices interdisciplinarias em estúdios fitolíticos y de otros microfósiles*. BAR International Series, p. 3-21.

7 Agradecimientos

Agradecemos a Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Bahía – FAPESB (Proyectos APP0050/2023 y PPP0015/2024) y al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico – CNPq (402886/2023-2).

Especies exóticas invasoras en Europa: gestión y tendencias desde la percepción de gestores locales

Garcia-Lozano, Carla[1] y Roura-Pascual, Núria[1]

[1] Universitat de Girona, Plaça Ferrater Mora, sn, 17004, Girona, Spain
nuria.roura@udg.edu

Resumen Las invasiones biológicas siguen expandiéndose en Europa pese al incremento de las acciones de gestión. Este estudio presenta la primera evaluación continental basada en la percepción de gestores locales y regionales (n = 1928, 41 países), mediante una encuesta estructurada en 18 idiomas. Los resultados muestran una fuerte implementación de medidas de seguimiento y control, especialmente sobre plantas invasoras, pero una escasa aplicación de estrategias preventivas y de restauración. A pesar de estos esfuerzos, los gestores perciben aumentos generalizados en el número de especies, la superficie ocupada y los impactos sobre la biodiversidad en todos los grupos taxonómicos. Se identifican importantes lagunas de conocimiento, particularmente en vertebrados e invertebrados, y una débil relación entre las medidas aplicadas y la reducción de las invasiones. En conjunto, los resultados indican que las estrategias actuales son insuficientes para alcanzar el objetivo 6 del Marco Global de Biodiversidad antes de 2030 y evidencian la necesidad de reforzar la prevención, la restauración ecológica y la coordinación multinivel en Europa.

Palabras clave: invasiones biológicas, IAS, gestión ambiental, percepción experta, políticas de biodiversidad, prevención, restauración ecológica, monitoreo.

Resumo. As invasões biológicas continuam a expandir-se na Europa apesar do aumento das ações de gestão. Este estudo apresenta a primeira avaliação continental baseada na percepção de gestores locais e regionais (n = 1928, 41 países), através de um questionário estruturado em 18 idiomas. Os resultados mostram uma forte implementação de medidas de monitorização e controlo, especialmente sobre plantas invasoras, mas uma aplicação limitada de estratégias preventivas e de restauração. Apesar destes esforços, os gestores percebem aumentos generalizados no número de espécies, na área ocupada e nos impactos sobre a biodiversidade em todos os grupos taxonômicos. Identificam-se importantes lacunas de conhecimento, particularmente em vertebrados e invertebrados, bem como uma fraca relação entre as medidas aplicadas e a redução das invasões. No conjunto, os resultados indicam que as estratégias atuais são insuficientes para alcançar o objetivo 6 do Quadro Global da Biodiversidade antes de 2030 e evidenciam a necessidade de reforçar a prevenção, a restauração ecológica e a coordenação multinível na Europa.

Palavras-chave: invasões biológicas, IAS, gestão ambiental, percepção de especialistas, políticas de biodiversidade, prevenção, restauração ecológica, monitorização.

Abstract. Biological invasions continue to expand across Europe despite increasing management efforts. This study presents the first continental assessment based on the perceptions of local and regional managers (n = 1928, 41 countries), using a structured questionnaire in 18 languages. Results show strong implementation of monitoring and control measures, particularly targeting invasive plants, but limited application of preventive and restoration strategies. Despite these efforts, managers perceive widespread increases in species numbers, occupied areas and biodiversity impacts across all taxonomic groups. Significant knowledge gaps are identified, especially for vertebrates and invertebrates, along with a weak relationship between implemented measures and invasion reduction. Overall, findings indicate that current strategies are insufficient to meet Target 6 of the Global Biodiversity Framework by 2030, highlighting the need to strengthen prevention, ecological restoration and multi-level coordination across Europe.

Keywords: biological invasions, IAS, environmental management, expert perception, biodiversity policy, prevention, ecological restoration, monitoring.

1 Introducción

Las especies exóticas invasoras (EEI) constituyen una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a escala global, con impactos ecológicos y socioeconómicos crecientes (IPBES, 2023; Ahmed et al., 2023). A pesar del incremento en los esfuerzos de gestión, la tasa de introducción y expansión de especies invasoras continúa en aumento en Europa y a nivel global (Seebens et al., 2021; Cuthbert et al., 2022). En respuesta, marcos políticos como el Reglamento (UE) 1143/2014 (European Union, 2014) y el Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal (Convention on Biological Diversity, 2022) establecen objetivos ambiciosos para reducir los impactos de las EEI antes de 2030.

Sin embargo, la evaluación del progreso hacia estos objetivos se ve limitada por la fragmentación y heterogeneidad de los datos disponibles, así como por la falta de sistemas armonizados de seguimiento a escala continental (Gatto et al., 2013). En este contexto, el conocimiento de los gestores locales y regionales emerge como una fuente clave de información para comprender las tendencias de las invasiones biológicas y evaluar la efectividad de las medidas implementadas (Shackleton et al., 2019). Este estudio presenta una evaluación continental basada en la percepción de estos actores, aportando una visión integradora sobre el estado actual de la gestión de EEI en Europa.

Este trabajo sintetiza los principales resultados de la encuesta a escala continental. Un análisis más detallado de estos datos, incluyendo comparativas entre países de la Unión Europea y no pertenecientes a la UE, diferencias según filiación institucional y grado de experiencia de los gestores, así como la relación entre medidas de gestión y tendencias observadas, se presenta en un estudio más extenso (Garcia-Lozano et al., 2025).

2 Métodos

Se diseñó una encuesta estructurada con 27 preguntas cerradas, organizada en dos bloques: (i) contexto de gestión (localización geográfica, tipo de entorno y perfil profesional) y (ii) medidas de gestión y tendencias percibidas de las EEI. El cuestionario fue traducido a 18 idiomas y distribuido entre febrero y diciembre de 2022 a través de redes europeas especializadas en invasiones biológicas.

Se obtuvieron 1928 respuestas válidas de gestores en 41 países europeos, lo que representa una amplia cobertura geográfica y sectorial. El análisis se centró en evaluar la frecuencia de implementación de distintas medidas de gestión (seguimiento, priorización, prevención, control, erradicación y restauración), así como las tendencias percibidas en el número de especies, la superficie ocupada y los impactos sobre la biodiversidad, diferenciando entre grupos taxonómicos (plantas, vertebrados e invertebrados) y tipos de entorno.

Se aplicaron análisis multivariantes y pruebas de asociación para explorar las relaciones entre la implementación de medidas de gestión y las tendencias de las EEI según su ocurrencia, abundancia y sus impactos, permitiendo identificar patrones generales y niveles de incertidumbre asociados a distintos contextos.

3 Resultados

3.1 Medidas de gestión

El seguimiento (88 %) y el control (71 %) fueron las medidas más frecuentemente implementadas en Europa desde 2015, seguidas por la prevención y la priorización, mientras que la restauración fue la menos aplicada (24 %). La mayoría de los gestores (70 %) indicó implementar entre dos y cuatro medidas simultáneamente, lo que refleja un enfoque de gestión combinado, pero predominantemente reactivo (Fig. 1).

Las plantas invasoras constituyen el grupo taxonómico con mayor atención gestora, tanto en seguimiento (más del 74 %) como en control y priorización. En contraste, el conocimiento y la gestión de vertebrados e invertebrados invasores son significativamente más limitados, con elevados porcentajes de respuestas “no lo sé”, superiores al 40 % en muchos casos.

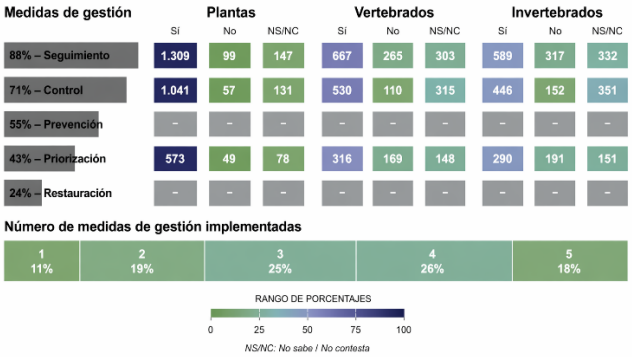


Fig. 1. Medidas de gestión aplicadas por los gestores por grupos taxonómicos y número de medidas de gestión aplicadas para cada una de las respuestas.

El éxito de la erradicación completa es muy bajo: solo el 5 % de quienes intentaron eliminar una población invasora lo lograron completamente. Las tasas de éxito fueron mayores en plantas (8 % completa y 43 % parcial) que en vertebrados (5 % y 16 %) o invertebrados (2 % y 11 %), evidenciando la dificultad de erradicar especies una vez establecidas (Fig. 2). En animales la mayoría de los gestores declaró que ni siquiera se intentó erradicar la especie y que solamente se gestionaba para controlar los individuos, ya sea en su abundancia o área ocupada. En cambio, la gestión de plantas se orienta mayoritariamente a la erradicación, aunque esta sea fallida (Fig. 2).

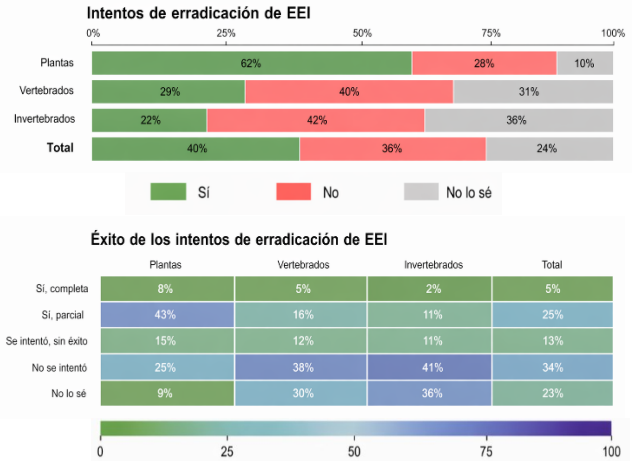


Fig.2. Intentos y éxitos en la erradicación de EEI.

3.2 Tendencias de las EEI

Los gestores perciben un aumento generalizado en el número de especies invasoras (44 %), la superficie ocupada (43 %) y los impactos sobre la biodiversidad en todos los grupos taxonómicos. Las plantas presentan los incrementos más acusados, con más del 58 % de respuestas indicando aumento tanto en número como en distribución (Fig. 3).

Los impactos sobre la biodiversidad son los más claramente identificados (72 %), mientras que los impactos económicos y sobre la salud humana presentan mayores niveles de incertidumbre, con más del 30 % de respuestas "no lo sé".

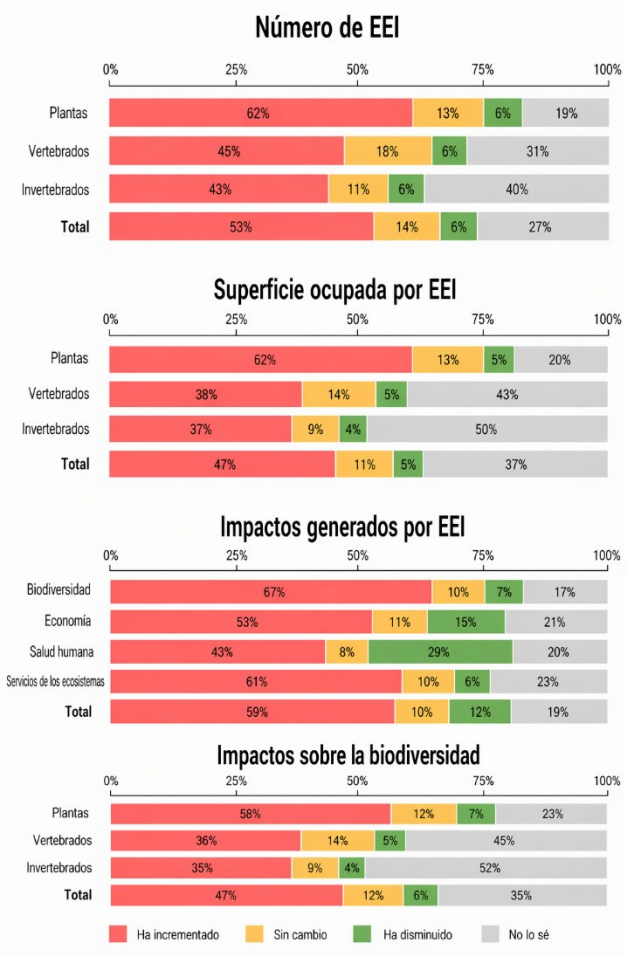


Fig. 3. Tendencia en el número de EEI, en el área que ocupan, en los impactos producidos y detalle del impacto basado en la biodiversidad.

Los análisis no evidencian una relación clara entre la implementación de medidas de gestión y la reducción de las tendencias de invasión, especialmente en el caso de las plantas. Sin embargo, sí muestran que la ausencia de medidas como seguimiento, priorización y control se asocia con mayores niveles de desconocimiento.

4 Discusión

Los resultados ponen de manifiesto un desajuste significativo entre los esfuerzos de gestión y la evolución de las invasiones biológicas en Europa. A pesar del aumento en la implementación de medidas, especialmente de seguimiento y control, las EEI continúan expandiéndose en número, distribución e impactos, en línea con las tendencias globales descritas recientemente (Seebens et al., 2021; IPBES, 2023).

Este patrón sugiere una predominancia de estrategias reactivas frente a enfoques preventivos. La gestión centrada en el control de especies ya establecidas resulta menos eficaz y más costosa que las acciones de prevención temprana, lo que refuerza la necesidad de reorientar las políticas hacia etapas iniciales del proceso de invasión (Cuthbert et al., 2022).

Sin embargo, solo la mitad de los gestores encuestados afirmaron aplicar medidas preventivas, con una prevalencia ligeramente superior en los países no pertenecientes a la UE en comparación con los Estados miembros. La sensibilización pública aparece como la acción preventiva más ampliamente adoptada, seguida de la elaboración de directrices para la erradicación o el control de las EEI, en consonancia con los informes de la Comisión Europea correspondientes al período 2015–2018 (European Commission, 2021). La mayoría de estas iniciativas consisten en la creación de sitios web y aplicaciones móviles específicas, así como en campañas de sensibilización y guías para la identificación de especies invasoras y de sus vías de introducción (European Commission, 2021).

Estos resultados respaldan la idea de que los gestores locales y regionales tienden a centrar sus esfuerzos en responder a las invasiones una vez producidas, más que en desarrollar estrategias preventivas (Pyšek et al., 2013). Las medidas de gestión proactiva suelen plantearse a escala nacional o supranacional,

La escasa implementación de medidas de restauración representa otra limitación clave. La recuperación de ecosistemas degradados por EEI no solo contribuye a mejorar la resiliencia ecológica, sino que también reduce la probabilidad de reinvasión. Sin embargo, los resultados indican que esta dimensión sigue siendo marginal en la práctica de gestión, posiblemente debido a limitaciones técnicas, económicas o institucionales.

Asimismo, las importantes lagunas de conocimiento detectadas en vertebrados e invertebrados, especialmente en países fuera de la UE, evidencian una desigualdad en la capacidad de seguimiento y gestión. Esta situación se ve agravada por la fragmentación de los sistemas de información existentes en Europa, que dificulta la integración de datos y la evaluación coordinada a escala continental (Gatto et al., 2013). La elevada proporción de respuestas de incertidumbre observada para estos grupos taxonómicos sugiere que continúan existiendo importantes déficits de información, particularmente en ecosistemas acuáticos continentales y marinos, donde las invasiones pueden avanzar de forma

menos visible y más difícil de monitorizar. Del mismo modo, los impactos sobre la economía, la salud humana y los servicios ecosistémicos presentan mayores niveles de incertidumbre que los impactos sobre la biodiversidad, lo que refleja la complejidad inherente a su cuantificación y seguimiento.

En este contexto, el conocimiento de los gestores locales y regionales se revela como una fuente clave y complementaria a los sistemas de información oficiales, permitiendo identificar tendencias, vacíos de conocimiento y necesidades de gestión (Shackleton et al., 2019).

5 Conclusiones

Este estudio proporciona la primera evaluación continental basada en la percepción de gestores de EEI en Europa, aportando evidencia sobre la evolución reciente de las invasiones biológicas y la eficacia de las medidas de gestión.

Los resultados indican que, pese a los esfuerzos realizados, las EEI siguen aumentando en número, distribución e impactos, lo que sugiere que las estrategias actuales son insuficientes para alcanzar el objetivo 6 del Marco Global de Biodiversidad antes de 2030 (Convention on Biological Diversity, 2022).

Para avanzar hacia una gestión más efectiva, es necesario reforzar las medidas preventivas, incrementar la implementación de acciones de restauración ecológica y mejorar la coordinación entre niveles de gobernanza y entre países. Asimismo, la integración sistemática del conocimiento de los gestores en los sistemas de evaluación y toma de decisiones constituye un elemento clave para mejorar la respuesta frente a las invasiones biológicas en Europa.

Los resultados aquí presentados constituyen una síntesis de los patrones generales observados. Un análisis más exhaustivo, que incorpora comparativas entre países dentro y fuera de la Unión Europea, diferencias según filiaciones y niveles de experiencia, así como la relación entre las medidas de gestión y las tendencias de las EEI, se desarrolla en detalle en Garcia-Lozano et al. (2025).

6 Referencias

Ahmed, D. A., Haubrock, P. J., Cuthbert, R. N., et al. (2023). Recent advances in availability and synthesis of the economic costs of biological invasions. *Bioscience*, 73(8), 560–574.

Convention on Biological Diversity (2022). Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework.

Cuthbert, R. N., Diagne, C., Hudgins, E. J., et al. (2022). Biological invasion costs reveal insufficient proactive management worldwide. *Science of the Total Environment*, 819, 153404.

European Commission. 2021. Report From the Commission to the European Parliament and the Council on the Review of the Application of Regulation (EU) No 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the Prevention and Management of the Introduction and Spread of Invasive Alien Species (No. COM(2021) 628 Final). https:// eur-lex. europa. eu/ legal -content/ EN/ TXT/ PDF/? uri=CELEX: 52021 DC0628.

European Union (2014). *Regulation (EU) No 1143/2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species*. Official Journal of the European Union.

Garcia-Lozano, C., Pueyo-Ros, J., Canelles, Q., Latombe, G., Adriaens, T., Bacher, S., … & Roura-Pascual, N. (2025). Management measures and trends of biological invasions in Europe: A survey-based assessment of local managers. *Global Change Biology*, 31, e70028. https://doi.org/10.1111/gcb.70028

Gatto, F., Katsanevakis, S., Vandekerkhove, J., Zenetos, A., & Cardoso, A. C. (2013). Evaluation of online information sources on alien species in Europe: the need of harmonization and integration. *Environmental Management*, 51(6), 1137–1146.

IPBES. 2023. *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and Their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPBES secretariat.

Pyšek, P., P. Genovesi, J. Pergl, A. Monaco, and J. Wild. 2013. Plant Invasions of Protected Areas in Europe: And Old Continent Facing New Problems. In *Plant Invasions in Protected Areas: Patterns, Problems and Challenges*, edited by L. C. Foxcroft, P. Pyšek, D. M. Richardson, and P. Genovesi, 209–240. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Seebens, H., Bacher, S., Blackburn, T. M., et al. (2021). Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. *Global Change Biology*, 27(5), 970–982.

Shackleton, R. T., Adriaens, T., Brundu, G., et al. (2019). Stakeholder engagement in the study and management of invasive alien species. *Journal of Environmental Management*, 229, 88–101.

La vegetación palustre como bioindicador de cambio ambiental en humedales salinos mediterráneos de interior: el caso de la laguna de Manjavacas (Cuenca)

Sánchez Gutiérrez, Carmen Pilar[1] y Gosálvez Rey, Rafael Ubaldo[1]

[1] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Castilla-La Mancha, Avda. de Camilo José Cela, s/n, 13071, Ciudad Real, España.
rafaelu.gosalvez@uclm.es

Resumen. Los humedales continentales mediterráneos presentan un elevado valor biogeográfico por su singularidad ecológica, biodiversidad y notable vulnerabilidad frente a las transformaciones humanas. Este trabajo analiza la evolución espacio-temporal de la vegetación de la laguna de Manjavacas, situada en Mota del Cuervo (Cuenca), con el fin de evaluar los cambios en las formaciones de helófitos y su significado para la conservación. La laguna se localiza en la Llanura Manchega, dentro de un contexto climático semiárido caracterizado por precipitaciones escasas e irregulares, elevada evapotranspiración y marcada estacionalidad térmica. Se trata de un humedal somero, de aguas meso a hipersalinas, cuya vegetación especializada incrementa la diversidad florística en un entorno agrícola intensamente transformado. La metodología combina revisión bibliográfica, análisis cartográfico, técnicas de teledetección y trabajo de campo. Se analizaron fotografías aéreas históricas desde 1956, ortoimágenes del PNOA entre 2004 y 2024 e imágenes Sentinel-2 de 2024, cuantificando mediante SIG la superficie ocupada por helófitos y validando los resultados con observaciones en campo. Los resultados evidencian una transformación progresiva de la vegetación palustre, con expansión sobre todo del carrizo por la eutrofización del sistema.

Palabras clave: biogeografía, humedales mediterráneos, vegetación palustre, eutrofización, Manjavacas

Resumo. Os humedais continentais mediterrânicos apresentam um elevado valor biogeografico devido à sua singularidade ecológica, biodiversidade e notável vulnerabilidade face às transformações antrópicas. Este trabalho analisa a evolução espaço-temporal da vegetação da lagoa de Manjavacas, situada em Mota del Cuervo, na província de Cuenca, com o objetivo de avaliar as alterações nas formações helófitas e o seu significado para a conservação. A lagoa localiza-se na Planície Manchega, num contexto climático semiárido caracterizado por precipitações escassas e irregulares, elevada evapotranspiração e marcada sazonalidade térmica. Trata-se de um humedal pouco profundo, com águas de meso- a hipersalinas, cuja vegetação especializada aumenta a diversidade florística num ambiente agrícola intensamente transformado. A metodologia combina revisão bibliográfica, análise cartográfica, técnicas de teledeteção e trabalho de campo. Foram analisadas fotografias aéreas históricas desde 1956, ortoimagens do PNOA entre 2004 e 2024 e imagens Sentinel-2 de 2024, quantificando, através de SIG, a superfície ocupada por helófitos e validando os resultados com observações diretas. Os resultados evidenciam uma transformação progressiva da vegetação palustre, com expansão sobretudo do caniço evido à eutrofização do sistema.

Palavras-chave: biogeografia, humedais mediterrânicos, vegetação palustre; eutrofização, Manjavacas

Abstract. Continental Mediterranean wetlands have a high biogeographical value due to their ecological singularity, biodiversity, and notable vulnerability to anthropogenic transformations. This study analyses the spatio-temporal evolution of the vegetation of the Manjavacas lagoon, located in Mota del Cuervo, in the province of Cuenca, with the aim of assessing changes in helophytic formations and their significance for conservation. The shallow lake is in the Manchegan Plain, within a semi-arid climatic context characterised by scarce and irregular precipitation, high evapotranspiration, and marked thermal seasonality. It is a shallow wetland with meso- to hypersaline waters, whose specialised vegetation increases floristic diversity in an intensively transformed agricultural environment. The methodology combines bibliographic review, cartographic analysis, remote sensing techniques, and fieldwork. Historical aerial photographs from 1956, PNOA orthophotos between 2004 and 2024, and Sentinel-2 images from 2024 were analysed, quantifying the area occupied by helophytes using GIS and validating the results through direct observations. The results reveal a progressive transformation of palustrine vegetation, with the expansion of reed beds due to eutrophication of the system.

Keywords: biogeography, Mediterranean wetlands, palustrine vegetation, eutrophication, Manjavacas

1 Introducción

Los humedales mediterráneos continentales constituyen enclaves de elevado interés biogeográfico debido a su funcionamiento fluctuante, su biodiversidad especializada y su papel como indicadores sensibles del cambio ambiental (Zacharias et al., 2007). Su dinámica está condicionada por la irregularidad climática propia del dominio mediterráneo, caracterizada por precipitaciones escasas e irregulares, elevada evapotranspiración estival y episodios de sequía.

Durante el último siglo, estos sistemas han experimentado profundas transformaciones, cuando no han desaparecido, como consecuencia de la intensificación agraria, la regulación hídrica, los vertidos urbanos y, más recientemente, los efectos del cambio climático (Taylor et al., 2021). Desde la óptica de la conservación, la vegetación constituye un excelente bioindicador de estos procesos, al integrar respuestas espaciales y temporales a los cambios en las condiciones hidrológicas, edáficas y químicas (Tutova et al., 2025).

La laguna de Manjavacas, uno de los humedales más extensos (106 ha) de la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda, ofrece un caso de estudio idóneo para analizar procesos de transformación geoecológica. En las últimas décadas, la entrada continuada de aguas residuales y de fertilizantes de origen agrario han alterado su régimen hídrico natural y favorecido cambios significativos en la vegetación palustre (Camuñas et al., 2018).

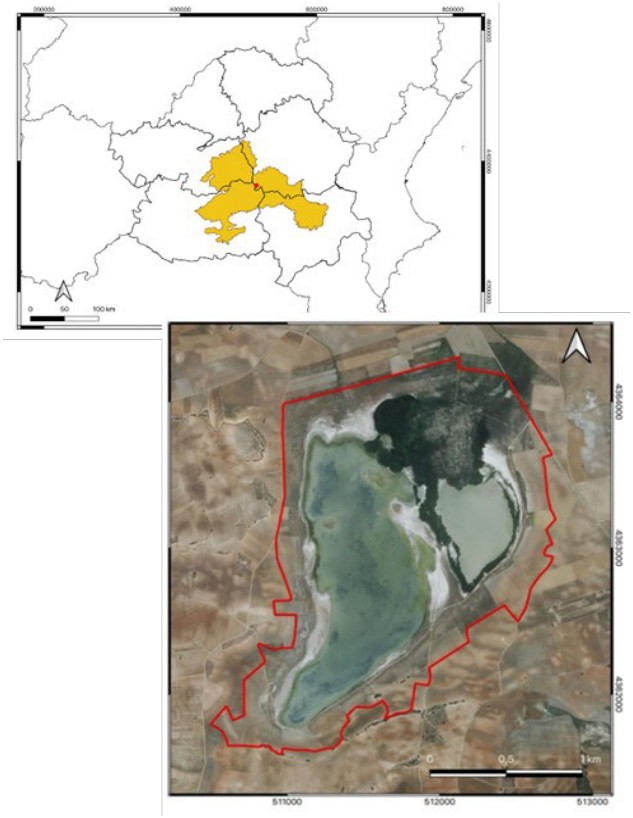


Fig. 1. Localización de la laguna de Manjavacas y su contexto regional en la Mancha Húmeda.

El objetivo de esta contribución es analizar la evolución espacio-temporal de las principales formaciones de helófitos de la laguna de Manjavacas desde una perspectiva biogeográfica, identificando los factores responsables de su transformación.

2 Métodos

La teledetección en humedales es uno de los métodos tradicionales tanto de investigación como de gestión y planificación ambiental en este tipo de ecosistemas (Dunkle *et al.*, 1989). En esta contribución se ha realizado una revisión de ortofotografías aéreas desde el vuelo americano de 1956 hasta el año 2024, lo que ha permitido reconstruir la evolución de la cubierta vegetal a partir de fotointerpretación.

También se han analizado mediante interpretación visual imágenes multiespectrales Sentinel-2 del año 2024, empleando composiciones en falso color para caracterizar la fenología y el vigor de las formaciones de helófitos. El tratamiento cartográfico y la cuantificación de superficies se han llevado a cabo mediante QGIS 3.36.0, identificando teselas, delimitándolas con las herramientas de digitalización de este SIG y calculando la superficie con la función "$área" de la calculadora de campos.

Por último, se han realizado varias salidas de campo con el objetivo de verificar la información obtenida por teledetección, identificar las principales comunidades vegetales y evaluar su estructura y estado de conservación.

3 Resultados

Como se puede observar en la Fig. 2, hay una transformación significativa de la vegetación de la laguna de Manjavacas a lo largo de las últimas décadas, especialmente en lo relativo a las comunidades de helófitos. El análisis diacrónico de fotografías aéreas, ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) e imágenes del satélite Sentinel-2 ha permitido reconstruir con precisión la evolución espacial y temporal de estas formaciones, así como cuantificar los cambios en su extensión superficial y dinámica estacional.

El resultado más significativo es la expansión muy acusada de helófitos, principalmente carrizo. Mientras que en la década de 1980 los helófitos ocupaban una superficie prácticamente testimonial —inferior al 1 % de la cubeta lagunar en 1985—, en el año 2024 alcanzan aproximadamente el 18,8 % de la cubeta lagunar (Tabla 1). Este incremento supone una multiplicación por veinte de su extensión en un periodo inferior a cuarenta años, lo que pone de manifiesto un proceso de colonización acelerado.

La distribución espacial de los helófitos no es homogénea en la laguna, existiendo una clara concentración de esta formación en el sector noreste, coincidiendo con la zona de entrada del efluente procedente de la Acequia Madre, que canaliza las aguas residuales depuradas de la EDAR de Mota del Cuervo. Este patrón espacial se repite en toda la serie

temporales analizada, lo que indica una fuerte relación entre los aportes artificiales de agua, la disponibilidad hídrica y la proliferación de helófitos de gran porte.

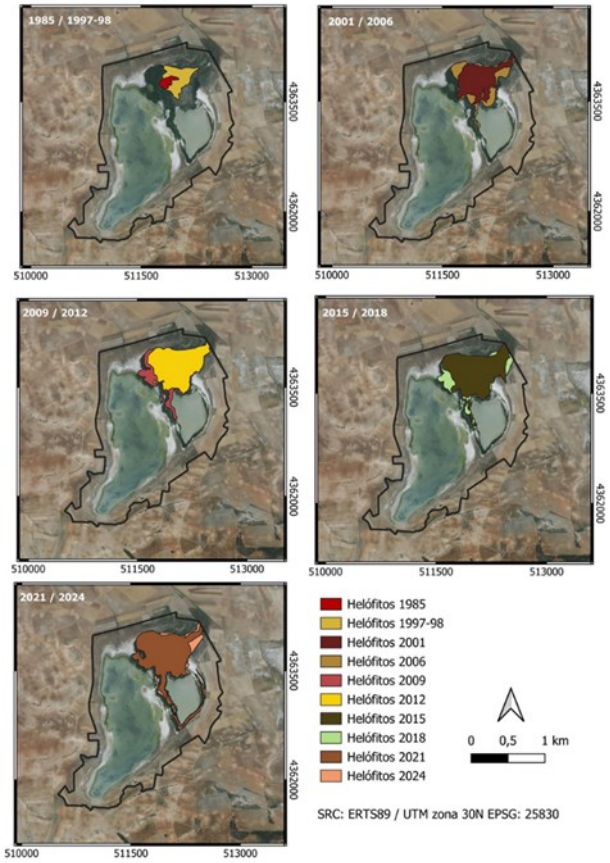


Fig. 2. Evolución espacio-temporal de helófitos en la laguna de Manjavacas (1985–2024).

Tabla 1. Evolución de la superficie ocupada por helófitos.

Año	Superficie (Ha)	%
1985	2,31	0,94
1997/98	12,59	5,13
2001	22,15	9,04
2006	33,95	13,85
2009	39,49	16,11
2012	35,19	14,36
2015	39,05	15,93
2018	46,41	18,94
2021	40,65	16,59
2014	45,97	18,76

En los trabajos de campo se constata que estas formaciones de helófitos están constituidas principalmente por el carrizo, y en menor medida por la presencia de rodales y manchas de castañuela (*Bolboschoenus maritimus*), junco candilejo (*Juncus subulatus*) y junco marino (*Juncus maritimus*). No obstante, estos tres taxones presentan una distribución más fragmentada y una menor superficie ocupada, al quedar relegadas por la expansión del carrizo.

El análisis fenológico realizado a partir de imágenes en falso color del satélite Sentinel-2 correspondientes al año 2024 permite identificar una marcada dinámica estacional de los helófitos (Figura 3).

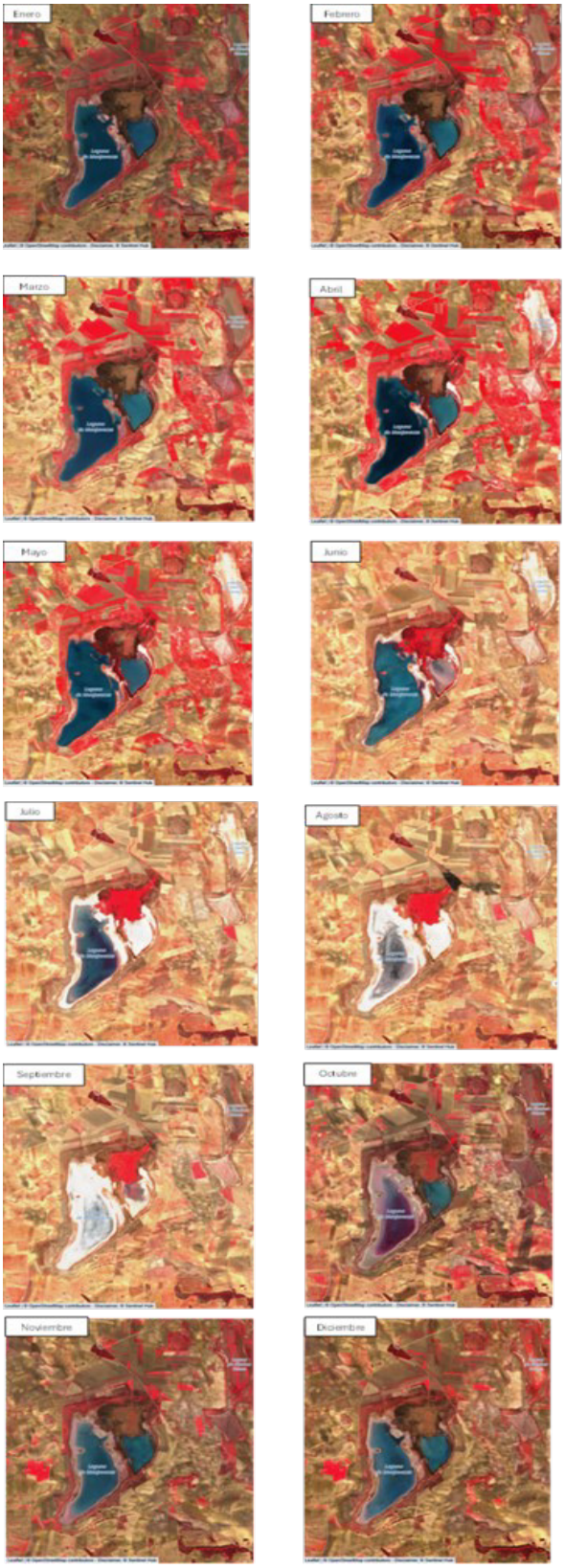


Fig. 3. Evolución mensual de la fenología de los helófitos en la laguna de Manjavacas (2024).

Durante los meses invernales, la vegetación presenta una reflectancia baja, asociada al reposo vegetativo. A partir de la primavera, y especialmente en verano, se registran valores elevados de reflectancia en el infrarrojo cercano, indicadores de un alto vigor vegetal y un crecimiento intenso de las masas de helófitos.

En relación con la lámina de agua, se observa una elevada variabilidad con importantes cambios cromáticos a lo largo del año, reflejando fluctuaciones en la profundidad, la turbidez y/o la concentración de sedimentos y algas.

En conjunto, los resultados muestran que la vegetación y la lámina de agua de la laguna de Manjavacas reflejan los cambios hidrológicos, edáficos y químicos del sistema hídrico, evidenciando un proceso de transformación acelerada en el que los helófitos, y en particular el carrizo, actúan como elementos dominantes y estructuradores del paisaje actual del humedal.

4 Discusión y conclusiones

La laguna de Manjavacas ha experimentado en las últimas décadas una importante transformación geoecológica, en la que la vegetación palustre actúa como un bioindicador altamente sensible de los cambios ambientales.

La expansión de helófitos, especialmente del carrizo, se interpreta como una respuesta directa al aumento de la disponibilidad hídrica artificial y a los elevados aportes de nutrientes, con valores de fósforo total que supera en algunas épocas los 4mg/l, a los que se suma la presencia de amonio (Cirujano y Medina, 2002). Estos nutrientes proceden de las aguas residuales de la EDAR del municipio de Mota del Cuervo y de la fuerte agrarización de su cuenca hidrológica, con un uso abusivo de fertilizantes, dando lugar a un proceso de fuerte eutrofización, fenómeno ampliamente descrito para humedales mediterráneos (Álvarez Cobelas et al., 1991; Cirujano y Medina, 2002).

La alteración de los gradientes naturales de salinidad, humedad y estacionalidad que estructuraban la zonación de comunidades halófilas y helófitas en La Mancha Húmeda, conlleva una homogeneización progresiva de la cubierta vegetal (Peinado y Martínez, 1985; Cirujano, 1995). Y con ello, la sustitución de formaciones especializadas por otras dominadas por especies generalistas, lo que puede suponer una pérdida de diversidad florística, afectando a la fauna asociada y a los servicios ecosistémicos del humedal (González-Bernáldez, 1992; Florín, 2001).

Todo ello se refuerza en un contexto climático de déficit hídrico estructural, incremento térmico y elevada evapotranspiración, que intensifica los procesos de concentración salina y estrés ecológico propios de los humedales continentales semiáridos. En este marco, la gestión del agua adquiere un papel clave, ya que los aportes artificiales alteran el funcionamiento natural del sistema y favorecen dinámicas de degradación difíciles de revertir.

Concluimos que la laguna de Manjavacas se configura como un bioindicador territorial de primer orden, reflejando de forma integrada la interacción entre clima, usos del suelo y gestión hídrica. La conservación de este enclave exige la reducción de la carga de nutrientes y la adopción de estrategias de gestión (control carrizal, restauración hidrológica, protección del acuífero, ...), apoyándose en el seguimiento continuo mediante la teledetección y el trabajo de campo (Florín et al., 2021).

5 Referencias

Álvarez Cobelas, M., Muñoz Ruiz, P., & Rubio Olmo, A. (1991). La eutrofización de las aguas continentales españolas. Henkel Ibérica, S. A.

Camuñas, C., Ballesteros, B., Mejías, M., Camacho, A., Rochera, C., Albacete, L., & Sánchez, D. (2018). Lagunas mesetarias de La Mancha: Funcionamiento hidrológico, cultura y medio ambiente. IGME.

Cirujano, S. (1995). Flora y vegetación de las lagunas y humedales de la provincia de Cuenca. JCCM-CSIC.

Cirujano, S., & Medina, L. (2002). Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla – La Mancha. CSIC-JCCM.

Dunkle, F., Hanmer, R., Page, R.W., & Scaling, W. (1989). Federal Manual for Identifying and Delineating Jurisdictional Wetlands; Interagency Cooperative Publication, National Service Center for Environmental Publications (NSCEP).

Florín, M. (2001). Ecología y Conservación de los Humedales Manchegos. En La Mancha Húmeda. (pp. 65-92). Instituto de Investigaciones y Estudios Toledanos (Diputación Provincial de Toledo).

Florín, M., Gosálvez, R., Laguna, C., Sánchez, D., Falomir, J., González, A., Muñoz, E., Chicote, A., Sánchez, G., Velasco, A. & Becerra, R. (2021). Efecto de superioridad en la mejora de servicios ecosistémicos de regulación por humedales y llanuras de inundación. *Ambienta*. *La revista del Ministerio de Medio Ambiente*. 127, 64-75.

González-Bernáldez, F. (1992). Características esenciales de la naturaleza mediterránea. En Moreno, A. (ed.) *Paisaje Mediterráneo*. Electa.

Peinado, M., & Martínez, J.M. (1985). El paisaje vegetal de Castilla-La Mancha. JCCM.

Taylor, N. G., Grillas, P., Al Hreisha, H., Balkiz, Ö., Borie, M., Boutron, O., Catita, A., Champagnon, J., Cherif, S., Çiçek, K., Costa, L.T., Dakki, M., Fois, M., Galewski, T., Galli, A., Georgiadis, N.M., Green, A.J., Hermoso, V., Kapedani, R., Lange, M.A. et al. (2021). The future for Mediterranean wetlands: 50 key issues and 50 important conservation research questions. *Regional Environmental Change*, 21, 33. https://doi.org/10.1007/s10113-020-01743-1

Tutova, H., Lisovets, O., Kunakh, O., & Zhukov, O. (2025). Phytoindication is a useful tool for assessing the response of plant communities to environmental factors. *Diversity, 17*(10), 738. https://doi.org/10.3390/d17100738

Zacharias, I., Dimitriou, E., Dekker, A., & Dorsman, E. (2007). Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: threats, management and conservation issues. *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 1–9.

Calibración polínica del abeto (*Abies alba*) como herramienta para reconstruir su distribución holocena

Sánchez-Morales, Marc[1], Pérez-Obiol, Ramon[2], Badía Perpinyà, Anna[1], Nadal Tersa, Jordi[1], Soriano López, Joan Manuel[1] y Pèlachs Mañosa, Albert[1]

[1] Universitat Autònoma de Barcelona, Carrer de Fortuna s/n, 08193, Cerdanyola del Vallès, España. Departamento de Geografía. Grup de Recerca en Àrees de Muntanya i Paisatge.
[2] Universitat Autònoma de Barcelona, Carrer de Fortuna s/n, 08193, Cerdanyola del Vallès, España. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Grup de Recerca en Àrees de Muntanya i Paisatge
marc.sanchez.morales@uab.cat

Resumen. El abeto (*Abies alba* Mill.) es una especie forestal clave en Europa, cuya distribución ha experimentado variaciones significativas a lo largo del Holoceno. Sin embargo, la baja productividad y la limitada capacidad de dispersión polínica dificultan la interpretación de los registros fósiles y la reconstrucción de su distribución pasada. El objetivo de este estudio es calibrar la relación entre la representación polínica de *Abies alba* y la vegetación actual, con el fin de mejorar la interpretación paleoecológica de los registros holocenos. Se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de la lluvia polínica moderna en los Pirineos centrales y se integran estos resultados con registros polínicos publicados del noreste de la Península Ibérica. En los Pirineos se analizaron 21 muestras a lo largo de un transecto altitudinal entre 1.464 y 2.752 m s.n.m. que incluye bosques mixtos caducifolios, abetales monoespecíficos, bosques mixtos de abeto y pinos, pinares y prados alpinos. La relación entre los porcentajes polínicos de *Abies* y la cobertura vegetal real se evaluó mediante cartografía de Hábitats de Interés Comunitario de Cataluña (2018) a distintas escalas espaciales (100 m, 1 km y 5 km). Los resultados muestran una elevada variabilidad en la representación del polen de *Abies*, con valores máximos en los abetales puros (31–52 %) y una clara subrepresentación en bosques mixtos de abetos y pinos (3-11 %). Los porcentajes elevados de polen de abeto se asocian exclusivamente a la presencia de masas forestales en el entorno inmediato (100 m), mientras que a escalas espaciales mayores su representación disminuye de forma acusada. No obstante, las muestras alpinas registraron entre el 0,8 y el 4,4 % de polen de abeto, a pesar de la ausencia de individuos en estas cotas. En conjunto, estos resultados respaldan la hipótesis de un nicho ecológico de *Abies alba* más amplio durante el Holoceno, que incluiría áreas actualmente desprovistas de abetales, como las tierras bajas mediterráneas, contribuyendo a una mejor comprensión de su distribución histórica.

Palabras clave: *Abies alba*, calibración polínica, Holoceno, Pirineos.

Resumo. O abeto-branco (*Abies alba* Mill.) é uma espécie florestal chave na Europa, cuja distribuição apresentou variações significativas ao longo do Holoceno. No entanto, a baixa produtividade e a limitada capacidade de dispersão polínica dificultam a interpretação dos registos fósseis e a reconstrução da sua distribuição passada. O objetivo deste estudo é calibrar a relação entre a representação polínica de *Abies alba* e a vegetação atual, com o intuito de melhorar a interpretação paleoecológica dos registos holocénicos. Apresentam-se os resultados obtidos a partir da análise da chuva polínica moderna nos Pirenéus centrais e estes resultados são integrados com registos polínicos publicados do nordeste da Península Ibérica. Nos Pirenéus foram analisadas 21 amostras ao longo de um transecto altitudinal entre 1.464 e 2.752 m de altitude, que inclui florestas caducifólias mistas, abetais monoespecíficos, florestas mistas de abeto e pinheiros, pinhais e prados alpinos. A relação entre as percentagens polínicas de *Abies* e a cobertura vegetal real foi avaliada através da cartografia dos Hábitats de Interesse Comunitário da Catalunha (2018), a diferentes escalas espaciais (100 m, 1 km e 5 km). Os resultados revelam uma elevada variabilidade na representação do pólen de *Abies*, com valores máximos nos abetais puros (31–52 %) e uma clara sub-representação nas florestas mistas de abeto e pinheiro (3–11 %). As percentagens elevadas de pólen de abeto estão exclusivamente associadas à presença de massas florestais no entorno imediato (100 m), enquanto a escalas espaciais mais amplas a sua representação diminui de forma marcada. No entanto, as amostras alpinas registaram entre 0,8 e 4,4 % de pólen de abeto, apesar da ausência de indivíduos nessas cotas. Em conjunto, estes resultados sustentam a hipótese de um nicho ecológico de *Abies alba* mais amplo durante o Holoceno, que incluiria áreas atualmente desprovidas de abetais, como as terras baixas mediterrânicas, contribuindo para uma melhor compreensão da sua distribuição histórica.

Palavras-chave: *Abies alba,* calibração polínica, Holoceno, Pirenéus.

Abstract. Silver fir (*Abies alba* Mill.) is a key forest species in Europe whose distribution has undergone significant changes throughout the Holocene. However, its low pollen productivity and limited dispersal capacity hinder the interpretation of fossil records and the reconstruction of its past distribution. The aim of this study is to calibrate the relationship between *Abies alba* pollen representation and present-day vegetation in order to improve the paleoecological

interpretation of Holocene records. We present results derived from the analysis of modern pollen rain in the central Pyrenees, and integrate these findings with published pollen records from the northeastern part of the Iberian Peninsula. In the Pyrenees, 21 samples were analysed along an altitudinal transect ranging from 1,464 to 2,752 m a.s.l., encompassing mixed deciduous forests, monospecific fir forests, mixed fir–pine forests, pine forests and alpine meadows. The relationship between *Abies* pollen percentages and actual vegetation cover was assessed using the Habitat Mapping of Community Interest of Catalonia (2018) at different spatial scales (100 m, 1 km and 5 km). The results show high variability in *Abies* pollen representation, with maximum values in pure fir stands (31–52 %) and a clear under-representation in mixed fir–pine forests (3–11 %). High fir pollen percentages are exclusively associated with the presence of forest stands in the immediate surroundings (100 m), whereas at broader spatial scales its representation decreases markedly. Nevertheless, alpine samples recorded between 0.8 and 4.4 % of fir pollen, despite the absence of trees at these elevations. Overall, these results support the hypothesis of a broader ecological niche for *Abies alba* during the Holocene, which would have included areas currently devoid of fir forests, such as Mediterranean lowlands, thereby contributing to a better understanding of its historical distribution.

Keywords: *Abies alba,* pollen calibration, Holocene, Pyrenees.

1 Introducción

La calibración de la señal polínica a partir de la vegetación actual es esencial para mejorar la interpretación de los registros palinológicos fósiles. La representación del polen en los sedimentos no refleja directamente la cobertura vegetal, ya que está condicionada por diferencias interespecíficas en la producción, dispersión y deposición del polen (Jackson y Lyford, 1999; Liu et al., 2022).

Abies alba Mill. es una especie forestal clave en los ecosistemas de montaña europeos y un reconocido bioindicador climático. Los registros paleoecológicos indican que su distribución ha experimentado importantes fluctuaciones a lo largo del Holoceno, incluyendo fases de expansión en áreas actualmente desprovistas de abetales, como las tierras bajas o sectores con mayor influencia mediterránea (Pérez-Obiol y Julià, 1994). Sin embargo, la baja productividad y la limitada capacidad de dispersión de su polen (p. ej., Liu et al., 2022) pueden provocar una subrepresentación en los espectros polínicos, dificultando la reconstrucción de su distribución pasada.

En este trabajo se presenta una calibración de la señal polínica de *Abies alba* basada en el análisis de la lluvia polínica moderna en el Pirineo central, utilizando un enfoque multiescalar que integra datos palinológicos y cartografía de cubiertas vegetales. El objetivo es mejorar la interpretación paleoecológica de los registros polínicos holocenos a partir de una mejor comprensión de la relación entre la vegetación actual y su representación polínica. El estudio se enmarca en una línea de investigación futura que contempla otras áreas de distribución de la especie, incluyendo el macizo del Montseny, situado en el límite meridional de la especie en la Península Ibérica y bajo una mayor influencia mediterránea.

Este enfoque contribuye a una reinterpretación más precisa de la dinámica holocena del abeto en contextos de alta montaña, aportando una base sólida para la reconstrucción de su historia biogeográfica.

2 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en los Pirineos centrales, concretamente en el valle de Cabanes, Pallars Sobirà (Fig. 1). Este se sitúa en el área periférica del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici y se caracteriza por un marcado gradiente altitudinal y una zonación vegetal bien definida. En total, se analizaron 21 muestras de musgo distribuidas a lo largo de un transecto altitudinal comprendido entre 1.464 y 2.752 m s.n.m. El muestreo abarcó un amplio gradiente de formaciones vegetales, incluyendo bosques mixtos caducifolios dominados por el avellano (*Corylus avellana*), extensos abetales dominados por *Abies alba*, bosques mixtos de abeto y pinos (*Pinus sylvestris* y *Pinus mugo* subsp. *uncinata*), pinares monoespecíficos y prados alpinos carentes de cobertura arbórea.

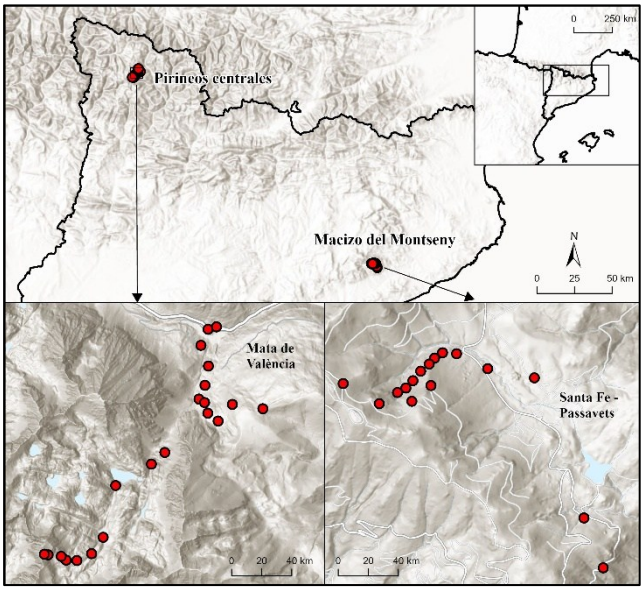


Fig. 1. Área de estudio y localización de los puntos de muestreo en los Pirineos centrales. También se muestran los puntos del Montseny actualmente en fase de análisis. Los puntos rojos corresponden a los musgos seleccionados para el análisis polínico.

Las muestras se procesaron siguiendo métodos palinológicos estándar (Bennett y Willis, 2001) y se contaron al menos 300 granos de polen de plantas terrestres por muestra.

La estimación de la cobertura vegetal se realizó a partir de la Cartografía de Hábitats de Interés Comunitario de Cataluña (2018), evaluando la relación entre los porcentajes polínicos de *Abies* y *Pinus* y la cobertura vegetal estimada a distintas escalas espaciales (100 m, 1 km y 5 km).

En una futura fase del estudio, se analizarán 16 muestras del macizo del Montseny (Fig. 1), distribuidas a lo largo de un gradiente altitudinal (1.050–1.650 m s.n.m.), que incluye, desde las cotas inferiores a las superiores, un encinar de montaña (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), un hayedo monoespecífico (*Fagus sylvatica*), un abetal (*Abies alba*) y prados de montaña de carácter mediterráneo.

3 Resultados

3.1 Variabilidad de la señal polínica según el tipo de cubierta vegetal

En los Pirineos, la representación del polen de *Abies alba* mostró una elevada variabilidad según el tipo de cobertura vegetal. En los bosques mixtos caducifolios del fondo del valle, situados en la vertiente opuesta del abetal analizado, el polen de abeto alcanzó valores bajos (1–8 %), mientras que en el abetal se registraron los valores más elevados (31–52 %). En los bosques mixtos de abeto y pino, la representación del abeto disminuyó notablemente (3–11 %), y en los pinares monoespecíficos descendió hasta valores residuales.

En la zona alpina, situada por encima del límite altitudinal actual del abeto, el polen de *Abies* estuvo presente en todas las muestras, con porcentajes entre el 0,8 y el 4,4 %, a pesar de la ausencia de individuos arbóreos. En contraste, el polen de *Pinus* presentó valores consistentemente más elevados en la mayoría de contextos, lo que refleja su mayor capacidad de dispersión y su fuerte señal regional.

3.2 Relación entre la señal polínica y la cobertura vegetal a distintas escalas espaciales

La comparación entre el porcentaje de polen de *Abies* y su cobertura estimada mostró una relación más lineal a escala local, tanto a 100 m ($R^2 = 0,6$) como a 1 km ($R^2 = 0,49$), mientras que esta relación se debilitó a escala regional (5 km; $R^2 = 0,002$). El polen de abeto solo destacó cuando las masas forestales estaban presentes localmente, y aun así su representación pudo verse reducida por la presencia de otros taxones dominantes como el pino. En contraste, los porcentajes de polen de *Pinus* fueron sistemáticamente mucho más elevados que su cobertura estimada, tanto a escala local (100 m) como regional (1 y 5 km), un patrón consistente con otros registros de polen moderno en áreas de montaña media. En conjunto, estos resultados confirman la clara subrepresentación del polen de abeto frente al de pino.

4 Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la señal polínica de *Abies alba* está fuertemente condicionada por su limitada producción y capacidad de dispersión, lo que implica una subrepresentación sistemática del taxón en la mayoría de contextos ambientales analizados. Incluso en situaciones de proximidad a grandes masas forestales de abeto, como los bosques mixtos, los porcentajes polínicos de *Abies* son claramente inferiores a los de otros taxones arbóreos con mayor capacidad de dispersión, especialmente *Pinus*.

Por otra parte, la presencia regular de polen de *Abies* en la zona alpina, por encima del límite altitudinal actual de la especie, pone de manifiesto una dispersión regional limitada pero persistente. Este fenómeno adquiere especial relevancia en contextos de fuerte gradiente altitudinal, donde la señal polínica puede integrar aportes procedentes de áreas situadas a cotas inferiores. En consecuencia, la detección de porcentajes reducidos de polen de abeto en registros de alta montaña no debe interpretarse automáticamente como evidencia de ausencia local, sino como un indicador potencial de formaciones próximas.

Desde una perspectiva paleoecológica, la calibración de la señal polínica moderna proporciona una base sólida para reinterpretar los registros holocenos de *Abies alba*. Los elevados porcentajes documentados en diversos registros de baja y media altitud durante el Holoceno medio, en combinación con los resultados de este estudio, sugieren la existencia de abetales más extensos que los actuales, incluso en áreas con mayor influencia mediterránea y en laderas de orientación meridional hoy desprovistas de esta especie. Por ejemplo, el polen de *Abies* supera el 35% en el lago de Banyoles (172 m s.n.m.) alrededor de 6.000 años cal BP (Pérez-Obiol y Julià, 1994), lo que sugiere la presencia de abetales monoespecíficos y maduros. En registros próximos del noreste de la Península Ibérica se documentan también porcentajes cercanos al 10% en Riudaura (470 m; Pérez-Obiol, 1987) y Les Palanques (465 m; Piqué et al., 2018), compatibles con bosques con una presencia significativa de abeto. Dinámicas similares se han identificado en las tierras bajas del Pirineo francés, como en la turbera de Pélissié (312 m), donde el polen de *Abies* supera el 50% alrededor de 4.500 años cal BP y disminuye posteriormente hasta desaparecer durante el Holoceno tardío (Cunill et al., 2015). A pesar de que esta región presenta una precipitación más elevada que la fachada mediterránea, constituye un ejemplo ilustrativo de la existencia de extensos abetales a bajas altitudes actualmente desprovistas de esta especie. Finalmente, también se han identificado niveles significativos de polen de abeto en regiones subalpinas de orientación sur de los Pirineos donde actualmente no existen abetales o únicamente persisten individuos aislados. Por ejemplo, en el Estany de Burg (1.821 m), el polen de *Abies* alcanza valores cercanos al 30% entre ca. 5.000 y 4.000 años cal BP (Pèlachs et al., 2017). Este patrón apunta hacia un nicho ecológico holocénico más

amplio para el abeto, condicionado tanto por factores climáticos como por la incidencia antrópica posterior.

En conjunto, estos y otros registros polínicos europeos de zonas litorales y/o con exposición sur respaldan la hipótesis de que durante el Holoceno medio los abetales ocuparon áreas situadas fuera de su nicho ecológico actual. Esta distribución sugiere que el nicho climático del abeto fue considerablemente más amplio de lo que se asumía previamente, pudiendo haber incluido regiones de carácter submediterráneo. En este marco, el análisis en curso de la lluvia polínica moderna en el macizo del Montseny permitirá evaluar cómo se modula la señal polínica del abeto bajo una mayor influencia mediterránea y con otras especies acompañantes, como el *Fagus sylvatica*.

5 Conclusiones

La calibración de la lluvia polínica moderna evidencia que *Abies alba* es un taxón polínicamente subrepresentado fuera de los abetales monoespecíficos, debido a su baja producción y limitada capacidad de dispersión en comparación con otros taxones arbóreos como *Pinus*. No obstante, la detección sistemática de polen de abeto en ambientes sin presencia arbórea directa, como la zona alpina, indica una dispersión regional limitada pero persistente.

Desde una perspectiva paleoecológica, estos resultados respaldan la hipótesis de un nicho ecológico más amplio para *Abies alba* durante el Holoceno, incluyendo áreas actualmente desprovistas de abetales, como tierras bajas mediterráneas y laderas de orientación meridional.

6 Referencias

Bennett, K.D., & Willis, K.J. (2001). Pollen. En: Smol, J.P., Birks, H.J.B., & Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Vol. 3: Terrestrial, Algal, and Silaceous Indicators.* (pp. 32-55) Kluwer Academic Publishers.

Cunill, R., Métailié, J.P., Galop, D., Poublanc, S., & De Munnik, N. (2015). Palaeoecological study of Pyrenean lowland fir forests: Exploring mid–late Holocene history of *Abies alba* in Montbrun (Ariège, France). *Quaternary International*, 366, 37-50. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.050.

Jackson, S.T., & Lyford, M.E. (1999). Pollen dispersal models in quaternary plant ecology: assumptions, parameters, and prescriptions. *Bot Rev,* 65:39–75. https://doi.org/10.1007/BF02856557

Liu, Y., Ogle, K., Lichstein, J.W., & Jackson, S.T. (2022). Estimation of pollen productivity and dispersal: How pollen assemblages in small lakes represent vegetation. *Ecological Monographs*, 92(3), e1513. https://doi.org/10.1002/ecm.1513.

Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Cunill, R., Bal, M.C., & García-Codron, J.C. (2017). The role of environmental geohistory in high-mountain landscape conservation. En: Beniston, M. (Editor-in-Chief*). High mountain conservation in a changing world*. (pp. 107-129).

Pérez-Obiol, R. (1987). Evolució del paisatge vegetal quaternari a les zones d'Olot i Sils. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

Pérez-Obiol, R., & Julià, R. (1994). Climatic change on the Iberian Peninsula recorded in a 30,000-yr pollen record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, 41(1), 91-98. https://doi.org/10.1006/qres.1994.1010.

Piqué, R., Revelles, J., Burjachs, F., Caruso-Fermé, L., & Pérez-Obiol, R. (2018). Interdisciplinary approach to the landscape and firewood exploitation during the Holocene at La Garrotxa (Girona, NE Iberia). *Quaternary International*, 463, 401-413. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.11.025.

7 Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido a través de los proyectos del MICINN: “Calibración de indicadores de influencia humana y climática para la (re)interpretación de la expansión postglacial y de las dinámicas de los bosques en los últimos 18.000 años (CALIB) (PID2019-108282GB-I00)” y; “Los fuegos holocenos en la configuración de los espacios abiertos de la montaña del Norte peninsular. Herramientas para la gestión de los incendios en áreas protegidas (CALIB-FIRE) (PID2023-151124NB-I00)” y; la Generalitat de Catalunya, Grupo en Geografia Aplicada (2021SGR 00522); cuyo respaldo ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo.

La Capacidad de Retención como método de aproximación al estudio del cambio climático

Fidalgo, Concepción[1], Cañada, Rosa[1] y Corral, Mario[1]

[1] Departamento de Geografía/grupo de investigación Geohumedal/Universidad autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049, Madrid, España
concepcion.fidalgo@uam.es

Resumen. Este trabajo analiza la Capacidad de Retención (CR) bajo diferentes hipótesis, con especial atención a la Capacidad de Retención Total (CRT). Con este parámetro se evidencian las máximas posibilidades que el clima ofrece para la actividad vegetal ya que todas ellas pueden ser aprovechadas dado que el suelo no ofrece ninguna limitación a una retención de las disponibilidades hídricas. Asi, este parámetro, permite analizar la respuesta del sistema ante cambios climáticos en distintos periodos. En conjunto, la CRT indica la dificultad de alcanzar la clímax climácica en cada estación.

Palabras clave: diagramas bioclimáticos, capacidad de retención, vegetación potencial, edafoclímax, evolución climática.

Resumo. Este trabalho analisa a Capacidade de Retenção (CR) sob diferentes hipóteses, com especial atenção à Capacidade de Retenção Total (CRT). Este parâmetro permite estimar as máximas disponibilidades hídricas que o clima pode fornecer ao sistema, sem limitações edáficas, refletindo o potencial climático para o desenvolvimento da vegetação. A CRT constitui um indicador útil para avaliar a evolução climática e o desenvolvimento potencial da vegetação em relação a um edafoclímax teórico. Também permite analisar a resposta do sistema às mudanças climáticas em diferentes períodos. Em conjunto, a CRT indica a dificuldade de alcançar o clímax climático em cada estação.

Palavras-chave: diagramas bioclimáticos, capacidade de retenção, vegetação potencial, edafoclímax, evolução climática.

Abstract. This study analyzes Water Retention Capacity (WRC) under different hypotheses, with particular focus on Total Water Retention Capacity (TWRC). This parameter estimates the maximum water availability that climate can provide to the system, assuming no soil limitations, and reflects climatic potential for vegetation development. TWRC is a useful indicator to assess climatic evolution and potential vegetation in relation to a theoretical edaphoclimax. It also allows evaluation of system responses to climatic changes across different periods. Overall, TWRC provides an estimate of the difficulty of reaching climatic climax conditions at each station.

Keywords: bioclimatic diagrams, water retention capacity, potential vegetation, edaphoclimax, climatic evolution.

1 Introducción

Los Diagramas Bioclimáticos (Montero de Burgos y González Rebollar,1974) constituyen un modelo en el que se integran distintas variables fitoclimáticas: el clima (precipitación, temperatura y evapotranspiración media mensual); el suelo (mediante el cálculo de la Capacidad de Retención hídrica o CR, en función de su textura, profundidad, composición, etc., el elemento edáfico puede retener cantidades variables de agua) y el relieve (tomando en consideración la escorrentía superficial generada por la pendiente o W) (Fidalgo y Cámara, 2022). Esta aportación, aplicada a las distintas estaciones de la provincia de Cuenca (Cañada *et al.*, 2026), pone el acento en la CR como aproximación a la respuesta del suelo ante la variabilidad climática en dos momentos temporales diferentes, uno histórico 1971-2000 y otro, un escenario, RCP4.5 medio 2041-2070 (Rodríguez y Gutiérrez, 2018). Para ello se han contemplado distintas situaciones espaciales: suelos con mayor o menor capacidad de retención hídrica y topografías llanas o con pendiente. Especial atención se presta a la CRT o capacidad de retención total (CR=1000 mm) como máxima expresión del aprovechamiento de los recursos climáticos en un suelo hipotéticamente capaz de retener todos los aportes hídricos disponibles.

Se pretende valorar la utilidad de la Capacidad de Retención, y especialmente de la CRT, para interpretar los cambios fitoclimáticos entre los dos periodos seleccionados.

2 Materiales y métodos

Se han establecido 5 hipótesis diferentes con una capacidad de retención (CR) de 0, 100, 150 y 1000 mm y pendientes

(W) con un valor de 0 y 15%. La combinación de estos dos parámetros arroja la consideración de 5 supuestos: (1) consideración de los datos climáticos sin ningún tipo de modificación ni por el suelo ni por la pendiente (CR=0, W=0); (2) y (3) para conseguir un acercamiento a aquellas estaciones que arrojan unos valores de CR alcanzables: una capacidad de retención de 100 mm y de 150 mm ambas combinadas con valores de W=0 (es decir en llano); (4) a fin de inferir la incidencia de la pendiente se ha calculado un supuesto con una topografía del 15% y lógicamente con una CR de 0 mm; finalmente (5) el correspondiente a la CRT es decir máxima capacidad de retención (CR=1000 mm) lógicamente en el supuesto de una pendiente del 0%.

Las modificaciones que arroja la consideración de los datos en cada uno de los períodos establecidos aportan información sobre el comportamiento del suelo ante los cambios en los patrones de precipitación y temperatura.

Debe tenerse en cuenta que:

- valores bajos de CR (situaciones en donde el suelo se satura), indicativo de poca variabilidad climática. Se entiende que "se satura" cuando no es capaz de absorber mayores aportes hídricos de modo que ante una mayor disponibilidad hídrica la CR no cambia.
- valores de CR <150 mm, muestran una mayor variedad de situaciones fitoclimáticas y por ende mayores posibilidades diferentes, cara al desarrollo de series vegetales;
- valores altos o muy altos de CR (>150 mm) indican dificultades a la hora de alcanzar la vegetación potencial; se necesitaría un suelo con una altísima CR (situación difícil de lograr) para poder aprovechar todas las posibilidades que el clima ofrece y, por lo tanto, alcanzar la supuesta vegetación clímax.
- valores de CRT (capacidad de retención total, CR=1000 mm), el diagrama bioclimático permanece invariable haya o no más aportes hídricos y arroja unos datos de capacidad de retención inalcanzable.

3 Resultados

El análisis comparado de los dos momentos temporales revela una notable consistencia espacial en la respuesta de las estaciones, si bien la magnitud de los cambios varía entre supuestos.

Supuesto 1 (CR=0/W=0). Considerando solo los datos climáticos sin ningún tipo de modificación establecida por la pendiente (situación de llano W=0%) ni por el suelo (suelo con una CR de 0 mm) todas las estaciones consideradas arrojan valores muy bajos de CR (Fig. 1) lo cual es indicativo de saturación entendida como aquella situación donde a pesar de que haya aportes hídricos el suelo no puede aprovecharlos dada su escasa capacidad de retención.

Si se establece la comparación entre los dos escenarios temporales: la mayoría de las estaciones, en el periodo histórico ofrecen una muy baja CR (valores medios de 50 mm, y solo Tragacete presenta una CR mayor de 100 mm); en el escenario 2041-2070 se produce una reducción sustancial (excepción las estaciones de Cuenca -de 48,6 a 54,5 mm- similar al de la estación de Arrancacepas o Villalba de la Sierra con un crecimiento algo mayor de 55,4 a 72,7).



Fig. 1. Variaciones del supuesto CR=0/ W=0, (1971-2000 - 2041-2070). Elaboración propia.

Supuesto 2 (100/0) y 3 (150/0). Dada la extensión de la comunicación han sido considerados conjuntamente, no obstante, puede estimarse que la existencia de suelos con capacidad de retención notable equivale a la consideración de un valor de CR=100 mm (González de Alaiza, 1983, p.3).

En ambos supuestos los valores alcanzados por la CR permiten una mayor variabilidad de situaciones fitoclimáticas y por ende posibilidades diferentes, cara al desarrollo de series de vegetación, situación que se puede considerar como óptima. Obviamente la situación es aún más evidente si aumentamos la CR a valores de 150 mm, siendo numerosas las estaciones que superan los 150 mm de CR en ambos momentos temporales contemplados. No obstante estaciones como Tragacete Uña, Cañizares o Poyatos, entre otras, presentan valores muy por encima de los 150 mm, denotando una notable dificultad en el aprovechamiento por parte de unos suelos cuyo desarrollo es de gran dificultad (Fig. 2).

Si se comparan los dos momentos temporales abordados, la situación del escenario medio arroja valores inferiores de CR respecto al histórico, pero lejos de permitir una situación de CR < 100/150 mm. Solo en las estaciones que se han indicado antes: Villalba de la Sierra, Cuenca, Arrancacepas, Poveda de la Obispalía, Abia de la Obispalía y Moncalvillo a las que se suma Cañizares las condiciones en el escenario medio superan al periodo histórico.

Supuesto 4 (0/15). La introducción de la consideración de un valor de pendiente del 15% impone una reducción de la entrada de disponibilidades hídricas en el sistema debido a la escorrentía superficial. Ello origina que todas las estaciones muestren valores de CR inferiores a 100 mm, solo Tragacete arroja valores de 105,7 mm en el periodo histórico, pero disminuye a 70,7 en el medio (Fig. 3). Incluso los

valores de CR son menores que en el supuesto 1, cuando no se estimaban más que los datos climáticos puros sin modificación, lo cual es lógico ya que aquí dichos datos son rebajados como consecuencia de la escorrentía que impone la pendiente: la CR es muy baja CR (valores medios inferiores incluso a 50 mm) y se percibe una reducción sustancial en el escenario 2041-2070 prácticamente en todas las estaciones.

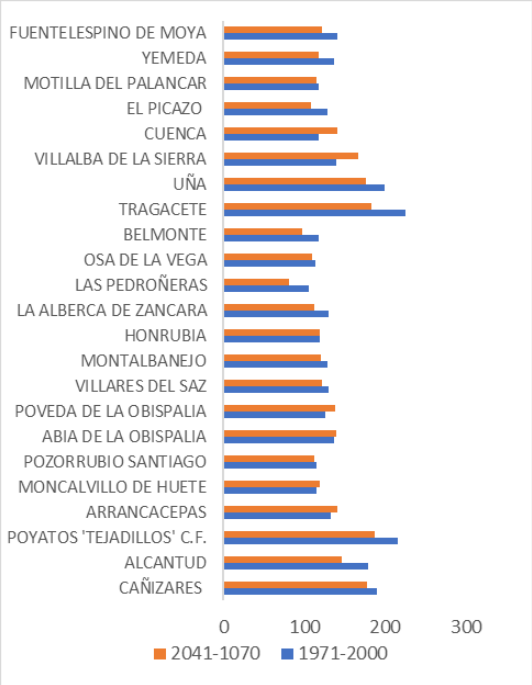


Fig. 2. Variaciones del supuesto CR=100/ W=0, (1971-2000 - 2041-2070). Elaboración propia.

Supuesto 5 (1000/0). Cálculo de la CR total o CRT. Se contempla una hipótesis donde no hay límite alguno para el aprovechamiento de las disponibilidades hídricas dado que se parte de una situación de llano (W=0 %) y una CR totalmente ilimitada, lo que supone la existencia de un suelo con una capacidad de retención muy alta (inalcanzable) para que sea capaz de retener todas las aportaciones que las precipitaciones introducen. Ahora el comportamiento de las distintas estaciones es similar al de los supuestos 2 y 3 (Fig. 4).

Los valores de CR en todas las estaciones están por encima de 100 mm, pero hay que señalar los 1083,5 que alcanza Tragacete en el escenario histórico (con una reducción a 343,8 en el medio) o Poyatos pasando también de valores muy altos (895,3) a una reducción a 361,8 en el escenario medio. Aun siendo unas disminuciones muy considerables ambas estaciones se sitúan muy por encima de valores factibles como los de 100 o 150 mm de CR.

4 Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una alta coherencia espacial en las diferencias de la CR tanto entre supuestos como en ambos periodos temporales. Las estaciones situadas en la Serranía de Cuenca, como Tragacete, Poyatos, Alcantud o Uña, muestran de forma sistemática las mayores variaciones, lo que sugiere una clara influencia de factores topográficos. Las estaciones con cambios más moderados o ligeramente positivos se mantienen también estables y están situadas en sectores de menor altitud (p. ej., Villalba de la Sierra, Cuenca y Arrancacepas).

Este comportamiento sugiere la existencia de un control topográfico significativo en la respuesta climática regional, así como una mayor sensibilidad de los ambientes de montaña a los escenarios climáticos futuros, como también ha quedado reflejada en el Sistema Central (Cañada et al., 2010) y de modo general en las zonas montañosas mediterráneas (IPCC, 2023).

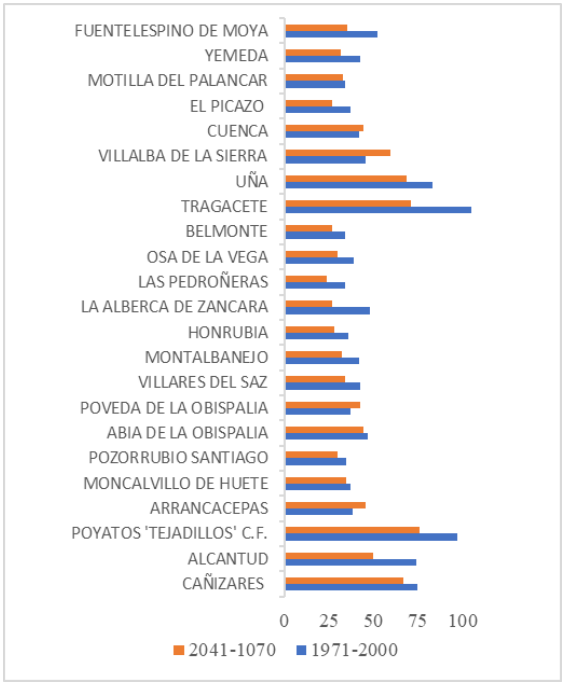


Fig. 3. Variaciones del supuesto CR=0/ W=15, (1971-2000 - 2041-2070). Elaboración propia.

Aunque el patrón espacial se mantiene estable, la magnitud de los cambios presenta una elevada variabilidad entre supuestos, lo que pone de manifiesto la sensibilidad de los resultados a las características del entorno considerado.

En conjunto en el escenario futuro (2041-2070), los valores tienden a ser inferiores a los registrados en el periodo de referencia 1971-2000, resultando un predominio de valores negativos (Fig. 5). No obstante, la intensidad del cambio varía notablemente entre estaciones y supuestos.

5 Conclusiones

Se observa una coherencia espacial en los cambios proyectados, con una concentración de las mayores magnitudes en las estaciones de la Serranía de Cuenca, especialmente

Tragacete y Poyatos, donde además se produce una gran amplitud del rango de variación entre periodos.

Por el contrario, las estaciones situadas en zonas de menor altitud muestran mayor estabilidad relativa, lo que indica una fuerte influencia de la altitud y de los factores topográficos. Si se considera que el supuesto óptimo es el que presenta una CR=100 mm se percibe como todas las estaciones (a excepción de Las Pedroñeras o Belmonte en el escenario medio) superan este valor dificultando el desarrollo de las comunidades vegetales.

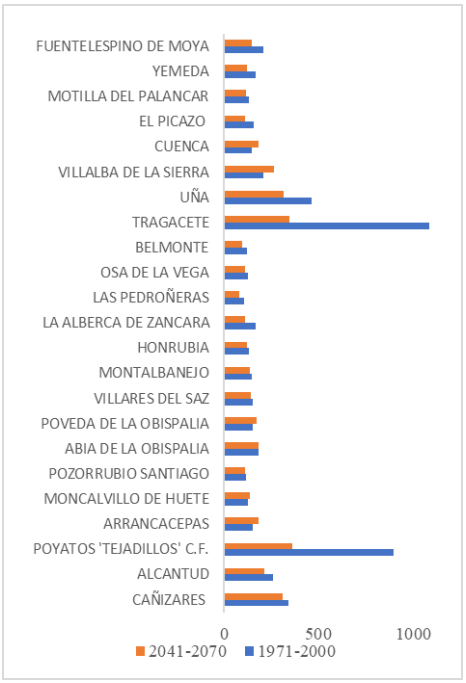


Fig. 4. Variaciones del supuesto CR=1000/W=0 - CRT, (1971-2000 - 2041-2070). Elaboración propia.

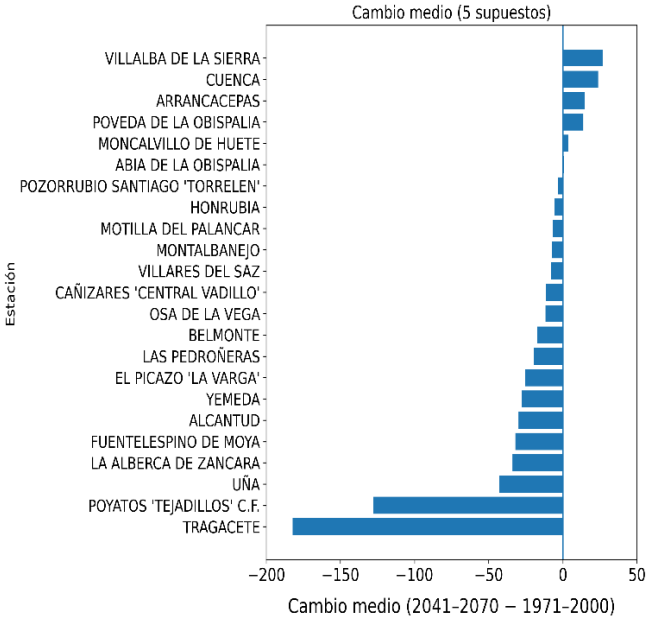


Fig. 5. Cambio medio de los cinco supuestos. Elaboración propia.

Solo en el supuesto de 0/0 aparecen valores < 100 y siempre con una clara disminución en el escenario medio con una disponibilidad hídrica inferior al del histórico.

La CRT ofrece valores tremendamente extremos, prácticamente todas las estaciones se saturan con valores muy próximos a 150 mm lo que indica dificultades en alcanzar la vegetación potencial, ya que se precisaría un suelo con una altísima CR (situación difícil de lograr) para poder aprovechar las posibilidades que el clima ofrece.

La CR a medida que se acerca a valores factibles (en torno generalmente a 100 mm) permite un adecuado aprovechamiento de las aportaciones hídricas. El supuesto de CR=100/150 mm en llano posibilita una mayor variabilidad de situaciones fitoclimáticas y por ende mayores posibilidades diferentes, cara al desarrollo de series de vegetación. En aquellos casos en donde las disponibilidades son menores (reducción de las precipitaciones e incremento de la ETP) como en el escenario medio no es necesaria una elevada CR para conseguir un aprovechamiento óptimo y alcanzar el potencial fitoclimático. Bien es cierto que menores disponibilidades hídricas no favorecen a todo tipo de comunidades vegetales.

En este sentido la CR se manifiesta como indicador sintético de la relación entre cambio climático, disponibilidad hídrica y potencial fitoclimático.

6. Referencias

Cañada Torrecilla, R., Galán Gallego, E. y Fernández García, F. (2010). Situación actual y previsiones futuras de las disponibilidades hídricas de la Comunidad de Madrid y áreas circundantes. En F. Fernández, E. Galán y R. Cañada (Eds.), *Clima, Ciudad y Ecosistemas* (pp. 753-880). Publicaciones de la AEC, Serie A. VII Congreso AEC - AECLIM

Cañada Torrecilla, R., Fidalgo Hijano, C. y Ruíz Picazo, L. (2026). Estudio evolutivo del fitoclima en la provincia de Cuenca. En C. Diaz, P. Lozano, E. Beltran y J. Dóniz (Eds.), *Miradas al Paisaje desde la Geografía Física.* AGE- Grupo Geografía Física (en prensa).

Fidalgo Hijano, C. y Cámara Artigas, R (2022). Metodología fitoclimática. Los diagramas bioclimáticos de Montero de Burgos y González Rebollar, Cuadernos de Técnicas y Métodos en Geografía Física. Biogeografía. A.G.E. Edición digital, 96 pp.

González de Alaiza García, J. J. (1983). Los diagramas Bioclimáticos. Maina, vol. 7, pp. 2-4.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change 2023*. Synthesis Report, 42 pp. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/

Montero de Burgos, J.L. y González Rebollar, J. L. (1974). *Diagramas Bioclimáticos*. ICONA, 379 pp.

Rodríguez, E. y Gutiérrez, J.M. (Coord.) (2018). *Escenarios-PNACC 2017: Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*. Escenarios PNACC_2017_v1.docx.

Índice Temporal de Dominância Antrópica–Natural (T-ANDI): trajetórias polarizadas de uso e cobertura da terra em municípios costeiros brasileiros (1985–2024)

Pedrassoli, Julio[1], Pérez Machado, Reinaldo Paul[1] y Gomes, Joice Genaro[2]

[1] Departamento de Geografia/Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 338, São Paulo Brasil
[2] INCT Combate a Fome/Universidade de São Paulo, Av. Dr. Arnaldo, 715, São Paulo, Brasil
rpmgis@usp.br

Resumo. As regiões costeiras concentram transformações persistentes de uso e cobertura da terra (LULC), impulsionadas pela urbanização, turismo e desenvolvimento de infraestrutura. No Brasil, os municípios costeiros apresentam contextos socioambientais heterogêneos, variando de grandes áreas metropolitanas a ecossistemas dominados por manguezais e áreas úmidas. Este estudo propõe o Índice Temporal de Dominância Antrópica–Natural (T-ANDI), uma métrica sintética que quantifica a dominância relativa entre variações antrópicas e naturais ao longo do tempo. O índice combina uma componente direcional baseada nas variações de cada grupo e um peso proporcional à ocupação antrópica inicial do município, produzindo valores entre -1 e +1. A análise utiliza os mapas anuais do MapBiomas Coleção 10 (1985–2024) para 279 municípios costeiros definidos pelo IBGE. Os resultados revelam um padrão fortemente polarizado, com predominância da dominância antrópica ao longo do litoral, especialmente no Nordeste e Sudeste. Na costa amazônica, valores próximos de zero refletem a reduzida relevância territorial da ocupação antrópica inicial. Valores negativos ocorrem principalmente em municípios com proteção ambiental ou recuperação de coberturas naturais. O T-ANDI demonstra potencial como ferramenta sintética para análise comparativa das dinâmicas costeiras.

Palavras-chave: uso e cobertura da terra; zonas costeiras; MapBiomas; análise temporal; urbanização.

Resumen. Las regiones costeras concentran transformaciones persistentes de uso y cobertura de la tierra (LULC), impulsadas por la urbanización, el turismo y el desarrollo de infraestructuras. En Brasil, los municipios costeros presentan contextos socioambientales heterogéneos, desde grandes áreas metropolitanas hasta ecosistemas dominados por manglares y humedales. Este estudio propone el Índice Temporal de Dominancia Antrópica–Natural (T-ANDI), una métrica sintética que cuantifica la dominancia relativa entre variaciones antrópicas y naturales a lo largo del tiempo. El índice combina una componente direccional basada en las variaciones de cada grupo y un peso proporcional a la ocupación antrópica inicial del municipio, generando valores entre -1 y +1. El análisis utiliza los mapas anuales de MapBiomas Colección 10 (1985–2024) para 279 municipios costeros definidos por el IBGE. Los resultados muestran un patrón fuertemente polarizado, con predominio de la dominancia antrópica en gran parte del litoral, especialmente en el Nordeste y Sudeste. En la costa amazónica, los valores próximos a cero reflejan la baja relevancia territorial de la ocupación antrópica inicial. Valores negativos se asocian a municipios con protección ambiental o recuperación de coberturas naturales. El T-ANDI se presenta como una herramienta eficaz para comparar dinámicas costeras.

Palabras clave: uso y cobertura de la tierra; zonas costeras; MapBiomas; análisis temporal; urbanización.

Abstract. Coastal regions concentrate persistent land-use and land-cover (LULC) transformations driven by urbanization, tourism, and infrastructure development. In Brazil, coastal municipalities encompass highly heterogeneous socio-environmental contexts, ranging from large metropolitan areas to ecosystems dominated by mangroves and wetlands. This study introduces the Temporal Anthropic–Natural Dominance Index (T-ANDI), a synthetic metric designed to quantify the relative dominance of anthropic and natural LULC variations over time. The index combines a directional component based on land-cover variations with a weight proportional to the municipality's initial anthropic occupation, producing values between -1 and +1. The analysis is based on annual MapBiomas Collection 10 maps (1985–2024) for 279 coastal municipalities defined by the official IBGE dataset. Results reveal a strongly polarized pattern, with anthropic dominance prevailing across much of the Brazilian coastline, particularly in the Northeast and Southeast. Along the Amazonian coast, near-zero values reflect the limited territorial relevance of initial anthropic occupation rather than consolidated transformation processes. Negative values are mainly associated with municipalities characterized by environmental protection or natural cover recovery. T-ANDI proves to be a useful synthetic tool for comparative analyses of coastal land-use dynamics.

Keywords: land use and land cover; coastal zones; MapBiomas; temporal analysis; urbanization.

Esse padrão se materializa de forma bastante clara no Nordeste brasileiro. Municípios como Fortaleza e Natal apresentam valores de T-ANDI ponderado superiores a 1, refletindo trajetórias consistentes de expansão urbana e intensificação do uso do solo. Esse comportamento está alinhado com processos amplamente descritos na literatura sobre mudanças no uso da terra, nos quais a urbanização atua como vetor dominante e cumulativo (Seto et al., 2012). Recife, por outro lado, apresenta valor próximo de menos um (−1,000), refletindo dominância natural: trata-se de um município com base antrópica já elevada em 1985 ($pA_0 \approx 82\%$), em que a cobertura natural expandiu proporcionalmente ao longo do período, possivelmente associada à recuperação de áreas de manguezal e outras formações costeiras.

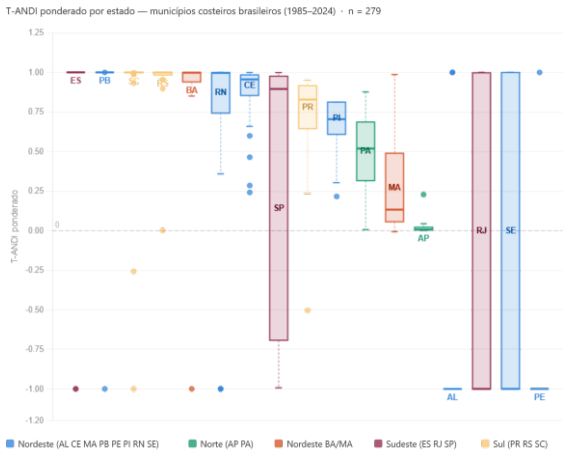


Fig. 2. Distribuição do T-ANDI ponderado por estado nos municípios costeiros brasileiros (1985–2024), *ordenada pela mediana. Fonte: MapBiomas Coleção 10 e IBGE.*

Em contraste, a costa amazônica, especialmente em municípios como Chaves, Calçoene e Oiapoque, apresenta valores próximos de zero no T-ANDI ponderado, reflexo da base antrópica inicial ínfima nesses territórios. Embora a componente direcional aponte expansão antrópica relativa, o peso proporcional à ocupação inicial (pA_0 inferior a 0,2% em todos os casos) aproxima-se de zero, indicando que a dinâmica territorial permanece essencialmente natural. Essa distinção reforça a ideia de que a zona costeira brasileira não apresenta um gradiente contínuo de transformação, mas sim regimes territoriais estruturalmente distintos.

3.2 Rankings municipais e extremos de dominância

A ordenação dos municípios segundo o T-ANDI ponderado permite identificar com maior precisão os extremos das trajetórias de transformação. No topo do ranking antrópico, destacam-se municípios como Praia Grande, Santos, Camaçari e Fortaleza, todos com valores superiores a 0,95. Esses municípios apresentam crescimento expressivo das classes antrópicas, frequentemente associado à expansão urbana, à infraestrutura e às atividades econômicas intensivas, combinado a uma base territorial antrópica já relevante em 1985.

No litoral da Bahia, municípios como Camaçari e Ilhéus também figuram entre os mais altos no ranking, evidenciando a difusão regional desses processos para além das capitais. Esse padrão sugere que a transformação antrópica não é apenas metropolitana, mas também fortemente disseminada ao longo de corredores costeiros.
No extremo negativo do ranking situam-se municípios com dominância natural consolidada e base antrópica expressiva, como Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Maceió e Jaboatão dos Guararapes, todos com valores próximos de -1. Nesses casos, a cobertura natural expandiu-se proporcionalmente ao longo das quatro décadas, em contextos de alta urbanização prévia. Municípios como Chaves, Oiapoque e Calçoene, por sua vez, posicionam-se próximos de zero, configurando um bloco territorial de dominância natural decorrente da inexpressividade da ocupação antrópica inicial, e não por recuperação ambiental ativa.

Tabela 1. Classes de interpretação do T-ANDI ponderado. Os exemplos de municípios referem-se aos valores calculados para o período de 1985–2024, com base em MapBiomas Coleção 10

Faixa de valor	Classe	Interpretação
+0,75 a +1,00	Dominância antrópica forte	Expansão antrópica consolidada e territorialmente relevante. Ex.: Fortaleza (1,000), Natal (1,000), Camaçari (1,000).
+0,25 a +0,75	Dominância antrópica moderada	Expansão antrópica expressiva, base territorial em consolidação. Ex.: Viseu (0,761), Bragança (0,686).
−0,25 a +0,25	Equilíbrio dinâmico ou base incipiente	Dinâmicas compensatórias ou território com ocupação antrópica territorialmente inexpressiva. Ex.: Chaves (0,007), Oiapoque (0,007), Calçoene (0,022).
−0,75 a −0,25	Dominância natural moderada	Persistência ou recuperação de cobertura natural com relevância territorial moderada. Ex.: Guaraqueçaba (−0,504), Cananéia (−0,692).
−1,00 a −0,75	Dominância natural forte	Forte expansão ou persistência natural territorialmente consolidada, ou retração antrópica expressiva. Ex.: Ubatuba (−0,819), Paraty (−0,891), Recife (−1,000), Maceió (−1,000).

3.3 Padrões regionais e diferenciação espacial

A análise espacial evidencia a formação de grandes blocos regionais com comportamentos distintos. No Nordeste, observa-se predominância de municípios com alta dominância antrópica ao longo do litoral entre São Luís e Salvador, ainda que com variações locais, passando por

Fortaleza, Natal e Aracaju. Esse padrão indica uma forte continuidade espacial da transformação territorial.
Na costa amazônica, por outro lado, observa-se um bloco relativamente contínuo de valores próximos de zero no T-ANDI ponderado. Esse padrão reflete a base antrópica inicial extremamente reduzida que caracteriza esses territórios, incluindo municípios como Viseu, Bragança e Soure. A conectividade ecológica dessas áreas contribui para a manutenção das coberturas naturais ao longo do tempo, mas o índice distingue corretamente esses municípios daqueles com dominância natural decorrente de recuperação ambiental ativa.

O Sudeste apresenta maior heterogeneidade. Municípios como Guarujá e Praia Grande contrastam com Rio de Janeiro e Campos dos Goytacazes, que apresentam valores fortemente negativos (próximos de −1,000), reflexo de expansão relativa das coberturas naturais em territórios já altamente urbanizados. Ubatuba e Paraty confirmam a importância das restrições ambientais e institucionais na contenção da expansão antrópica, com valores de −0,82 e −0,89, respectivamente.

3.4 Relação entre variações percentuais e valores do índice

A análise dos componentes do índice evidencia que valores elevados de T-ANDI estão associados a assimetrias marcantes entre ΔA_ref e ΔN_ref. Em municípios como Fortaleza e Camaçari, observa-se um crescimento acentuado das classes antrópicas, combinado à redução relativa das coberturas naturais, o que configura processos claros de substituição. Recife ilustra o caso oposto: apesar da alta densidade urbana, as classes naturais expandiram-se proporcionalmente mais do que as antrópicas no período, resultando em um valor fortemente negativo (−1,000).

Municípios como Chaves e Oiapoque, com valores próximos de zero, ilustram a situação em que a base antrópica inicial é tão reduzida que o peso praticamente anula a componente direcional, mesmo quando esta aponta para expansão antrópica. Florianópolis, por sua vez, apresenta valor próximo de 1 (0,999), com crescimento antrópico consistente ao longo do período, coexistindo com apenas variação marginal das coberturas naturais.

4 Discussão

Os resultados indicam trajetórias de uso e cobertura da terra fortemente dependentes de trajetória e estruturalmente assimétricas. Municípios como Santos, Natal e Camaçari apresentam expansão antrópica consolidada, enquanto Maceió, Recife e Jaboatão dos Guararapes exibem valores negativos, sugerindo expansão proporcional da cobertura natural, possivelmente associada à recuperação de ecossistemas costeiros.

Na costa amazônica, municípios como Amapá, Calçoene e Oiapoque apresentam valores próximos de zero devido à reduzida ocupação antrópica inicial. Embora haja expansão relativa das classes antrópicas, sua relevância territorial permanece limitada. Esse padrão reforça a influência de fatores estruturais, como acessibilidade, densidade populacional e regulação, sobre as dinâmicas de mudança do uso da terra.

O T-ANDI demonstra a capacidade de sintetizar padrões espaciais complexos em uma métrica comparável. Diferentemente de indicadores baseados em áreas absolutas, percentuais de cobertura ou análises por classe individual, o índice integra direção e relevância territorial da transformação em um único valor adimensional, favorecendo comparações entre municípios de diferentes dimensões.

Além do contexto brasileiro, o T-ANDI apresenta potencial para aplicações em planejamento territorial e conservação, permitindo identificar áreas sob transformação consolidada e territórios que demandam estratégias preventivas. Sua formulação é independente da fonte de dados, podendo ser aplicada a outros sistemas costeiros com séries temporais consistentes de uso e cobertura da terra.

5 Conclusões

A costa brasileira apresenta trajetórias de uso e cobertura da terra fortemente polarizadas, com predominância da dominância antrópica no Nordeste e Sudeste. Na costa amazônica, os baixos valores do T-ANDI refletem a reduzida relevância territorial da ocupação antrópica inicial, distinguindo esses municípios daqueles com transformação já consolidada.

O T-ANDI mostrou-se uma ferramenta robusta para sintetizar a direção dominante e a relevância territorial das mudanças de uso e cobertura da terra em um único indicador comparável. Seu potencial de aplicação em gestão costeira, monitoramento territorial e definição de prioridades de conservação, aliado à sua transferibilidade para outros contextos costeiros, amplia sua utilidade para análises em larga escala.

6 Referências

MapBiomas Project. MapBiomas Project – Collection 10 of the Annual Land Use and Land Cover Mapping Series of Brazil. Available at https://brasil.mapbiomas.org/

IBGE – Brazilian Institute of Geography and Statistics. Coastal municipalities of Brazil (Municipalities facing the sea). Available at https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/24072-municipios-defrontantes-com-o-mar.html

Lambin, E. F., Geist, H. J., and Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual Review of Environment and Resources, volume 28, pages 205 to 241.

Seto, K. C., Güneralp, B. ., and Hutyra, L. R. 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences, volume 109, issue 40, pages 16083 to 16088.

Turner, B. L., Lambin, E. F., and Reenberg, A. 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences, volume 104, issue 52, pages 20666 to 20671

Índice Temporal de Dominância Antrópica–Natural (T-ANDI): trajetórias polarizadas de uso e cobertura da terra em municípios costeiros brasileiros (1985–2024)

Pedrassoli, Julio[1], Pérez Machado, Reinaldo Paul[1] y Gomes, Joice Genaro[2]

[1] Departamento de Geografia/Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 338, São Paulo Brasil
[2] INCT Combate a Fome/Universidade de São Paulo, Av. Dr. Arnaldo, 715, São Paulo, Brasil
rpmgis@usp.br

Resumo. As regiões costeiras concentram transformações persistentes de uso e cobertura da terra (LULC), impulsionadas pela urbanização, turismo e desenvolvimento de infraestrutura. No Brasil, os municípios costeiros apresentam contextos socioambientais heterogêneos, variando de grandes áreas metropolitanas a ecossistemas dominados por manguezais e áreas úmidas. Este estudo propõe o Índice Temporal de Dominância Antrópica–Natural (T-ANDI), uma métrica sintética que quantifica a dominância relativa entre variações antrópicas e naturais ao longo do tempo. O índice combina uma componente direcional baseada nas variações de cada grupo e um peso proporcional à ocupação antrópica inicial do município, produzindo valores entre -1 e +1. A análise utiliza os mapas anuais do MapBiomas Coleção 10 (1985–2024) para 279 municípios costeiros definidos pelo IBGE. Os resultados revelam um padrão fortemente polarizado, com predominância da dominância antrópica ao longo do litoral, especialmente no Nordeste e Sudeste. Na costa amazônica, valores próximos de zero refletem a reduzida relevância territorial da ocupação antrópica inicial. Valores negativos ocorrem principalmente em municípios com proteção ambiental ou recuperação de coberturas naturais. O T-ANDI demonstra potencial como ferramenta sintética para análise comparativa das dinâmicas costeiras.

Palavras-chave: uso e cobertura da terra; zonas costeiras; MapBiomas; análise temporal; urbanização.

Resumen. Las regiones costeras concentran transformaciones persistentes de uso y cobertura de la tierra (LULC), impulsadas por la urbanización, el turismo y el desarrollo de infraestructuras. En Brasil, los municipios costeros presentan contextos socioambientales heterogéneos, desde grandes áreas metropolitanas hasta ecosistemas dominados por manglares y humedales. Este estudio propone el Índice Temporal de Dominancia Antrópica–Natural (T-ANDI), una métrica sintética que cuantifica la dominancia relativa entre variaciones antrópicas y naturales a lo largo del tiempo. El índice combina una componente direccional basada en las variaciones de cada grupo y un peso proporcional a la ocupación antrópica inicial del municipio, generando valores entre -1 y +1. El análisis utiliza los mapas anuales de MapBiomas Colección 10 (1985–2024) para 279 municipios costeros definidos por el IBGE. Los resultados muestran un patrón fuertemente polarizado, con predominio de la dominancia antrópica en gran parte del litoral, especialmente en el Nordeste y Sudeste. En la costa amazónica, los valores próximos a cero reflejan la baja relevancia territorial de la ocupación antrópica inicial. Valores negativos se asocian a municipios con protección ambiental o recuperación de coberturas naturales. El T-ANDI se presenta como una herramienta eficaz para comparar dinámicas costeras.

Palabras clave: uso y cobertura de la tierra; zonas costeras; MapBiomas; análisis temporal; urbanización.

Abstract. Coastal regions concentrate persistent land-use and land-cover (LULC) transformations driven by urbanization, tourism, and infrastructure development. In Brazil, coastal municipalities encompass highly heterogeneous socio-environmental contexts, ranging from large metropolitan areas to ecosystems dominated by mangroves and wetlands. This study introduces the Temporal Anthropic–Natural Dominance Index (T-ANDI), a synthetic metric designed to quantify the relative dominance of anthropic and natural LULC variations over time. The index combines a directional component based on land-cover variations with a weight proportional to the municipality's initial anthropic occupation, producing values between -1 and +1. The analysis is based on annual MapBiomas Collection 10 maps (1985–2024) for 279 coastal municipalities defined by the official IBGE dataset. Results reveal a strongly polarized pattern, with anthropic dominance prevailing across much of the Brazilian coastline, particularly in the Northeast and Southeast. Along the Amazonian coast, near-zero values reflect the limited territorial relevance of initial anthropic occupation rather than consolidated transformation processes. Negative values are mainly associated with municipalities characterized by environmental protection or natural cover recovery. T-ANDI proves to be a useful synthetic tool for comparative analyses of coastal land-use dynamics.

Keywords: land use and land cover; coastal zones; MapBiomas; temporal analysis; urbanization.

Dinâmica espaço-temporal da vegetação na bacia do rio Paraíba (Nordeste do Brasil): uma avaliação baseada no NDVI e na variabilidade das precipitações entre 2000 e 2025

Porto de Lima, Valéria[1] y Silva, Jorge[2]

[1] Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas/ Grupo de Estudos Geomorfológicos e Hidroecológicos de Ambientes Tropicais - GEGHAT/Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa – PB/Brasil.
[2] Centro do Ciências Agrárias e Ambientais. Grupo de Estudos Geomorfológicos e Hidroecológicos de Ambientes Tropicais - GEGHAT/Universidade Estadual da Paraíba, Lagoa Seca– PB/Brasil.
valeriaraquelportodelima@servidor.uepb.edu.br

Resumo. O objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica espaço-temporal da vegetação na bacia do rio Paraíba entre 2000 e 2025, com ênfase nos efeitos associados ao período posterior à implementação do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF). Localizada no Nordeste brasileiro, a bacia do rio Paraíba abrange uma área de 20.071,83 km² e apresenta elevada diversidade ambiental, incluindo diferentes regimes climáticos e formações vegetacionais. A nascente situa-se no Planalto da Borborema, em área de Caatinga com clima semiárido, enquanto o baixo curso se insere em domínio originalmente ocupado pela Mata Atlântica. A metodologia baseou-se na integração de técnicas de sensoriamento remoto e análise econométrica. Foram utilizadas séries temporais de imagens Landsat (Coleção 2 – C2 L2) e dados pluviométricos do CHIRPS, processados na plataforma *Google Earth Engine*. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi empregado para avaliar o vigor da vegetação ao longo do tempo. Foram elaborados mapas de NDVI médio nos períodos pré e pós-intervenção da transposição do Rio São Francisco, além de séries temporais estratificadas por distância à rede de drenagem e classes de uso do solo (ALL, NATURAL e AGRO). A análise econométrica utilizou o método *Difference-in-Differences* (DiD), com efeitos fixos de zona e ano, controlando a precipitação, além de um modelo de *event study* para verificar a presença de pré-tendências. Os resultados indicam que o NDVI médio variou entre 0,209 e 0,718, com média de 0,549, enquanto a precipitação anual oscilou entre aproximadamente 398 mm e 993 mm. Apesar da precipitação permanecer como principal fator limitante da vegetação na zona semiárida, observou-se um aumento adicional no NDVI após 2017, especialmente em áreas agrícolas. Esses resultados sugerem que mudanças na disponibilidade hídrica, possivelmente associadas ao PISF, e transformações no uso do solo contribuíram para o aumento do vigor vegetacional. O estudo reforça a importância de análises integradas para compreender a interação entre clima, hidrologia e uso da terra em ambientes semiáridos.

Palavras-chave: NDVI, dinâmica da vegetação, bacia do rio Paraíba, semiárido brasileiro, sensoriamento remoto.

Resumen. El objetivo de esta investigación fue analizar la dinámica espacio-temporal de la vegetación en la cuenca del río Paraíba entre 2000 y 2025, con énfasis en los efectos asociados al período posterior a la implementación del Proyecto de Integración del Río São Francisco (PISF). Ubicada en el Nordeste brasileño, la cuenca abarca una superficie de 20.071,83 km² y presenta una alta diversidad ambiental, con distintos regímenes climáticos y formaciones vegetales. La naciente se sitúa en el Meseta de la Borborema, en un ambiente semiárido de vegetación seca caducifolia, mientras que el curso inferior corresponde a áreas originalmente ocupadas por el bosque Atlántico. La metodología se basó en la integración de técnicas de teledetección y análisis econométrico. Se utilizaron series temporales de imágenes Landsat (Colección 2 – C2 L2) y datos de precipitación CHIRPS, procesados en la plataforma *Google Earth Engine*. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se empleó para evaluar el vigor de la vegetación a lo largo del tiempo. Se generaron mapas de NDVI medio para los períodos pre y post intervención, así como series temporales estratificadas por distancia a la red de drenaje y clases de uso del suelo (ALL, NATURAL y AGRO). El análisis econométrico utilizó el método *Difference-in-Differences* (DiD), con efectos fijos de zona y año, controlando la precipitación, además de un modelo de *event study* para verificar la hipótesis de pre-tendencias. Los resultados muestran que el NDVI medio varió entre 0,209 y 0,718, con un promedio de 0,549, mientras que la precipitación anual osciló entre aproximadamente 398 mm y 993 mm. Aunque la precipitación sigue siendo el principal factor limitante de la vegetación, se observó un aumento adicional en el NDVI después de 2017, especialmente en áreas agrícolas. Estos hallazgos sugieren que los cambios en la disponibilidad hídrica, posiblemente asociados al PISF, y las transformaciones en el uso del suelo contribuyeron al aumento del vigor de la vegetación, destacando la importancia de enfoques integrados en regiones semiáridas.

Palabras clave: NDVI, dinámica de la vegetación, cuenca del río Paraíba, semiárido brasileño, teledetección.

Abstract. This study aimed to analyze the spatiotemporal dynamics of vegetation in the Paraíba River basin between 2000 and 2025, with emphasis on the effects associated with the period following the implementation of the São Francisco River Integration Project (PISF). Located in northeastern Brazil, the basin covers an area of 20,071.83 km² and presents high environmental diversity, including different climatic regimes and vegetation formations. The headwaters are located in the Borborema Plateau, within a semi-arid Caatinga environment, while the lower course reaches areas

originally covered by the Atlantic Forest. The methodology was based on the integration of remote sensing techniques and applied econometric analysis. Time series of Landsat imagery (Collection 2 – C2 L2) and CHIRPS precipitation data were processed using the Google Earth Engine platform. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to assess vegetation vigor over time. Mean NDVI maps for pre- and post-intervention periods were generated, along with annual time series stratified by distance to the drainage network and land-use classes (ALL, NATURAL, and AGRO). The econometric analysis employed a Difference-in-Differences (DiD) approach, including zone and year fixed effects, controlling for precipitation, and complemented by an event study to test for pre-trends. Results indicate that mean NDVI ranged from 0.209 to 0.718, with an average of 0.549, while annual precipitation ranged from approximately 398 mm to 993 mm. Although precipitation remains the main limiting factor for vegetation in semi-arid environments, an additional increase in NDVI was observed after 2017, particularly in agricultural areas. These findings suggest that changes in water availability, possibly associated with the PISF, and land-use transformations contributed to increased vegetation vigor, highlighting the importance of integrated approaches to understand environmental dynamics in semi-arid regions.

Keywords: NDVI, vegetation dynamics, Paraíba river, Brazilian semiarid, remote sensing.

1 Introdução

Em ambientes semiáridos, as Florestas Tropicais Sasonalmente Secas possuem uma dinâmica fortemente modulada pela disponibilidade de água, tanto de origem climática, as chuvas, ou por obras hídricas. Neste sentido, a pesquisa buscou investigar como a transposição de água do Rio São Francisco (PISF), está associada a mudanças sistemáticas no vigor vegetativo e na cobertura da vegetação da bacia do Rio Paraíba. O PISF é uma obra hídrica de grande escala voltada à mitigação da escassez da água no semiárido do Brasil. No Estado da Paraíba o PISF integrou-se a Bacia do Rio Paraíba que possui uma área de 20.071,83 km².

O objetivo principal da pesquisa é avaliar a dinâmica espaço-temporal da vegetação na bacia do rio Paraíba entre os anos de 2000 e 2025.

2 Materiais e métodos

Dados e processamento: o processamento espacial foi realizado no *Google Earth Engine* (GEE), e as análises estatísticas e econométricas foram tratados em Python. **Dados de sensoriamento remoto e pré-processamento**: imagens de satélite da série Landsat Collection 2 – Level 2 (C2 L2), provenientes dos sensores TM (Landsat 5), OLI (Landsat 8) e OLI-2 (Landsat 9), abrangendo o período de 2000 a 2025. A temporalmente foi de março e junho, correspondente ao período posterior à estação chuvosa na região. Foram aplicadas máscaras de qualidade nas bandas QA_PIXEL e QA_RADSAT. Foi aplicada uma máscara física de reflectância, com valores espectrais ao intervalo entre 0 e 1. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), conforme a formulação clássica proposta por Rouse et al. (1973).

Composição anual e controle climático: a mediana reduz a influência de valores extremos residuais e é amplamente utilizada em estudos multitemporais em ambientes semiáridos (BARBOSA; HUETE; BAETHGEN, 2006; SILVEIRA et al., 2022). Nos raros casos de ausência total de imagens válidas em determinado ano, foi utilizado um *fallback* com imagem mascarada. A variável de controle climático, foi utilizada a precipitação anual acumulada proveniente do produto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data).

Estratificação espacial: zonas de influência e uso do solo: Na estratificação da rede de drenagem, as zonas concêntricas foram de 0–1 km, 1–2 km, 2–3 km e áreas de 3 km da drenagem principal (Fig. 1). A estratificação considerou classes de uso e cobertura do solo derivadas do MapBiomas – Coleção 10, utilizando as classes anuais disponíveis até 2024. As classes são: ALL (toda a área), NATURAL (vegetação natural) e AGRO (áreas agrícolas). Foram gerados os mapas de NDVI médio pré-PISF (2000-2016) e pós-PISF (2017-2025). A tendência temporal do NDVI (2000-2025), foi estimado pelo método não paramétrico de Theil-Sem. Foram extraídas estatísticas zonais anuais (média, desvio-padrão e contagem de pixels válidos) do NDVI e da precipitação para cada combinação de zona, estrato de uso do solo e ano.

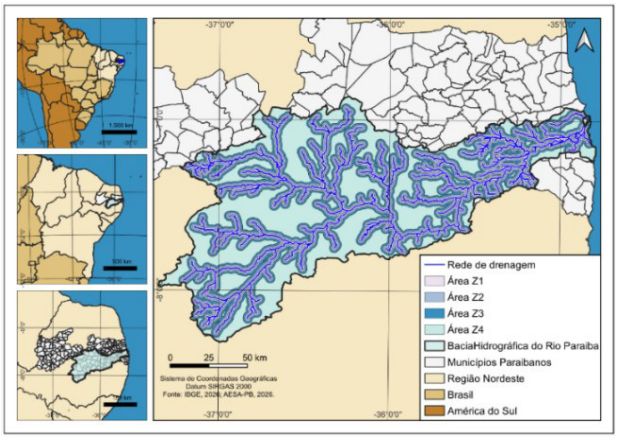


Fig 1. Bacia do Rio Paraíba e distribuição das zonas.

Análise econométrica: foi aplicada a abordagem *Difference-in-Differences* (DiD) com efeitos fixos de zona e ano, amplamente utilizada para inferência causal em estudos observacionais (ANGRIST; PISCHKE, 2009; BERTRAND; DUFLO; MULLAINATHAN, 2004). O modelo incluiu a precipitação anual como covariável de controle e utilizou erros-padrão robustos agrupados por zona, especificado como:

$$NDVI_{it} = \beta_0 + \beta_1(Treat_i \times Post_t) + \beta_2 PPT_{it} + \alpha_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$$

onde: *Treat* - indica zonas de tratamento (mais próximas à drenagem); *Post* - indica anos ≥ 2017; *PPT* - é a precipitação média anual, α_i
e γ_t são efeitos fixos de zona e tempo, ε_{it}
é o termo de erro.

3 Resultados

Os valores de NDVI no período pré-2017, são mais elevados em áreas associadas à rede de drenagem e em porções da bacia com maior permanência de umidade no solo, as áreas mais distantes tendem a apresentar valores relativamente mais baixos. No período pós-2017, verifica-se elevação do patamar médio do NDVI em diversos setores da bacia, com maior destaque em áreas próximas à drenagem e em manchas espacialmente associadas ao uso agrícola/vegetação manejada. Essa diferença sustenta a hipótese de que, além do controle climático (chuva), a reorganização da disponibilidade hídrica e/ou mudanças no uso do solo após 2017 podem estar relacionadas ao aumento da "verdejância" detectada pelo NDVI (Fig. 2).

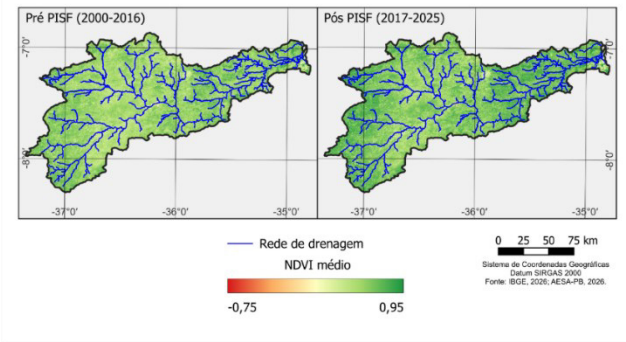


Fig. 2. NDVI médio no período pré-2017 e pós-2017

Tabela 1. Estatísticas descritivas de NDVI e Precipitação por estrato e zona de distância.

Estrato	Zona	NDVI		Precipitação	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
ALL	Z1	0,528	0,106	715,6	141,4
ALL	Z2	0,543	0,104	700,9	138,4
ALL	Z3	0,557	0,088	690,3	136,0
ALL	Z4	0,565	0,089	624,9	124,3
NATURAL	Z1	0,604	0,104	715,6	141,4
NATURAL	Z2	0,606	0,109	700,9	138,4
NATURAL	Z3	0,614	0,095	690,3	136,0
NATURAL	Z4	0,618	0,096	624,9	124,3
AGRO	Z1	0,492	0,121	715,6	141,4
AGRO	Z2	0,486	0,109	700,9	138,4
AGRO	Z3	0,498	0,086	690,3	136,0
AGRO	Z4	0,496	0,088	624,9	124,3

No painel ALL (2000–2025) o NDVI médio variou de 0,410 a 0,718, com média 0,549 e desvio-padrão 0,080, enquanto a precipitação anual média (CHIRPS) variou aproximadamente entre 398 mm e 993 mm (média ~ 679 mm). No painel STRATA (2000–2024) a variação de NDVI é mais ampla (mínimo ~ 0,077 e máximo ~ 0,781), refletindo a maior heterogeneidade interna quando a análise é estratificada por uso do solo (NATURAL e AGRO), além do conjunto total (ALL). Esse comportamento é esperado porque áreas agrícolas/manejadas tendem a apresentar respostas mais intensas (tanto positivas quanto negativas) em comparação às formações naturais, dada a influência de irrigação, preparo do solo, ciclos de cultivo e manejo (Tabela 1).

Dinâmica temporal: série de NDVI por zona e relação com precipitação: A série temporal anual do NDVI, agregada por zona de distância, evidencia a forte dependência da vegetação à variabilidade pluviométrica no semiárido (Fig. 3).

Apesar da forte sincronização NDVI-chuva, há mudança no "nível médio" do NDVI após 2017, particularmente nas zonas tratadas (Z1 e Z2). A vegetação nas áreas próximas à drenagem passou a manter, no pós-2017, um patamar de vigor relativamente mais alto do que no pré-2017, mesmo em anos com precipitação comparável. Essa evidência antecipa o resultado do modelo DiD: um efeito adicional do pós-2017 nas zonas tratadas, além do que seria explicado exclusivamente pela chuva.

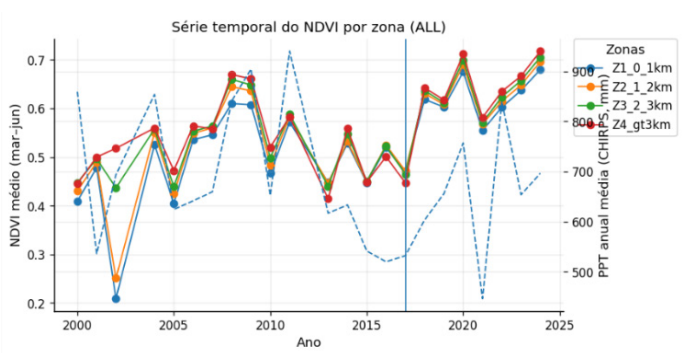


Fig. 3. Série temporal do NDVI por zona e precipitação anual

Efeito médio pós-2017 estimado por Difference-in Differences (DiD): Os resultados (Tabela 2) indicam um efeito positivo e estatisticamente significativo da interação *Treat* × *Post* (did) sobre o NDVI médio.

No painel ALL, o coeficiente DiD estimado foi 0,0177 (erro-padrão 0,0024, $p < 0,001$; N=96), sugerindo que, após 2017, as zonas tratadas (próximas à drenagem) apresentaram aumento médio de NDVI superior ao observado nas zonas controle, mesmo após controlar a precipitação anual.

Ao estratificar por uso do solo (Tabela 2; Fig. 4), os efeitos permanecem positivos e significativos, porém com magnitudes distintas: NATURAL: coeficiente DiD ~ 0,0138 (EP ~ 0,0004, $p < 0,001$; N=92); AGRO: coeficiente DiD ~ 0,0274 (EP ~ 0,0050, $p < 0,001$; N=92).

Tabela 2. Coeficientes do modelo DiD com efeitos fixos e erros clusterizados por zona

Estrato	Coeficiente DiD	Erro padrão	p value	Número de observações	Efeitos físicos zonais	Efeitos físicos temporais
Não Estratificado	0,0177	0,0024	0	96	sim	sim
Cobertura natural	0,0138	0,0004	0	92	sim	sim
Uso Agropecuário	0,0274	0,005	0	92	sim	sim

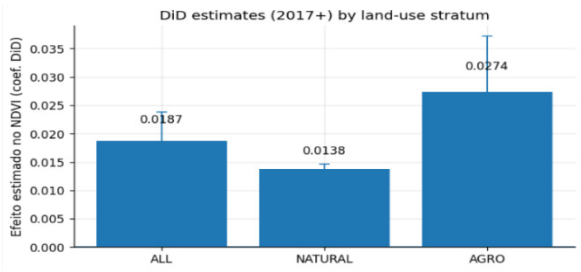


Fig. 4. Efeitos estimados por estrato

A maior magnitude no estrato AGRO sugere que áreas agrícolas/manejadas responderam de forma mais intensa às mudanças pós-2017, o que pode refletir intensificação produtiva, expansão de agricultura irrigada e/ou maior estabilidade hídrica em ambientes sob manejo. O estrato NATURAL apresenta aumento menor, porém consistente, compatível com a maior inércia ecológica e com o papel dominante do regime de chuvas sobre a fenologia e produtividade natural na Caatinga.

Além disso, o coeficiente associado à precipitação anual (PPT_mean) mostrou-se positivo e altamente significativo em todos os modelos, corroborando a relevância do controle climático e reforçando que o efeito DiD representa um incremento adicional ao sinal da chuva (Tabela 2).

Validação: pré-tendências e Event Study: A validade do desenho DiD depende do pressuposto de tendências paralelas no período pré-intervenção: na ausência do "tratamento", as zonas tratadas e controle deveriam evoluir de forma semelhante ao longo do tempo. O *event study* estimou efeitos anuais relativos ao marco de 2017 e fornece uma verificação visual e inferencial desse pressuposto (Fig. 5).

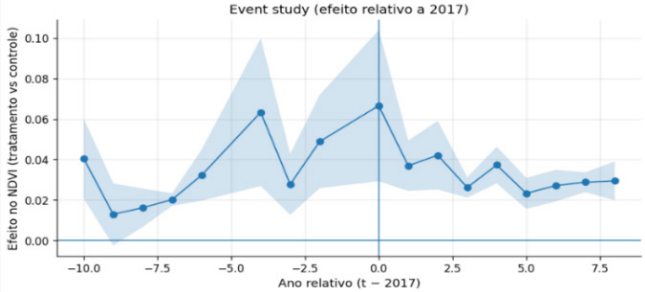


Fig. 5. Event Study relativo a 2017, indicando pré-tendencias divergentes e efeitos positivos persistentes no pós-PISF.

4 Discussão

Os resultados evidenciam a centralidade da precipitação como principal fator controlador da dinâmica da vegetação em ambientes semiáridos, refletida na forte sincronização entre o NDVI e a variabilidade pluviométrica. Contudo, análises integradas indicam que o período pós-2017 apresenta um incremento adicional no NDVI que não é plenamente explicado pela precipitação, sugerindo uma mudança estrutural no comportamento da vegetação. Esse efeito é mais expressivo em áreas agrícolas, indicando maior sensibilidade dos sistemas produtivos a alterações na disponibilidade hídrica e nas condições de manejo, enquanto, no estrato natural, observa-se um aumento mais moderado, porém consistente, possivelmente associado a mudanças indiretas na conectividade hidrológica. Embora não se estabeleça causalidade direta, os resultados apontam para uma associação entre o período pós-2017 e a intensificação do vigor da vegetação, compatível com transformações no regime hídrico, no uso do solo e nas práticas de manejo, possivelmente vinculadas ao novo contexto hidrológico da bacia do Rio Paraíba com a transposição do Rio São Francisco.

5 Conclusões

O estudo mostra que. após 2017, houve aumento do NDVI médio, sobretudo em áreas agrícolas, mas também presente na vegetação natural. Esse padrão sugere influência positiva da disponibilidade hídrica sobre o vigor da vegetativo. Os resultados contribuem para o planejamento territorial e avaliação de políticas hídricas em bacias semiáridas.

6 Referências

Angrist, J. D., & Pischke, J. S. (2009). *Mostly Harmless Econometrics: An Empiricist's Companion*. Princeton: Princeton University Pres.

Barbosa, H. A., Huete, A. R., & Baethgen, W. E. A. (2006). 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, n. 2, p. 288–307. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022

Bertrand, M., Duflo, E., & Mullainathan, S. (2004). How much should we trust differences-in-differences estimates? *Quarterly Journal of Economics*, v. 119, n. 1, p. 249–275. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.022

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Disponivel em: https://ntrs.nasa.gov/citations/19730017588

Silveira, N. T., Santos, T. O., Tibúrcio, I. M., & Galvíncio, J. D. (2022). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do rio Terra Nova (PE). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 3, n. 3, p. 20–29. https://diu.org/10.66205/rbsr.v3i3.96

Evaluación de la predisposición a incendios en zonas de montaña: un análisis comparativo de la dinámica hídrica forestal entre la zona Cantábrica y el Pirineo (2000-2022)

García Zárate, Diego[1]; Cristóbal Rosselló, Jordi[1]; Badia Perpinyà, Anna[1]; Rasilla-Álvarez, Domingo[4]; Carracedo Martín, Virginia[5]; Sánchez Morales, Marc[1] y Pèlachs Mañosa, Albert [1]

[1] Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona, Carrer de Fortuna s/n, 08193, Cerdanyola del Vallès, España.
[4,5] Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio, Unidad de Análisis Geográfico Regional, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros 54, 39005, Santander, España.
diego.garcia@uab.cat

Resumen. El cambio global está alterando profundamente los regímenes de incendios en las zonas de montaña de la Península Ibérica, modificando su estacionalidad e incrementando su frecuencia en áreas históricamente poco afectadas. En este contexto, el presente trabajo propone una metodología para evaluar la predisposición a los incendios forestales mediante el análisis de la dinámica hídrica forestal, índices de sequía multiescalar (SEDI) y el estado fenológico de la vegetación (NDVI). Se realizó un análisis comparativo entre la Comunidad Autónoma de Cantabria y el Pirineo catalán para el período 2000-2022, utilizando estimaciones de evapotranspiración real (ETR) obtenidas mediante datos satelitales MODIS (Terra y Aqua), datos de ET potencial (ETP) obtenidos mediante datos meteorológicos y datos de coberturas del uso del suelo (CNIG, 2024). Los resultados confirman que la vegetación no puede tratarse como un bloque homogéneo: cada tipo de cubierta muestra una dinámica hídrica diferenciada, con implicaciones directas sobre su susceptibilidad al fuego. Cantabria presenta una vegetación estructuralmente más estable, con valores elevados de NDVI y escasa sensibilidad estacional, mientras que el Pirineo exhibe una dinámica más volátil y heterogénea, con mayor vulnerabilidad al déficit hídrico acumulado, especialmente evidenciada a través del índice SEDI-12. El análisis de la dinámica de los datos de ETR revela que el Pirineo experimenta un descenso en los flujos de ETR, indicativo de un mayor estrés fisiológico en la vegetación arbórea. El algoritmo BFAST confirma que el NDVI es el indicador más sensible para detectar perturbaciones en el dosel vegetal frente a la ETR, cuya respuesta resulta más tenue dado que tiende a recuperarse antes que el dosel vegetal tras una perturbación hídrica. No obstante, es el índice SEDI el que demuestra un mayor desempeño global, capturando con mayor precisión las transiciones en el estado del dosel y los cambios sutiles en la cobertura vegetal asociados a la predisposición al incendio. Estos hallazgos permiten caracterizar dos regímenes hídricos contrastados y establecer una base metodológica para la identificación prospectiva de zonas con mayor predisposición a los incendios forestales en contextos de cambio climático.

Palabras clave: Incendios forestales, evapotranspiración, SEDI, NDVI, vulnerabilidad montaña, estrés hídrico, sequía.

Resumo. A mudança global está a alterar profundamente os regimes de incêndio nas zonas de montanha da Península Ibérica, modificando a sua sazonalidade e aumentando a sua frequência em áreas historicamente pouco afetadas. Neste contexto, o presente trabalho propõe uma metodologia para avaliar a predisposição aos incêndios florestais através da análise da dinâmica hídrica florestal, índices de seca multiescalar (SEDI) e o estado fenológico da vegetação (NDVI). Foi realizada uma análise comparativa entre a Comunidade Autónoma da Cantábria e os Pirenéus catalães para o período 2000-2022, utilizando estimativas de evapotranspiração real (ETR) obtidas através de dados satelitais MODIS (Terra e Aqua), dados de ET potencial (ETP) obtidos através de dados meteorológicos e dados de coberturas de uso do solo (CNIG, 2024). Os resultados confirmam que a vegetação não pode ser tratada como um bloco homogéneo: cada tipo de cobertura apresenta uma dinâmica hídrica diferenciada, com implicações diretas na sua suscetibilidade ao fogo. A Cantábria apresenta uma vegetação estruturalmente mais estável, com valores elevados de NDVI e escassa sensibilidade sazonal, enquanto os Pirenéus exibem uma dinâmica mais volátil e heterogénea, com maior vulnerabilidade ao défice hídrico acumulado, especialmente evidenciada através do índice SEDI-12. A análise da dinâmica dos dados de ETR revela que os Pirenéus experimentam uma diminuição nos fluxos de ETR, indicativa de um maior stress fisiológico na vegetação arbórea. O algoritmo BFAST confirma que o NDVI é o indicador mais sensível para detetar perturbações no coberto vegetal face à ETR, cuja resposta é mais ténue dado que tende a recuperar-se antes do que o coberto vegetal após uma perturbação hídrica. No entanto, é o índice SEDI que demonstra um maior desempenho global, capturando com maior precisão as transições no estado do coberto e as alterações subtis na cobertura vegetal associadas à predisposição ao incêndio. Estes resultados permitem caracterizar dois regimes hídricos contrastados e estabelecer uma base metodológica para a identificação prospetiva de zonas com maior predisposição aos incêndios florestais em contextos de alteração climática.

Palavras-chave: Incêndios florestais, evapotranspiração, SEDI, NDVI, vulnerabilidade de montanha, stress hídrico, seca.

Abstract. Global change is profoundly altering fire regimes in the mountain areas of the Iberian Peninsula, modifying their seasonality and increasing their frequency in historically low-affected areas. In this context, the present work proposes a methodology to assess wildfire predisposition through the analysis of forest water dynamics, multi-scalar drought indices (SEDI), and vegetation phenological status (NDVI). A comparative analysis was carried out between the Autonomous Community of Cantabria and the Catalan Pyrenees for the period 2000–2022, using actual evapotranspiration (AET) estimates obtained from MODIS satellite data (Terra and Aqua), potential ET (PET) data derived from meteorological records, and land use/land cover data (CNIG, 2024). The results confirm that vegetation cannot be treated as a homogeneous block: each cover type exhibits differentiated water dynamics, with direct implications for its susceptibility to fire. Cantabria presents structurally more stable vegetation, with high NDVI values and low seasonal sensitivity, whereas the Pyrenees display more volatile and heterogeneous dynamics, with greater vulnerability to accumulated water deficit, particularly evidenced through the SEDI-12 index. Analysis of AET data dynamics reveals that the Pyrenees experiences a decline in AET fluxes, indicative of increased physiological stress in tree vegetation. The BFAST algorithm confirms that NDVI is the most sensitive indicator for detecting canopy disturbances compared to AET, whose response is more subdued given that it tends to recover before the canopy following a hydrological disturbance. Nevertheless, the SEDI index demonstrates the highest overall performance, capturing with greater precision the transitions in canopy state and the subtle changes in vegetation cover associated with fire predisposition. These findings allow the characterization of two contrasting hydrological regimes and establish a methodological basis for the prospective identification of areas with greater wildfire predisposition in climate change contexts.

Keywords: Wildfires, evapotranspiration, SEDI, NDVI, mountain vulnerability, water stress, drought.

1 Introducción

El cambio global está alterando los regímenes de incendios en las zonas de montaña de la península ibérica, modificando su estacionalidad y expandiéndolos hacia áreas históricamente menos afectadas (Alvarez et al., 2024; Bento et al., 2023). Esta dinámica demuestra que es necesario comprender las tendencias de la respuesta de la vegetación a la humedad disponible ante las alteraciones causadas por estos patrones de estacionalidad (Miezïte et al., 2022). En este escenario, el monitoreo constante del balance hídrico adquiere un papel fundamental para entender el estrés hídrico de la vegetación y la predisposición, así como la recuperación de los incendios forestales (Liu y Lopez, 2025).

En Cantabria, los incendios forestales presentan una elevada incidencia, son mayoritariamente de origen antrópico y están vinculados a determinadas situaciones meteorológicas como las Suradas y/o sequías invernales (Carracedo Martín et al., 2009). En cambio, en el Pirineo los incendios son mucho menos frecuentes pero su potencial severidad hace que tengan una mayor vulnerabilidad por lo que se busca una gestión forestal adaptativa orientada a la resiliencia paisajística (Oliveres et al., 2025). En este contexto, se presenta una propuesta metodológica para evaluar la predisposición a los incendios a partir de la caracterización del estado hídrico de las masas forestales de ambas regiones.

El objetivo principal es identificar las áreas con mayor predisposición a la ocurrencia y propagación de incendios forestales mediante el análisis de anomalías en el estrés hídrico forestal, integrando índices de sequía multiescalar y estado fenológico.

2 Métodos y datos

Se realizó un estudio comparativo entre la Comunidad Autónoma de Cantabria y el Pirineo occidental catalán (Fig.1) empleando una serie temporal de 22 años (2000-2022), integrando datos satelitales MODIS resolución 1km Terra (8 345 imágenes) y Aqua (7 486 imágenes) según la metodología descrita en Bozorgi et al. (2024). También se utilizaron los datos de las coberturas del uso del suelo (CNIG, 2024) y perímetros de incendios de las regiones de Cantabria (Universidad de Cantabria) y del Pirineo occidental catalán (Gencat., 2024). El estudio integra al mismo tiempo la evapotranspiración real (ETR), la evapotranspiración potencial (ETP) y el índice de vegetación (NDVI) para monitorizar el estado fenológico y de la cubierta vegetal.

Para la identificación de sequías prolongadas y su relación con el balance hídrico, se compararon índices de sequía Índice Estandarizado de Déficit de Evapotranspiración SEDI (ETR-ETP, o Standardized Evapotranspiration Deficit Index, en inglés) a distintas escalas temporales (1, 3, 6 y 12 meses) (Bozorgi et al., 2026). Estos datos se cruzaron espacialmente con los perímetros de áreas quemadas para asociar el estrés hídrico acumulado con la susceptibilidad al fuego.

El procesamiento de datos se realizó de forma independiente para ambas regiones siguiendo estos pasos:

- Normalización Z-score: Se transformaron las series de NDVI en anomalías estandarizadas para eliminar la estacionalidad y comparar la magnitud de los eventos de sequía (SEDI).
- Correlación de Pearson: Se analizó la relación entre las anomalías de NDVI y el índice SEDI (escalas 1-12) para cuantificar la sensibilidad y memoria hídrica del ecosistema. Se consideró una significancia estadística de $p < 0.05$.
- Detección de cambios estructurales (BFAST): Para identificar y caracterizar las perturbaciones en la vegetación, se empleó el algoritmo BFAST (*Breaks For Additive Season and Trend*) (Verbesselt et al., 2025). Este método descompone las series temporales de NDVI, ETR y SEDI en tres componentes fundamentales: tendencia (Tt), estacionalidad (St) y residuo (et), mediante

un proceso iterativo que permite detectar cambios abruptos en la serie.

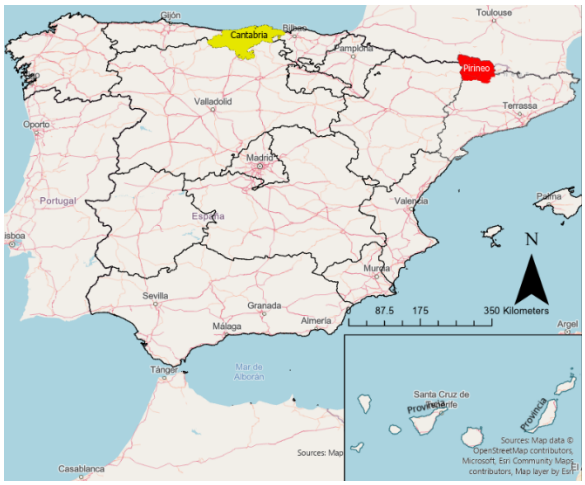


Fig. 1. Zona de estudio, Comunidad Autónoma de Cantabria y Pirineo-Comunidad Autónoma de Catalunya.

3 Resultados preliminares

3.1 Análisis de la evolución del NDVI según el tipo de cobertura entre Cantabria y el Pirineo occidental catalán

Se observa una diferencia en la estabilidad del vigor vegetal entre ambas regiones. Cantabria presenta una vegetación más resiliente, con valores de NDVI elevados y una dispersión mínima que indica baja sensibilidad a los cambios estacionales. En cambio, el Pirineo muestra una dinámica volátil y heterogénea, con una fuerte fluctuación del verdor.

3.2 Análisis NDVI y SEDI

Se encontró que las cubiertas boscosas tienen capacidad de resistir eventos de sequía breves. Sin embargo, el índice SEDI-12 revela que el Pirineo es más susceptible a las sequías en comparación con la región de Cantabria. Mientras que esta última parece estar estructuralmente preparada para resistir el estrés hídrico, las cubiertas arbóreas del Pirineo muestran una mayor sensibilidad ante este tipo de eventos.

3.3 BFAST

Los resultados preliminares muestran que, si bien el NDVI presenta una sensibilidad moderada para identificar fluctuaciones en la predisposición de la vegetación a incendios en comparación con la evapotranspiración real (ETR), es el índice SEDI el que demuestra un mayor desempeño, capturando con mayor precisión las transiciones en el estado del dosel y los cambios sutiles en la cobertura vegetal asociados a la predisposición a un incendio.

4 Discusión

Podemos afirmar que la vegetación de Cantabria es más resiliente debido a su clima oceánico, que amortigua el estrés hídrico (Carracedo Martín et al., 2009); sin embargo, sigue siendo vulnerable a incendios bajo condiciones específicas como el efecto Foehn (Álvarez & Martín, 2025). En contraste, el Pirineo presenta una mayor vulnerabilidad, con recursos hídricos en descenso (García-Ruiz et al., 2011) y una vegetación que presenta un límite en su tolerancia fisiológica, aumentando su susceptibilidad al fuego.

Desde una perspectiva metodológica, el NDVI destaca como un indicador más sensible que la evapotranspiración (ETR) para detectar cambios estructurales, pero menos predictiva que el SEDI. Desde este punto, la combinación de la ETR y la ETP y su posterior análisis a diferentes escalas temporales se muestra como el índice más sensible a la detección de situaciones de estrés hídrico prolongado que pueden aumentar la predisposición a un incendio forestal.

En cuanto a la gestión, los resultados exigen estrategias diferenciadas: en Cantabria, la prevención debe centrarse en reducir la carga de combustible en ventanas críticas de ignición, mientras que en el Pirineo es prioritario el monitoreo del estrés hídrico acumulado para favorecer la resiliencia paisajística a largo plazo (Miezïte et al., 2022; Oliveres et al., 2025).

5 Conclusiones

Los resultados preliminares confirman que la vegetación no se comporta como un bloque uniforme. Si bien el NDVI presenta una sensibilidad moderada para identificar fluctuaciones en la predisposición de la vegetación a incendios en comparación con la evapotranspiración real (ETR), es el índice SEDI el que demuestra un mayor desempeño global, capturando con mayor precisión las transiciones en el estado del dosel y los cambios sutiles en la cobertura vegetal asociados a la predisposición al incendio. Se evidencia además una clara división regional: mientras Cantabria presenta una estabilidad estructural y un desacoplamiento de la sequía, el Pirineo muestra una mayor sensibilidad al déficit hídrico acumulado, siendo el SEDI-12 el índice que mejor ajusta a esta respuesta.

6 Referencias

Álvarez, A., Lecina-Diaz, J., Batllori, E., Duane, A., Brotons, L., & Retana, J. (2025). Spatiotemporal patterns and drivers of extreme fire severity in Spain for the period 1985–2018. *Agricultural and Forest Meteorology*, 358, 110185. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110185

Álvarez, R., & Martín, C. (2025). Evaluación preliminar de las condiciones meteorológicas asociadas al incendio de Foyedo (Asturias, marzo 2023). En *Red Temática Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos (FuegoRED). XI Congreso*

Internacional FuegoRED (p. 97). https://9cfe.congresoforestal.es/wp-content/uploads/2025/9cfe-1953.pdf

Bozorgi, M., Cristóbal, J., & Casadesús, J. (2026). Assessing the performance of multi-timescale drought indices for monitoring agricultural drought impacts on wheat yield. *Agricultural Water Management*, *323*, Article 110092. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.110092.

Bozorgi, M., Cristóbal, J., & Pàmies-Sans, M. (2024). Evaluating the Two-Source Energy Balance Model Using MODIS Data for Estimating Evapotranspiration Time Series on a Regional Scale. Remote Sensing, 16(23), 4587. https://doi.org/10.3390/rs16234587

Bento, V. A., Lima, D. C. A., Santos, L. C., Lima, M. M., Russo, A., Nunes, S. A., DaCamara, C. C., Trigo, R. M., & Soares, P. M. M. (2023). The future of extreme meteorological fire danger under climate change scenarios for Iberia. *Weather and Climate Extremes*, *42*, 100623. https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100623

Carracedo Martín, V., Liaño, C. D., García Codrón, J. C., & Rasilla Álvarez, D. F. (2009). Clima e incendios forestales en Cantabria: Evolución y tendencias recientes. Pirineos, 164, 28. https://doi.org/10.3989/pirineos.2009.v164.28

Centro Nacional de Información Geográfica & Instituto Geográfico Nacional. (2024). *SIOSE: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España*. https://www.siose.es/

Generalitat de Catalunya, Departament d'Interior. (2024). *Perímetros del buscador de incendios forestales. Bases cartográficas*. Portal de la Generalitat de Catalunya. https://web.gencat.cat/ca/generalitat/dades-indicadors/dades-obertes

García-Ruiz, J. M., López-Moreno, I. I., Vicente-Serrano, S. M., Lasanta-Martínez, T., & Beguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. Earth-Science Reviews, 105(3–4), 121–139. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.006

Liu, K., & Lopez, S. R. (2025). Post-fire evapotranspiration estimates in ground truth limited environments. Ecological Informatics, 90, 103275. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103275

Miezīte, L. E., Ameztegui, A., De Cáceres, M., Coll, L., Morán-Ordóñez, A., Vega-García, C., & Rodrigues, M. (2022). Trajectories of wildfire behavior under climate change. Can forest management mitigate the increasing hazard? *Journal of Environmental Management*, *322*, 116134. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116134

Oliveres, J., Castellnou, M., Castellarnau, X., Rosas-Casals, M., Brotons, L., & Duane, A. (2025). The path to strategic fire management planning in the Aran, Pyrenees. *Fire Ecology*, *21*(1), 9. https://doi.org/10.1186/s42408-024-00348-x

Verbesselt, J., Masiliūnas, D., Zeileis, A., & Appel, M. (2025). *BFAST: Breaks for Additive Season and Trend* (Versión 1.6.1) [Paquete de software]. Comprehensive R Archive Network (CRAN). https://doi.org/10.32614/cran.package.bfast

Actualización del censo de la parcela de seguimiento de *Genista longipes* Pau en la Sierra de Aitana (Alicante)

Marco-Molina, Juan Antonio[1], Padilla-Blanco, Ascensión[1], Sánchez-Pardo, Ángel[1] y Giménez-Font, Pablo[1]

[1] MedSPai Instituto de Investigación CIBIO - Instituto Interuniversitario de Geografía, Universitat d'Alacant, Campus de Sant Vicent del Raspeig, sn, 03690, Sant Vicent del Raspeig, España
pablo.gimenez@ua.es

Resumen. En la presente comunicación se presentan los resultados de los censos de 2020, 2022 y 2024, de la parcela de seguimiento de *Genista longipes* Pau en el sector oriental de la sierra de Aitana (Alicante). Esta población se encuentra en una posición sensiblemente inferior a la altitud del resto de individuos, lo que ha hecho que sea considerada como una subpoblación relicta, además de especialmente sensible al calentamiento global. Desde 2014 se realiza un seguimiento a nivel de ejemplar. En este trabajo se actualizan los datos publicados del censo desde 2018. La reducción del número de ejemplares vivos a tan solo seis en 2024, de los diecinueve registrados en 2014, junto con su mal estado de conservación, el escaso reclutamiento de plántulas y la ausencia de fructificación, revela un claro declive de la población.

Palabras clave: Flora amenazada, cambio climático, vegetación cacuminal, sierra de Aitana, *Genista longipes* Pau.

Resumo. Esta comunicação apresenta os resultados dos censos de 2020, 2022 e 2024 da parcela de monitorização de *Genista longipes* Pau no setor leste da Serra de Aitana (Alicante). Esta população situa-se a uma altitude significativamente inferior à do resto da população, o que levou à sua classificação como subpopulação relicta, particularmente vulnerável ao aquecimento global. A monitorização ao nível dos espécimes individuais é realizada desde 2014, e os dados publicados do censo de 2018 são aqui atualizados. A redução do número de espécimes vivos para apenas seis em 2024, contra os dezanoves registados em 2014, juntamente com o seu mau estado de conservação, o baixo recrutamento de plântulas e a ausência de frutificação, revela um claro declínio da população.

Palavras-chave: Flora ameaçada, alterações climáticas, vegetação de cumeada, Serra de Aitana, *Genista longipes* Pau.

Abstract. This report presents the results of the 2020, 2022, and 2024 censuses of the *Genista longipes* Pau monitoring plot in the eastern sector of the Sierra de Aitana (Alicante). This subpopulation is located at a significantly lower altitude than the rest of the main population. For this reason, it is considered a relict subpopulation, particularly vulnerable to global warming. Monitoring at the individual specimen level has been carried out since 2014. The data published from the 2018 census are now being updated. The number of live plants decreased to only six in 2024, down from nineteen recorded in 2014. These plants appear to be in poor condition, with low seedling recruitment and no fruiting. All of this indicates a clear population decline.

Keywords: Threatened flora, climate change, summit vegetation, Aitana mountain, *Genista longipes* Pau.

1 Introducción

La cumbre de la Sierra de Aitana, dentro de la Cordillera Bética, representa el límite de distribución oriental de *Genista longipes* Pau, una especie que forma parte de los matorrales orófilos pulvinulares béticos, considerados entre las comunidades vegetales de montaña más vulnerables frente al calentamiento global. El bloque culminante de este macizo valenciano, cuya extensa cumbre alcanza los 1558 msnm, acoge una población de *Genista longipes* Pau que puede caracterizarse de exclusiva, toda vez que la especie no vuelve a aparecer hasta la cumbre de Sierra Espuña (Murcia) a unos 150 km de distancia hacia el suroeste. De esta forma, Aitana actúa como un área refugio que, también, puede considerarse como un área relicta, con una gran fragilidad ante el calentamiento global. De hecho, distintas modelizaciones han demostrado una subida generalizada de las temperaturas (Miró et al. 2016) y un retroceso del área de ocupación de la especie, que debió ser muy superior si se atienden a modelos de distribución (Marco et al. 2020; Martínez et al. 2025).

La distribución general de la especie en la sierra se conoce a través de CUTM de 1 km y una cartografía corológica de detalle para el sector oriental (Marco et al. 2016). En 2004, realizando dicha cartografía corológica de la especie se amplió el área de ocupación conocida hasta el momento. La mayor parte de las poblaciones se localizaron a partir de los 1475 msnm., en consonancia con la cota mínima definida por Castroviejo et al. (1993), pero también se detectó una pequeña subpoblación aislada a 2,5 km al este de las poblaciones principales, a unos 1300 m de altitud. Con el objetivo de comprender esta localización disyunta, se calculó el Índice de Termicidad en cuadrículas de 200 m de

lado para delimitar la extensión y subdivisión del piso supramediterráneo. A partir de estos datos se modelizó un escenario de incremento térmico que predecía la posible extinción de la especie (Marco, et al. 2020). Más recientemente se ha ensayado con Maxent un modelo de áreas potenciales de presencia de la especie, determinando las variables ambientales más influyentes en su distribución (Martínez, et al. 2025).

Para contrastar la hipótesis de la extinción, desde 2014 se lleva a cabo un seguimiento basado en un trabajo de campo exhaustivo sobre esta población disyunta, a modo de parcela experimental de seguimiento. En la presente comunicación presentamos los resultados de los censos de 2020, 2022 y 2024; censos que, unidos a los de 2014, 2016 y 2018, nos permiten analizar la evolución de la subpoblación en la última década.



Fig. 1. Distribución de *Genista longipes* Pau en España por provincias (color verde) y localización en CUTM de 10x10 km (color rojo). Fuente: ANTHOS. Elaboración propia.

2 Materiales y métodos

Los censos del área disyunta de *G. longipes* se realizan durante el mes de julio, cada dos años desde 2014. Se emplea para ello un GPS de precisión decimétrica (Geo7X de Trimble) con corrección postproceso. En 2004 la toma de datos se realizó con el mismo instrumental de la misma casa (modelos GeoXH, GeoXT), pero con una precisión algo menor en la corrección de datos. La información recogida en campo es la geoposición de cada ejemplar, además de una serie de datos sobre el tamaño o diámetro mayor, estado de conservación de la planta y fructificación observada. Al tiempo, se realiza una fotografía cenital con el fin de poder comparar cada ejemplar no solo con las anotaciones tomadas en campañas anteriores, sino también con la imagen capturada bienalmente. Por tanto, podemos conocer la evolución cuantitativa y cualitativa de cada individuo y establecer con precisión la dinámica progresiva o regresiva de la población.

Para realizar el análisis pluviométrico del periodo contemplado en los censos del taxón, 2014-2024, se han utilizado los datos de precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Sella - AEMET, completados para el periodo de enero a junio de 2020 con la de Sella – AVAMET (media de la serie decenal de 430 mm). La localización de ambas se encuentra sensiblemente a menor altitud, 415 msnm, de la población analizada y al sur de ésta, pero contiene completa la serie temporal requerida para los totales mensuales, por lo que se ha considerado representativa del patrón pluviométrico regional del periodo temporal analizado.

3 Resultados

En la Fig. 2 se sintetizan los resultados de los censos entre 2014 y 2024. Se representan en positivo los ejemplares vivos y en negativo los ejemplares muertos (sean plántulas o ejemplares adultos) o desaparecidos (de los que no queda rastro alguno). Se aprecia que el máximo de ejemplares vivos (sin matices) alcanzado en 2014 ha ido reduciéndose censo tras censo, hasta los 6 ejemplares del último de ellos, en 2024. Por contra, y en buena lógica, ha ido creciendo el número de ejemplares muertos (incluidas plántulas) y desaparecidos; de manera que, en 2024, el total acumulado de ejemplares extintos llega a los 25; es decir, hasta un total absoluto de 31 individuos, mientras que el punto de partida lo constituían 26.

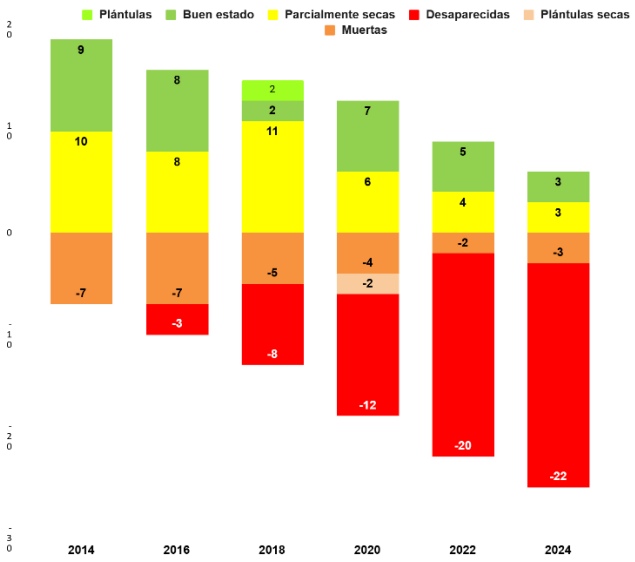


Fig. 2. Comparación de censos de la subpoblación oriental de *G. longipes* Pau en Aitana (2014-2024). Elaboración propia

Este aparente aumento respecto al total absoluto (de 26 a 31), se debe a que, en 2018, observamos que la población aumentó en dos ejemplares, que se identificaron como plántulas (ejemplares identificados con los números 27 y 28 de

la tabla 1); mientras que, en 2020, la población aumenta de nuevo en tres ejemplares más (identificados con los números 29, 30 y 31 de la tabla 1), que no se consideraron plántulas por el tamaño que presentaban. En cualquier caso, ni las plántulas ni los ejemplares nuevos de 2020 llegaron hasta el último censo ya que, como se puede apreciar en la tabla que refleja la evolución del estado de cada una de las plantas, únicamente han sobrevivido 6 correspondientes a ejemplares censados ya en 2014 e, incluso, en 2004 (ejemplares 1,2,3,6 y 7). Esto indica un escaso reclutamiento en los últimos 10 años, en contraste a lo que sucedió en los primeros 10 años, es decir, entre 2004 y 2014, período en el que se pasó de 5 a 26 ejemplares.

Tabla 1. Evolución del estado de los ejemplares y fructificación. El color se explica en la Fig. 2. Fuente: elaboración propia.

Id	2014	2016	2018	2020	2022	2024
1					●	
2						
3	●	●	●	●	●	
4						
5						
6						
7	●	●		●	●	
8		●				
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17		●	●			
18						
19						
20						
21						
22		●				
23		●				
24		●				
25				●		
26		●				
27						
28						
29						
30						
31						

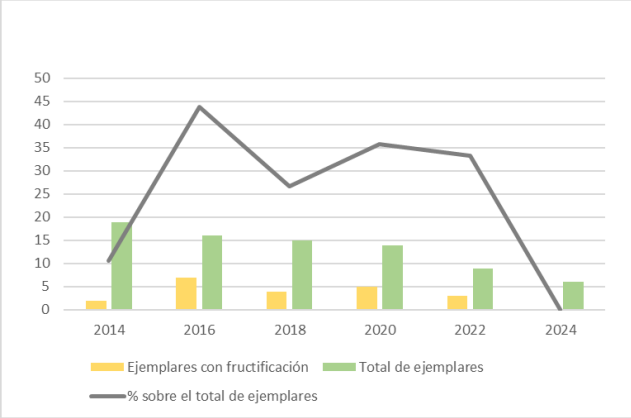


Fig. 3. Evolución de la fructificación de los ejemplares de la subpoblación analizada. Fuente: elaboración propia.

Por lo que respecta a la fructificación, parece que hay una relación directa con la pluviometría, al vincularse la baja o nula producción de semillas con los años secos (2014 es uno de los más secos desde 1955, con 200,4 mm) y un repunte tras primaveras húmedas como las de 2016 o 2020. Sin embargo, con la reducción general de ejemplares, las tasas de fructificación también descienden significativamente, hasta llegar a cero en 2024 donde, pese a una primavera húmeda, ninguno de los seis ejemplares vivos desarrolló frutos.

4 Discusión y conclusiones

En la línea de lo publicado en trabajos anteriores (Marco et al. 2016, 2020), los resultados obtenidos de forma bienal muestran una dinámica compleja. La población experimentó un sorprendente aumento entre 2004 y 2014, ya que, a tenor de la hipótesis de partida, se estimó que, por ser una subpoblación disyunta y a menor altitud que el resto, estaba abocada a su extinción. No obstante, tras esta sorpresa inicial, en las revisiones posteriores se observa una evidente tendencia decreciente que, en los últimos censos (2020, 2022 y 2024), se traduce en un descenso sostenido sin matices.

Tras el crecimiento registrado entre 2004 y 2014, cuyas causas todavía se desconocen, actualmente se está volviendo a la situación inicial -recordemos, 5 ejemplares en 2004 y 6 en 2024. Los datos de fructificación (tabla 1) demuestran el valor de ejemplares ya presentes en 2004, que actuarían como plantas nodriza (nº 7); pero también se aprecia la muerte de algunas de ellas (nº 3, Fig. 4), con consecuencias todavía por dilucidar.

Desde el punto de vista climático, trabajos anteriores han cuestionado el peso de la temperatura como única variable explicativa de la dinámica de la especie, poniendo de manifiesto la necesidad de considerar otros factores como la influencia del viento o las nieblas y precipitaciones. Con los datos disponibles, no se ha hallado una correlación directa entre la muerte de ejemplares y la precipitación anual, cuya media no se ha reducido en el periodo analizado. Otros modelos ensayados (Martínez et al. 2025) han señalado la importancia de la precipitación del trimestre más seco, en este

caso el correspondiente a junio, julio y agosto, pero tampoco se aprecia una correlación directa con la dinámica de la población, incluidos los datos de fructificación.



Fig. 4. Evolución del ejemplar *nodriza* nº 3 entre 2014 (superior), 2022 (centro) y 2024 (inferior, muerta). Fuente: elaboración propia

El análisis de variables climáticas podrá mejorarse en un futuro con los datos proporcionados por la estación "Confrides-Cim d'Aitana" de AVAMET, activa desde diciembre de 2023, junto con otras similares localizadas en el entorno del del macizo de Aitana. A tenor de los resultados obtenidos en la fructificación y teniendo en cuenta que la red de estaciones se está densificando, se incorporarán en el análisis los datos climáticos de estas estaciones automáticas, con especial interés en las temperaturas.

La continuación de los censos bienales, en combinación con estos nuevos datos, permitirán confirmar si desde 2014 se asiste a una reducción progresiva que podría acabar con todos los ejemplares de la subpoblación o si, por el contrario, asistimos a una dinámica habitual de las poblaciones de *G. longipes* en espacios exigentes como las cumbres de la montaña media mediterránea.

5 Referencias

Castroviejo, S. et al. (eds.) (1993). Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares, vol. IV Cruciferae-Monotropaceae. Real Jardín Botánico - CSIC.

Marco-Molina, J. A., Azorín-Amorós, D., Giménez-Font, P., Miró-Pérez, J. J., Padilla-Blanco, A., & Sánchez-Pardo, A. (2016). Comparación de los censos de *Genista longipes* Pau (2004-2014) en la Serra d'Aitana, Alacant, en el contexto del calentamiento global. En J. Gómez, et al. (Eds.): *Avances en biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras* (pp. 231-239). Universidad de Granada.

Marco-Molina, J.A., Giménez-Font, P., Azorín-Amorós, D., Padilla-Blanco, A., & Sánchez-Pardo, A. (2020). Cartografía corológica de detalle y calentamiento global*: Genista longipes* Pau en la Serra d'Aitana (Alicante). *Cuadernos Geográficos* 59 (2), 287-307. http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.10107.

Martínez-Pérez, J.E., Sánchez-Pardo, Á., Giménez-Font, P., Padilla-Blanco, A., Marco-Molina, J. A. (2025). Modelo de distribución potencial de Genista longipes Pau en la Serra d'Aitana (Alacant, España). En *Actas del III Congreso Iberoamericano de Biogeografía, I Conferencia Brasileña de Biogeografía y Cambio Climático, XIII Congreso Español de Biogeografía* (pp. 1-5). Even3.

Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V., & Olcina-Cantos, J. (2016). Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain. *Atmospheric research*, 180, 150-164. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.05.020

6 Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado en el marco del proyecto de investigación PALEOPINSAPO II (PID2022-141592NB-100) financiado por el MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por "FEDER/UE".

Propiedades del suelo en niveles edáficos y antracomasa en el Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (provincia de Málaga)

Menjíbar-Romero, Mario[1], Pardo-Martínez, Rubén[2], Fernández Castaño, Francisca[2], Martínez-Murillo, Juan Francisco[1] y Gómez Zotano, José[2]

[1] Departamento de Geografía, Universidad de Málaga. Bulevar Louis Pasteur, 28, 29010, Málaga, España
[2] Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Granada, Campus Universitario Cartuja S/n, 18011, Granada, España
mariomenjibar@uma.es

Resumen. Los estudios pedoantracológicos son una herramienta muy útil para el entendimiento de la dinámica geoecológica del paisaje, en especial, aquellos afectados por cambios climáticos y el fuego. Este trabajo tiene por objetivo realizar una primera evaluación de las relaciones entre la abundancia de antracomasa y algunas propiedades edáficas, con el fin último de mejorar la eficacia de los muestreos de campo y las analíticas en laboratorio. Para ello, se muestrearon un total de 9 perfiles en diferentes geosistemas en el Parque Nacional de la Sierra de las Nieves y su entorno; las muestras fueron utilizadas para calcular la de masa de carbón vegetal y el análisis de propiedades edáficas. Los resultados indican mayores valores de antracomasa en suelos más arenosos y con más contenido en gravas, y menores valores en suelos con mayor contenido en cationes de Ca^{2+}.

Palabras clave: perfil del suelo, suelo, propiedades edáficas, antracomasa, Sierra de las Nieves.

Resumo. Os estudos pedoantracológicos constituem uma ferramenta muito útil para a compreensão da dinâmica geoecológica da paisagem, em especial daquelas afetadas pelas alterações climáticas e pelo fogo. Este trabalho tem como objetivo realizar uma primeira avaliação das relações entre a abundância de antracomassa e algumas propriedades edáficas, com o objetivo final de melhorar a eficácia das amostragens de campo e das análises laboratoriais. Para tal, foram amostrados um total de 9 perfis em diferentes geossistemas no Parque Nacional de la Sierra de las Nieves e arredores; as amostras foram utilizadas para o cálculo da massa de carvão vegetal e a análise das propriedades edáficas. Os resultados indicam valores mais elevados de antracomassa em solos claramente mais arenosos e com maior teor de cascalho, e valores mais baixos em solos com maior presença de catiões de Ca^{2+}.

Palavras-chave: perfil do solo, solo, propiedades do solo, antracomasa, Sierra de las Nieves.

Abstract. Pedo-anthro-ecological studies are a very useful tool for understanding the geo-ecological dynamics of the landscape, particularly in areas affected by climate change and fire. The aim of this study is to conduct an initial assessment of the relationships between the abundance of anthracomass and certain soil properties, with the ultimate goal of improving the efficiency of field sampling and laboratory analysis. To this end, a total of 9 profiles were sampled across different geosystems in the Sierra de las Nieves National Park and surroundings; the samples were used to calculate charcoal mass and analyse soil properties. The results indicate higher anthracite content in soils that are clearly sandier and contain more gravel, and lower values in soils with a higher concentration of Ca^{2+} cations.

Keywords: soil profile, soil, soil properties, anthracomass, Sierra de las Nieves.

1 Introducción

En los estudios pedoantracológicos, la antracomasa, entendida como la relación entre los carbones y el peso en seco del nivel edáfico muestreado posibilita una primera aproximación a la importancia que tuvieron los incendios forestales pasados en una determinada localidad. Más allá de esa información, las interpretaciones paleoecológicas basadas en este parámetro son todavía limitadas, ya que previamente es necesario comprobar que el suelo muestreado actúa como un archivo fiable. En ambientes de montaña, como ocurre en el Parque Nacional de la Sierra de las Nieves (PNSN, en adelante), la presencia de carbones difiere significativamente entre distintas localidades muestreadas, como han puesto de manifiesto trabajos recientes (Olmedo-Cobo et al., 2021; Pardo-Martínez et al., 2023), por lo que resulta de gran interés evaluar si la matriz edáfica permite su conservación y si el depósito ha permanecido estable frente a procesos de erosión, lavado o removilización en ladera.

Partiendo de lo anterior, el objetivo de este trabajo es caracterizar las propiedades físico-químicas de los perfiles edáficos seleccionados para el muestreo de antracomasa, con el fin de evaluar su idoneidad como soportes paleoambientales. Se parte de la premisa de que la marcada heterogeneidad litológica y geomorfológica del PNSN podría

condicionar de forma decisiva la capacidad del suelo para preservar adecuadamente la calidad del registro carbonizado de la mejor manera posible, independientemente del número de restos de carbones presentes.

2 Materiales y métodos

Los perfiles muestreados se localizan en el PNSN y en sus cercanías. El PNSN se sitúa en el sur de la península ibérica, (Fig. 1). Su territorio es reconocido por la gran diversidad de áreas de paisaje y geosistemas que alberga, gracias a una rica geodiversidad, biodiversidad, uso humano histórico y patrimonio cultural (Menjíbar-Romero et al., 2024). Según el OAPNE (2026), el PNSN incluye toda una serie de sistemas naturales, con gran interés en su protección, como se recoge en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad; de entre ellos, los más sobresalientes, indicados en su Declaración como parque nacional (BOE, 2021), serían: abetales (*Abies pinsapo Boiss*.), quejigales de alta montaña (*Quercus faginea* subsp. *alpestris*) y pinares (*Pinus pinaster* L.) en relieves peridotíticos. Según Olmedo Cobo y Gómez Zotano (2017), el PNSN presenta un clima mediterráneo con distintos regímenes y matices, condicionados principalmente por la altitud y la orientación. Asimismo, el relieve presenta una configuración muy compleja desde el punto de vista topográfico, geológico y geomorfológico.

Para este trabajo, se muestrearon 9 perfiles en el PNSN y su entorno próximo. En cada uno de ellos se identificaron en campo los horizontes de visu y se tomaron muestras alteradas de entre 1 y 5 kg, siguiendo los protocolos del IUSS Working GroupWRB y Cunill (2010) para el posterior análisis de las propiedades edáficas y de la antracomasa en laboratorio, respectivamente. En cuanto a las propiedades edáficas, analizadas a partir de la fracción mineral de las muestras de suelo, se determinaron las siguientes: color en seco y en húmedo, pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica y carbono orgánico, bases de cambio (Ca, K, Mg, Na), capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, contenido de carbonatos y composición granulométrica. Respecto a la antracomasa o valor de la masa de carbón, este se obtuvo mediante el siguiente proceso: i) secado al aire de las muestras de suelo; ii) tamizado en húmedo empleando diferentes pasos de malla (0,8, 2 y 5 mm); y iii) cálculo dividiendo el peso del carbon, en miligramos, de cada nivel de muestreo entre la masa de la muestra, en kilogramos, y restándole el peso del material mineral de tamaño superior a 5 mm.

Por último, se procedió a realizar un análisis estadístico exploratorio de las correlaciones significativas entre las variables edáficas y la antracomasa, a fin de resaltar con qué propiedades hubiere mejor relación respecto a la presencia de carbones vegetales. Para este análisis se utilizó el software SPSS 30.

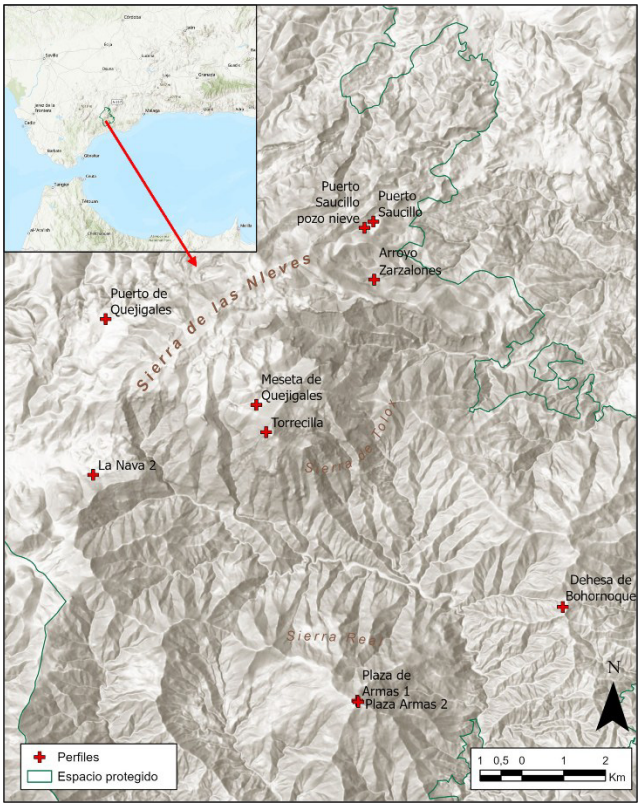


Fig. 1. Localización de área de estudio y perfiles del muestreo.



Fig. 2. Detalle fotográfico del perfil 'Meseta de Quejigales'.

3 Resultados y discusión

El número total de perfiles incluidos en este trabajo asciende a 9, siendo variables el número de niveles muestreados en cada uno de ellos (Tabla 1), ya que dependía de la profundidad del suelo en cada punto de muestreo. Los resultados de

las analíticas de las propiedades edáficas pueden resumirse del siguiente modo:

i) en general, los valores de materia y carbono orgánicos están en consonancia con los suelos forestales muestreados, oscilando entre 1,5 % y 0,9 % a 27,5 y 15,0 %, respectivamente, habiéndose observado el descenso de sus magnitudes con la profundidad muestreada;

ii) el pH oscila entre 5,2 (fuertemente ácido) a 8,1 (básico), manifestando la naturaleza del roquedo sobre el que se desarrolla el suelo; asimismo, la conductividad eléctrica muestra valores que indican total ausencia de salinidad, sin consecuencias para la vegetación;

iii) al igual que ocurre con el pH, los cationes disponibles también ofrecen una correlación con el roquedo de origen del suelo. Ninguno de los perfiles presenta saturación en bases, circunstancia que puede relacionarse con unas abundantes precipitaciones anuales por término medio; los valores de CIC obtenidos muestran por lo general un predominio de minerales de arcilla de montmorillonita, salvo en el perfil 'Meseta de Quejigales', donde en los niveles más profundos predomina la illita;

iv) por último, la composición granulométrica también muestra similitudes con el roquedo originario del suelo, predominando las texturas franco-limosas y limosas.

Tabla 1. Situación geográfica y número de niveles muestreados en los perfiles.

Nombre del perfil	Coordenadas	Niveles
Arroyo de Zarzalones	36º42'25"N; 04º58'11"O	2
Dehesa de Bohornoque	36º37'25"N; 04º55'59"O	3
La Nava 2	36º39'49"N; 05º02'38"O	5
Meseta de Quejigales	36°40'46"N; 05°00'02"O	9
Plaza de Armas 1	36º36'58"N; 04º58'17"O	2
Puerto de Quejigales	36º41'28"N; 05º02'48"O	4
Puerto Saucillo	36º43'10"N; 04º58'13"O	2
Puerto Saucillo (pozo de nieve)	36º43'05"N; 04º58'11"O	2
Torrecilla	36º40'43"N; 04º59'52"O	3

La Tabla 2 recoge los valores totales de antracomasa obtenidos para cada perfil, observándose una elevada variabilida: valor máximo de 11 937,0 mg kg-1 en el perfil 'Dehesa de Bohornoque' y valor mínimo de 3,0 mg kg^{-1} en 'Puerto de Quejigales'. Cabe reseñar asimismo el número de géneros vegetales por perfil reconocidos a partir de la observación detallada de los restos de carbones, oscilando entre 0 y 5; por orden de frecuencia de aparición en los perfiles, de mayor a menor, son: *Quercus*, 6; *Abies*, 4; *Arbutus*, 4; *Juniperus*, 4; *Pinus* 3; *Acer*, 1; *Erica*, 2; *Frangula*, 1; *Fraxinus*, 1; y *Taxus* 1. La identificación a nivel de especie o grupo taxonómico tan solo ha sido posible en los siguientes casos: *Pinus* tipo *nigra/sylvestris*, *Pinus* tipo *pinaster/halepensis* y *Taxus baccata*.

Tabla 2. Valores totales de antracomasa en cada perfil. Abreviaciones: Ac, antracomasa (mg kg^{-1})

Nombre del perfil	Ac	Nº Géneros
Arroyo de Zarzalones	192,0	5
Dehesa de Bohornoque	11 937,0	5
La Nava 2	68,0	0
Meseta de Quejigales	2 313,9	5
Plaza de Armas 1	226,0	5
Puerto de Quejigales	3,0	4
Puerto Saucillo	90,0	2
Puerto Saucillo (pozo de nieve)	89,0	5
Torrecilla	321,0	4

Finalmente, se llevó a cabo un análisis estadístico exploratorio de las relaciones entre las variables edáficas y la antracomasa, considerando tanto los perfiles como los distintos niveles de muestreo. Tras comprobar la homosteicidad de las variables, se calculó el coeficiente de Pearson. Entre los resultados obtenidos, cabe destacar las siguientes correlaciones significativas ($p<0.05$): valores más elevados de antracomasa en suelos claramente más arenosos y con mayor contenido en gravas, así como valores menores en suelos con mayor presencia de cationes de Ca^{2+}.

4 Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de los muestreos y de las relaciones establecidas entre las variables consideradas ponen de manifiesto la necesidad de ampliar este trabajo mediante un mayor número de perfiles, muestreos y análisis. Por un lado, ello resulta fundamental desde el punto de vista metodológico, ya que el establecimiento de relaciones entre las propiedades edáficas y la antracomasa puede contribuir a agilizar las labores de campo en el conocimiento de una línea de investigación clave para comprender los procesos geoambientales y sus consecuencias geoecológicas, especialmente en espacios naturales protegidos.

5 Referencias

BOE. (2021). Declaración del Parque Nacional Sierra de las Nieves. *Boletín Oficial del Estado*. https://www.boe.es/boe/dias/2021/07/02/pdfs/BOE-A-2021-10958.pdf

Cunill, R. (2010). *Estudi interdisciplinari de l'evolució del límit superior del bosc durant el període holocènic a la zona de Plaus de Boldís-Montarenyo, Pirineu central català (Tesis doctoral).* Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.

IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, fourth ed.* International Union of Soil Sciences (IUSS).

Menjíbar-Romero, M., Remond, R. & Martínez Murillo, J.F. (2024). Las unidades de paisaje del Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves: caracterización, cambios y métricas. *Rev. Geogr. Norte Gd.,* 87. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022024000100114

Organismo Autónomo de Parques Nacionales. (2026). Parque Nacional de la Sierra de las Nieves. https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/red-parques-nacionales/parques-nacionales/sierra-de-las-nieves.html

Olmedo Cobo, J. & Gómez Zotano, J. (2017). Los climas de la Serranía de Ronda: una propuesta de clasificación. *Takurunna*, 6-7, 23-57.

Olmedo-Cobo, J.A., Pardo-Martínez, R. & Gómez-Zotano, J. (2021). Primeros datos sobre la composición holocena de los bosques de montaña en el Parque Natural Sierra de las Nieves (Serranía de Ronda) a partir del análisis pedoantracológico. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 89. https://doi.org/10.21138/bage.3099.

Pardo-Martínez, R., Olmedo-Cobo, J.A., Gómez-Zotano, J. & Alba Sánchez, F. (2023). Multiproxy analysis for the paleobiogeographical reconstruction of the relict forests of the Serranía de Ronda during the Holocene (Baetic System, Spain*). Holocene*, 33, 1422–1437. https://doi.org/10.1177/09596836231185835

Citizen science and invasion risk modelling for alien plant management in the Costa Brava (NE Iberian Peninsula): the LIFE medCLIFFS project

Magdalini Mertzimeki, Maria[1,2], Garcia Casanova, Laia[1,3], Goncalves, Estefany[4], Mestre, Edgard[1], Bosch-Guiu, Arnau[5], Ibáñez, Neus[1], Santana, Carlos[1], Caralt, Francesc[6], Garcia, Sonia[1], López-Pujol, Jordi[1,7] y Nualart, Neus[1]

[1] Institut Botànic de Barcelona (IBB), CSIC-CMCNB, Pg. Migdia s.n., 08038, Barcelona, Spain
[2] Fac. of Environmental Sciences, Czech Univ. of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 00, Praha-Suchdol, Prague, Czech Republic
[3] Fac. de Biociències, Univ. Autònoma de Barcelona, C/ Vall Moronta s/n, 08193, Cerdanyola del Vallès, Spain
[4] Dep. de Biologia, Sanitat i Medi Ambient, Fac. de Farmàcia, Univ. de Barcelona, Av. Joan XXIII, 27-31, 08028, Barcelona, Spain
[5]Estación Experimental de Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZA-CSIC), 04120, Almería, Spain
[6] Flora Catalana, C/ Camí de la Bisbal, 12, Albinyana (Les Peces), 43716, Tarragona, Spain
[7] Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Espíritu Santo (UEES), 091650, Samborondón, Ecuador
nnualart@ibb.csic.es

Abstract. Mediterranean coastal habitats are highly valuable yet increasingly subjected to urbanization and vulnerable to invasions by alien plants, often originating from garden escapes. The LIFE medCLIFFS project combines citizen science, species distribution models, and decision-support tools to improve the detection, monitoring, and risk assessment of invasive alien plants along the Costa Brava (NE Iberian Peninsula). This study aimed to characterize the potential distribution of 15 alien coastal plant species in Catalonia, identify invasion hotspots and priority areas for monitoring and management, and develop an R Shiny web application (InvApp) for invasion risk assessment and species prioritization. Hierarchical models for 15 priority species (e.g. *Ailanthus altissima*, *Carpobrotus* spp., and *Opuntia ficus-indica*) identify areas of high suitability, while iNaturalist-based networks contribute over 10,000 records and annual monitoring of 33 target species. These data are integrated into web applications that visualize invasion risk and support adaptive management.

Keywords: Invasive alien plant species (IAPS), species distribution models (SDMs), invasion risk assessment, citizen science, coastal habitats.

Resumen. Los hábitats costeros mediterráneos son altamente valiosos, aunque sujetos a la urbanización y vulnerables a las invasiones de plantas alóctonas, a menudo escapadas de jardinería. El proyecto LIFE medCLIFFS combina ciencia ciudadana, modelos de distribución de especies y herramientas de apoyo a la toma de decisiones para mejorar la detección, el monitoreo y la evaluación del riesgo de plantas exóticas invasoras a lo largo de la Costa Brava (NE de la península ibérica). Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la distribución potencial de 15 especies de plantas alóctonas litorales en Cataluña, identificar hotspots de invasión y áreas prioritarias para el monitoreo y manejo, y desarrollar una aplicación web en R Shiny (InvApp) para la evaluación del riesgo de invasión y la priorización de especies. Los modelos jerárquicos para 15 especies prioritarias (por ejemplo, *Ailanthus altissima*, *Carpobrotus* spp. y *Opuntia ficus-indica*) identifican áreas de alta idoneidad, mientras que redes basadas en iNaturalist aportan más de 10.000 registros y un monitoreo anual de 33 especies objetivo. Estos datos se integran en aplicaciones web que permiten visualizar el riesgo de invasión y apoyar una gestión adaptativa.

Palabras clave: Especies de plantas alóctonas invasoras, modelos de distribución de especies, evaluación del riesgo de invasión, ciencia ciudadana, hábitats costeros.

Resumo. Os habitats costeiros mediterrânicos são altamente valiosos, mas sujeitos à urbanização e às invasões por plantas alóctones, frequentemente provenientes de escapes de jardinagem. Este projeto LIFE medCLIFFS combina ciência cidadã, modelos de distribuição de espécies e ferramentas de apoio à decisão para melhorar a deteção, monitorização e avaliação do risco de plantas exóticas invasoras ao longo da Costa Brava (NE da Península Ibérica). O estudo teve como objetivo caracterizar a distribuição potencial de 15 espécies de plantas alóctones costeiras na Catalunha, identificar hotspots de invasão e áreas prioritárias para monitorização e gestão, e desenvolver uma aplicação web em R Shiny (InvApp) para avaliação do risco de invasão e priorização de espécies. Os modelos hierárquicos para 15 espécies prioritárias (por exemplo, *Ailanthus altissima*, *Carpobrotus* spp. e *Opuntia ficus-indica*) identificam áreas de elevada adequabilidade, enquanto redes baseadas no iNaturalist contribuem com mais de 10.000 registos e monitorização anual de 33 espécies-alvo. Estes dados são integrados em aplicações web que permitem visualizar o risco de invasão e apoiar uma gestão adaptativa.

Palavras-chave: Espécies invasoras de plantas exóticas, modelação da distribuição de espécies, avaliação do risco de invasão, ciência cidadã, habitats costeiros.

1 Introduction

Mediterranean coastal habitats are among the most biodiverse and ecologically valuable ecosystems in Europe, but also among the most threatened (Myers et al., 2000). In particular, sea cliff communities included in the Habitats Directive (e.g., Habitat 1240: vegetated sea cliffs with endemic *Limonium* spp.) are highly vulnerable to anthropogenic pressure, habitat fragmentation, and biological invasions. Invasive alien plant species (IAPS), many of them introduced through ornamental horticulture and garden escapes, represent a major driver of biodiversity loss in these systems, particularly in the coastal landscapes of the Costa Brava (Catalonia, NE Iberian Peninsula) (Gómez-Bellver et al., 2025).

The LIFE medCLIFFS project is a nature conservation initiative funded by the European Union's LIFE Programme, focused on improving the management of IAPS in Mediterranean Sea cliff ecosystems of high ecological value. Its main objective is to protect and restore the floristic diversity of coastal cliffs—especially those dominated by endemic *Limonium* species (Habitat 1240)—currently threatened by the spread of IAPS. The project is implemented mainly along the Costa Brava and the Cap de Creus Natural Park, one of the most affected areas in the Mediterranean region. It develops an integrative strategy combining prevention, early detection, risk modelling, rapid response, and field control actions, together with public participation, citizen science, and knowledge transfer to support long-term conservation planning.

Within this framework, the present work contributes two complementary components. First, a citizen science system has been established to strengthen monitoring and data collection to generate large-scale occurrence records of alien plants, and to assess population dynamics of priority IAPS. Second, these data are integrated into a spatial modelling framework that estimates current and future invasion risk using species distribution models combined with dispersal simulations.

2 Enhancing IAPS monitoring through citizen science networks

2.1 iNaturalist and digital citizen observations

The citizen science component of LIFE medCLIFFS establishes a long-term monitoring system and improves the availability of spatial and temporal data on IAPS through two coordinated networks on iNaturalist: the LIFE medCLIFFS Observers' Network (LmON, iNaturalist 2026a) and the LIFE medCLIFFS Volunteers' Network (LmVN, iNaturalist 2026b) (López-Guillén et al., 2024). This platform allows users to upload observations of fauna and flora, including photographs and location data, contributing to a continuously growing database. Although both networks rely on citizen participation and share the same technological platform, they differ in their objectives, levels of commitment, and types of data generated.

The LmON captures all occurrence records of up to 184 alien plant species across the Costa Brava, regardless of the observers' linkage to the project. This open network maximizes spatial coverage and facilitates early detection of new occurrences, particularly in areas where traditional monitoring is limited.

In parallel, the LmVN is a structured monitoring program comprising a small group of trained participants. Volunteers receive specific training in species identification and data recording to ensure methodological consistency and data reliability. In this context, volunteers have access to specialized formation courses on invasive coastal flora, supporting materials, and guided field trips. The monitoring activities are conducted annually along 106 predefined transects distributed across the Costa Brava. Volunteers focus on 33 invasive or potentially IAPS previously identified as priorities (either due to their inclusion in current European or Spanish legislation or based on expert criteria). For each target species, volunteers record the approximate area occupied by the population as well as its developmental stage. This includes distinguishing between juvenile individuals, vegetative adults, reproductive plants bearing flowers or fruits, and senescent individuals. This standardized approach generates comparable data across sites and years, enabling the assessment of temporal trends, invasion dynamics, and reinvasion processes following management actions.

Both networks contribute a substantial number of records (Table 1), with a higher proportion originating from the Observers' Network due to its open and opportunistic nature. In the LmVN, almost all species have been observed over the years. The ones not observed are *Cenchrus setaceus*, *Cylindropuntia pallida*, and *Fallopia baldschuanica*. However, *C. pallida* was detected within the observer network but was reported and eradicated due to the risk it posed to human health and the environment. In contrast, *C. setaceus* and *F. baldschuanica* were observed further inland, and therefore their locations did not correspond to any transect.

Table 1. Cumulative number of observations over the years (up to April 11, 2026) and number of species observed each year from both iNaturalist projects.

	2023	2024	2025	2026
LmON	4022 / 99	6509 / 111	8645 / 113	9424 / 49
LmVN	1346 / 30	2777 / 32	5392 / 28	5843 / 26

All observations, including associated ecological attributes, are recorded within customized iNaturalist projects and undergo regular expert validation. This combined approach ensures both data quality and adaptability. The resulting dataset plays a key role in supporting Early Detection and Rapid Response (EDRR) (Reaser et al., 2020), enabling the identification of new invasions and reinvasion processes,

and providing an empirical basis for guiding management and control actions.

2.2 Population dynamics and dynamics status app

Within the framework of the LIFE medCLIFFS, one of the main aims was to reveal that the population dynamics of IAPS can be effectively inferred from simple life-stage observations, offering a practical yet insightful alternative to traditional demographic approaches. By classifying populations into propagative, mixed, or senescent states, the key phases of invasion were captured, ranging from active expansion to stabilization or decline—see Santana et al. (2024) for the extended methodology.

Overall, many populations exhibit mixed structures (60.4% since the beginning, 55.8% in the last year), suggesting that a substantial proportion of IAPS are already well established and undergoing continuous cycles of recruitment and mortality, characteristic of populations approaching equilibrium. At the same time, the presence of strongly propagative populations (28.3% overall, 32.6% in the last year) indicates that some invasions are still in an early, expansion-driven phase, highlighting ongoing colonization processes. Importantly, these dynamics are not spatially uniform; variation across surveyed areas points out the influence of local environmental conditions and disturbance regimes in shaping population trajectories and potentially creating invasion hotspots. The approach also demonstrates sensitivity to management interventions, as declining (senescent) populations (11.3% overall, 11.7% in the last year) can reflect successful control efforts.

A new web application has been developed to evaluate these patterns using data provided by volunteers (LIFE medCLIFFS, 2025). This tool enables comparisons among species and supports management prioritization based on the area occupied, the number of transects in which each species is recorded, and the proportion of propagative populations. For instance, *Pittosporum tobira*, *Opuntia ficus-indica*, and *Carpobrotus* spp. rank as high-priority taxa due to their wide distribution and presence across numerous transects, although they show relatively lower proportions of propagative populations (24.1%, 17.6%, and 17.0%, respectively). *Kalanchoe ×houghtonii* and *Senecio angulatus* are considered medium-priority species due to their high percentage of propagative populations (74.1% and 51.6%), being recorded in more than 25 transects.

3 Invasion risk modelling and decision-support tools

Within the LIFE medCLIFFS project, a modelling framework was implemented to transform heterogeneous occurrence data, including citizen science data, into operational tools for conservation planning and management.

This framework integrates species distribution models (SDMs), dispersal simulations, and spatial prioritization to identify areas at risk and support proactive decision-making.

3.1 Species distribution models for invasion risk assessment

Species distribution maps were developed for a subset of 15 IAPS across Catalonia, with a particular focus on coastal areas of the Costa Brava and the Cap de Creus Natural Park. This subset was selected from the pool of 33 species monitored by the LIFE medCLIFFS project, based on their invasive or potentially invasive status and management relevance. The modelling workflow combines global and regional occurrence data, environmental predictors and spatial modelling techniques to produce ecologically robust and management-oriented outputs.

Occurrence records were compiled globally from biodiversity databases included in GBIF, while local-scale records consisted of the LIFE medCLIFFS field surveys, citizen science contributions from iNaturalist (LmON and LmVN) and the EXOCAT (2026) database. All spatial data were harmonized to a common coordinate system (WGS84) and filtered to retain only records with a spatial resolution finer than 1 km. Data preprocessing included spatial thinning (1 km) and removal of duplicate records to reduce sampling bias and ensure consistency.

A set of environmental variables relevant to species distribution was selected, including climatic, topographic, and land-use predictors, as well as distance from rivers, all harmonized to a common spatial resolution (5 km and 1 km). Species distribution models (SDMs) were developed using a hierarchical approach that integrates global-scale models, which capture the broad climatic niche of each species, with regional-scale models that incorporate finer environmental variables (Pearson et al., 2004). To improve predictive performance and reduce uncertainty, an ensemble modelling framework was applied, combining three machine-learning modelling algorithms: random forest (RF), generalised boosting models, also known as boosted regression trees (GBM), and maximum entropy (MaxEnt).

The resulting habitat suitability maps were further integrated with species-specific dispersal models, incorporating parameters such as short- and long-distance dispersal and species-specific dispersal limits (Engler et al., 2012). This step enabled the identification of areas that are not only environmentally suitable but also potentially reachable over time.

Preliminary results indicate heterogeneous spatial patterns of suitability and spread potential among species, with clear concentrations of high-risk areas in coastal zones and other environmentally favourable habitats. Climatic variables were consistently more influential for the spread of IAPS than topographic factors, particularly those describing temperature regime and precipitation seasonality. *Ailanthus altissima* was mainly driven by temperature factors, particularly the maximum temperature of the warmest period (bio5), showing strong thermal sensitivity. *Carpobrotus* spp. were influenced mainly by the mean temperature of the coldest quarter (bio11), while *Opuntia ficus-indica* was primarily shaped by daily temperature range (bio2).

3.2 InvApp: Functionality and application

The outputs of the modelling framework were implemented in InvApp (2024), an interactive decision-support tool designed to facilitate the visualization and interpretation of invasion risk. InvApp allows users to explore species-specific distribution maps and simulated spread scenarios, integrating environmental suitability and dispersal outputs. The application enables the dynamic incorporation of new occurrence data, ensuring that model outputs can be updated as additional information becomes available.

A key functionality of the tool is the calculation of invasion risk metrics based on the spatial overlap between predicted distributions and areas of interest (AOI), such as protected natural areas, as well as zones with high fire risk. Based on these analyses, and the specific biological traits, species are classified into priority categories (e.g., low to very high), supporting the identification of management priorities (Fig. 1).

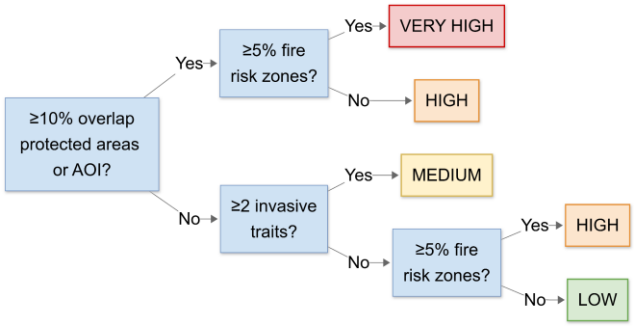


Fig. 1. Flux diagram of the scoring system to classify and prioritize IAPS according to the potential distribution and the invasive traits.

Users can visualize species-specific distribution and spread scenarios, explore risk classifications, and define custom areas of interest. The tool also allows the dynamic incorporation of new occurrence data, automatically updating risk metrics and ensuring an adaptive system for ongoing monitoring and management. Key outputs include spatially explicit risk maps, priority rankings for both species and areas, and scenario-based visualizations that support planning and evidence-based decision-making. Five species exhibited consistently very high risk across 2-, 5-, and 10-year projection periods, highlighting the need for urgent eradication and strict control measures: *Agave americana*, *Ailanthus altissima*, *Arundo donax*, *Carpobrotus* spp., and *Senecio inaequidens*. All of these species are already included in the Spanish Catalogue of IAPS, reinforcing the reliability of the model outputs.

4 Conclusions

The approach developed within the LIFE medCLIFFS project demonstrates the potential of integrating citizen science, spatial modelling, and digital tools to support the management of invasive alien plant species in Mediterranean coastal ecosystems. By combining continuously updated occurrence data with predictive modelling and dispersal simulations, the framework improves early detection and invasion risk assessment while supporting more proactive management strategies. In addition, tools such as InvaApp facilitate the visualization of risk scenarios and help prioritize management actions based on ecological and spatial criteria.

5 References

Engler, R., Hordijk, W., & Guisan, A. (2012). The MIGCLIM R package–seamless integration of dispersal constraints into projections of species distribution models. *Ecography*, 35(10), 872–878. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07608.x

EXOCAT. (2026) *Sistema d'informació de les espècies exòtiques invasores*. https://exocatdb.creaf.cat/base_dades/

Gómez-Bellver, C., Nualart, N., Bosch-Guiu, A., Ibáñez, N., & López-Pujol, J. (2025). Cataloging the alien flora of the Costa Brava (NE Iberian Peninsula): New findings and updates in a plant invasion hotspot. *Diversity*, 17(3), 160. https://doi.org/10.3390/d17030160

iNaturalist. (2026a). *LIFE medCLIFFS – Xarxa d'Observadors*. https://www.inaturalist.org/projects/life-medcliffs-xarxa-d-observadors

iNaturalist. (2026b). *LIFE medCLIFFS – Xarxa de Voluntaris*. https://www.inaturalist.org/projects/life-medcliffs-xarxa-de-voluntaris

InvApp. (2024). *Models de dispersió d'espècies invasores a Catalunya*. https://lifemedcliffs.shinyapps.io/invapp/

LIFE medCLIFFS. (2025). *Anàlisi Invasores*. https://lifemedcliffs.shinyapps.io/dynamics_status/

López-Guillén, E., Herrera, I., Bensid, B., Gómez-Bellver, C., Ibáñez, N., Jiménez-Mejías, P., Mairal, M., Mena-García, L., Nualart, N., Utjés-Mascó, M., & López-Pujol, J. (2024). Strengths and challenges of using iNaturalist in plant research with focus on data quality. *Diversity*, 16(1), 42. https://doi.org/10.3390/d16010042

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. https://doi.org/10.1038/35002501

Pearson, R. G., Dawson, T. P., & Liu, C. (2004). Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*, 27(3), 285–298. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03740.x

Reaser, J. K., Burgiel, S. W., Kirkey, J., Brantley, K. A., Sarah D. Veatch, S. D., & Burgos-Rodríguez, J. (2020). The early detection of and rapid response (EDRR) to invasive species: a conceptual framework and federal capacities assessment. *Biological Invasions,* 22, 1–19. https://doi.org/10.1007/s10530-019-02156-w

Santana, C., Bosch-Guiu, A., Gómez-Bellver, C., López-Pujol, J., & Nualart, N. (2025). A simplified method to detect and monitor alien plant species with invasive potential through citizen science: an application from the European Union–funded LIFE medCLIFFS project volunteers' data. *Invasive Plant Science and Management*, 18, e4. https://doi.org/10.1017/inp.2024.40

EJE 3: Bioclimatología y cambio climático

Pulsos de vegetación húmeda en el interior del noreste de Brasil: contribuciones del análisis de fitolitos

Schacht, Gustavo Luis[1] y Calegari, Marcia Regina[2]

[1] Departamento de Geografía / Laboratório de Fitólitos da Bahia / Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.
[2] Departamento de Geografía / Laboratório Multiusuário de Estudos da Dinâmica Ambiental / Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1777, Centro, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil.
schacht@ufrb.edu.br

Resumen. El mosaico geobotánico brasileño es resultado de procesos de expansión, retracción y evolución, estudiados en la Biogeografía. La historia de la vegetación presenta alteraciones significativas en la distribución de los biomas. Estudios sugieren que la Amazonía y la Mata Atlántica, dos de los principales biomas brasileños, estuvieron conectados en el pasado, lo que tuvo implicaciones directas en la diversificación de especies. Diversas hipótesis han sido propuestas para explicar estas conexiones. Sin embargo, persiste una cuestión: ¿cuáles fueron las rutas de conexión entre estos biomas, actualmente separados por la Caatinga? Este trabajo es parte de un proyecto de investigación, cuyo objetivo es demostrar cómo los fitolitos pueden contribuir a la comprensión de estas conexiones, a partir de la reconstitución paleo ambiental de una región semiárida. En este estudio se muestrearán once puntos con distribución espacial uniforme en la cuenca del río Paraguaçu (Bahía, noreste de Brasil), algunos de los cuales presentan enclaves de vegetación húmeda. En cada punto se hicieron perfiles de suelo con muestreo sistemático cada 10 centímetros, desde la base hasta el tope del perfil, para análisis de fitolitos, isotopos de carbono (δ13C) y datación por carbono-14. Los suelos fueron sometidos a descripción morfológica detallada, y los horizontes pedogenéticos identificados fueron muestreados para análisis químicas y físicas de rutina, con fines de caracterización y clasificación taxonómica. La extracción de fitolitos siguió las etapas del Método 2 descrito por Calegari et al. (2013). Se identificaron 200 fitolitos por muestra, los cuales fueran clasificados de acuerdo con el sistema ICPN 2.0. Los fitolitos recuperados muestran un bajo grado de alteración tafonómica, coherente con las condiciones edáficas observadas en los perfiles. El análisis fitolítico presentó variaciones importantes en los ensamblajes, señalando cambios en la densidad y estructura de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo, con transiciones entre condiciones más secas y más húmedas, así como fluctuaciones entre coberturas vegetales más densas y más abiertas que la vegetación actual. Estos resultados demuestran la viabilidad del uso de fitolitos en contextos semiáridos y confirman la presencia de vegetación húmeda en la cuenca estudiada durante diferentes momentos ambientales del Cuartanario tardío.

Palabras clave: Distribución de biomas, cuaternario, caatinga, paisaje, suelos.

Resumo. O mosaico geobotânico brasileiro é resultado de processos de expansão, contração e evolução, estudados em biogeografia. A história da vegetação mostra alterações significativas na distribuição dos biomas. Estudos sugerem que a Amazônia e a Mata Atlântica, dois dos principais biomas do Brasil, estiveram conectadas no passado, o que teve implicações diretas para a diversificação de espécies. Diversas hipóteses têm sido propostas para explicar essas conexões. No entanto, uma questão permanece: quais eram as rotas de conexão entre esses biomas, atualmente separados pela Caatinga? Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa que visa demonstrar como os fitólitos podem contribuir para a compreensão dessas conexões por meio da reconstrução paleoambiental de uma região semiárida. Neste estudo, serão amostrados onze pontos espacialmente distribuídos de forma uniforme na bacia do rio Paraguaçu (Bahia, nordeste do Brasil), alguns dos quais contêm enclaves de vegetação úmida. Em cada ponto de amostragem, os perfis de solo foram sistematicamente amostrados a cada 10 centímetros, da base ao topo do perfil, para análise de fitólitos, análise de isótopos de carbono (δ13C) e datação por carbono-14. Os solos foram submetidos a uma descrição morfológica detalhada, e os horizontes pedogênicos identificados foram amostrados para análises químicas e físicas de rotina para caracterização e classificação taxonômica. A extração de fitólitos seguiu os passos do Método 2 descrito por Calegari et al. (2013). Duzentos fitólitos foram identificados por amostra e classificados de acordo com o sistema ICPN 2.0. Os fitólitos recuperados apresentaram um baixo grau de alteração tafonômica, consistente com as condições edáficas observadas nos perfis. A análise de fitólitos revelou variações significativas nas assembleias, indicando mudanças na densidade e estrutura da cobertura vegetal ao longo do tempo, com transições entre condições mais secas e mais úmidas, bem como flutuações entre cobertura vegetal mais densa e mais aberta do que a vegetação atual. Esses resultados demonstram a viabilidade do uso de fitólitos em contextos semiáridos e confirmam a presença de vegetação úmida na bacia estudada durante diferentes períodos ambientais do Quaternário Tardio.

Palavras-chave: Distribuição de biomas, quaternário, caatinga, paisagem, glaciação

Abstract. The Brazilian geobotanical mosaic is the result of processes of expansion, contraction, and evolution, studied in biogeography. The history of vegetation shows significant alterations in the distribution of biomes. Studies suggest that the Amazon and the Atlantic Forest, two of Brazil's main biomes, were connected in the past, which had direct implications for species diversification. Several hypotheses have been proposed to explain these connections. However, one question remains: what were the connecting routes between these biomes, currently separated by the Caatinga? This work is part of a research project that aims to demonstrate how phytoliths can contribute to understanding these connections through the paleoenvironmental reconstruction of a semi-arid region. In this study, eleven spatially uniformly distributed points will be sampled in the Paraguaçu River basin (Bahia, northeastern Brazil), some of which contain enclaves of humid vegetation. At each sampling point, soil profiles were systematically sampled every 10 centimeters, from the base to the top of the profile, for phytolith analysis, carbon isotope (δ13C) analysis, and carbon-14 dating. The soils underwent detailed morphological description, and the identified pedogenic horizons were sampled for routine chemical and physical analyses for characterization and taxonomic classification. Phytolith extraction followed the steps of Method 2 described by Calegari et al. (2013). Two hundred phytoliths were identified per sample and classified according to the ICPN 2.0 system. The recovered phytoliths showed a low degree of taphonomic alteration, consistent with the edaphic conditions observed in the profiles. Phytolith analysis revealed significant variations in the assemblages, indicating changes in the density and structure of vegetation cover over time, with transitions between drier and wetter conditions, as well as fluctuations between denser and more open vegetation cover than the current vegetation. These results demonstrate the viability of using phytoliths in semi-arid contexts and confirm the presence of humid vegetation in the studied basin during different environmental periods of the Late Quaternary.

Keywords: distribution of biomes, quaternary, caatinga, landscape, glaciation

1 Introducción

En biogeografía, se sabe que un conjunto de vegetación con características ambientales relativamente homogéneas se denomina bioma. Estos biomas, con el tiempo, han modificado su distribución espacial, lo cual es investigado por diversas áreas de la ciencia, como la Biogeografía. En otras palabras, los biomas responden y han respondido a los cambios en las condiciones ambientales.

Estas respuestas se materializan con la expansión y contracción de estos conjuntos. Por esta razón, es correcto afirmar que el origen del mosaico geobotánico brasileño (los biomas de Brasil) y su biodiversidad es consecuencia de la expansión y contracción de la vegetación, causada por la alternancia de climas húmedos y secos a lo largo de los períodos glaciales e interglaciales (Ab'Saber, 2003; Conti y Furlan, 2003), algo comprendido por la ciencia.

En este sentido, conjuntos de vegetación como la Amazonia y la Mata Atlántica, ahora separadas por la Caatinga seca en Brasil, han estado conectados en el pasado reciente. Se pueden observar testigos de esta conexión en el interior del noreste de Brasil, donde se encuentran enclaves de vegetación húmeda, rodeados por grandes áreas de Caatinga seca, como nos muestran Couto et al. (2011). Autores como Hermanowski et al. (2012), Pinaya et al. (2019) y Coelho et al. (2022) también abordan esta conexión, cuyas rutas y momentos aún no se comprenden bien.

Este artículo, que forma parte de un proyecto de investigación más amplio, tiene como objetivo presentar algunos resultados que intentan llenar este vacío científico, utilizando fitolitos y análisis isotópicos para comprender cuándo se conectaron estos dos biomas.

Para Piperno (2006), los fitolitos son estructuras silícicas producidas por las plantas y depositadas en el suelo. Dada su resistencia a la degradación y su huella taxonómica, es posible reconstruir las condiciones paleoambientales de diferentes espacios. Este proxy fue la principal fonte de datos utilizada em este artigo, que tenta también destacar seu potencial e aplicabilidade em ambientes semiáridos.

2 Materiales y métodos

Se establecieron once trincheras en la cuenca del río Paraguaçu, en el interior de Bahía, Brasil. Las trincheras tienen hasta 2,5 metros de profundidad. Se recolectaron muestras en cada trinchera para la caracterización y clasificación del suelo, por horizonte pedogenético. Estas muestras se utilizaron para análisis físico-químicos de rutina, realizados en Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA). Para el estudio paleoambiental, se recolectaron muestras cada 10 cm, desde la base hasta la parte superior del perfil, y se utilizaron para análisis de fitolitos, análisis de isótopos de carbono (δ13C) y datación por carbono-14 a tres profundidades.

El análisis de isótopos de carbono se realizó en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad Estatal de São Paulo (UNESP), utilizando un espectrómetro de masas de relación isotópica Delta V Advantage (Thermo Scientific). Los resultados de la composición isotópica se presentan en unidades δ (‰), determinadas con respecto al estándar internacional PDB (Pee Dee Belemnite).

La datación por carbono-14 se realizó en el Laboratorio de Radiocarbono de Vilnius (Lituania). La unidad de medida estándar para la datación es años cal BP (calibrados antes del presente).

La extracción de fitolitos se realizó en el Laboratorio Multiusuario de Estudios de Dinámica Ambiental – LEDA, siguiendo los pasos descritos como Método 2 en Calegari (2013b). Se prepararon portaobjetos en aceite de inmersión con la fracción recuperada, que contenía los fitolitos. Bajo un microscopio petrográfico, se contabilizaron 200 fitolitos identificables con significado taxonómico en cada

portaobjetos (Carnelli et al., 2001). La identificación y denominación de los fitolitos se realizó de acuerdo con el Código Internacional de Nomenclatura de Fitolitos (ICPN 2.0) (Neumann et al., 2019).

3 Resultados

En la cuenca estudiada, la instalación de los puntos intentó seguir un criterio de uniformidad, así como la variación en los ambientes y los tipos de vegetación, estando distribuidos por toda la cuenca, como se puede ver en la Fig. 1.

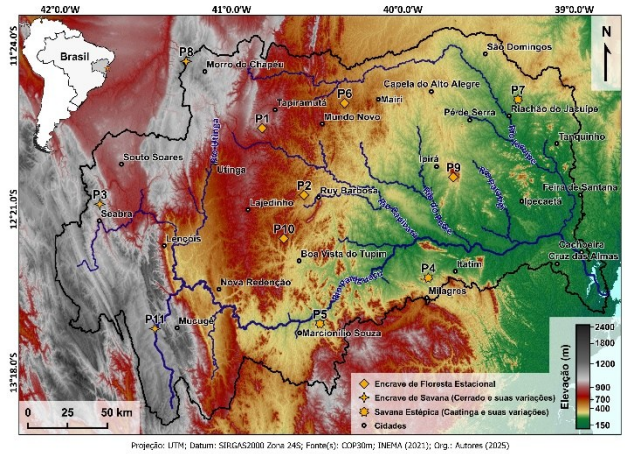


Fig. 1. Cuenca hidrografica estudiada y los puntos de muestreo.

Los puntos estudiados se concentran casi siempre en Latosoles (Ferrasoles), predominantemente arenosos, ácidos, con un pH entre 4,3 y 6,7, y pobres en nutrientes. Además, los fitolitos encontrados generalmente se conservarán bien y presentan una buena variedad de morfotipos, como se puede observar en la Fig. 2.

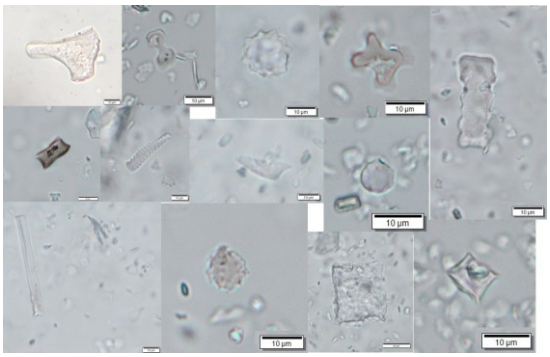


Fig. 2. Principales morfotipos de fitolitos encontrados y su buen grado de conservación.

Los análisis de isótopos de carbono ($\delta^{13}C$), a lo largo de las diferentes profundidades, variaron entre -19,75‰ y -27,39‰, lo que indicó una variación en la cobertura vegetal desde un componente de pastizal con predominio de gramíneas C4, hasta un ambiente forestal con predominio de plantas C3.

Los cambios en el patrón estructural de la vegetación y en las condiciones paleo climáticas, obtenidos a partir del análisis de fitolitos, demostraran que la región, que actualmente alberga los Bosques Secos de Caatinga, alguna vez tuvo predominantemente Sabana (Cerrado) y ambientes de bosque húmedo como la Mata Atlántica como cobertura vegetal. Actualmente, estos dos últimos se encuentran únicamente en pequeños refugios.

Al evaluar la datación por carbono-14, se observa que los puntos con las fechas más antiguas son aquellos ubicados en las zonas más elevadas del relieve de la cuenca hidrográfica, alcanzando una edad de 40.475 años cal BP. Los resultados indicaron un clima más húmedo y frío, especialmente a finales del Cuaternario, con una expansión de ambientes más boscosos que los actuales en las áreas estudiadas, los cuales, más recientemente (alrededor de 3.400 años cal BP), fueron reemplazados por la Caatinga en algunos espacios, lo que indica una importante dinámica biogeográfica, sobre todo durante el Último Máximo Glacial.

4 Discusión

La comprensión de la dinámica paleo climática y los cambios en la vegetación en el interior del noreste de Brasil ha demostrado ser importante para los investigadores de geografía, especialmente al considerar la comprensión histórica de la formación del paisaje en esta región.

Especialmente para la parte más alta de la cuenca hidrográfica estudiada, los resultados de los modelos paleo climáticos presentados por Laureano et al. (2016) demostraran que la transición Pleistoceno-Holoceno estuvo marcada por condiciones más húmedas que las actuales, corroborando los resultados encontrados. Además, también en concordancia con los resultados de este trabajo, para Novello et al. (2012), estudiando la misma región, el Holoceno Inferior y Medio se caracterizó por la sucesión de climas más secos y más húmedos, hasta aproximadamente 3000 años AP, cuando se alternaron intervalos secos y húmedos, lo que también refuerza los datos encontrados por el proyecto, que confirman la transición entre períodos de vegetación más húmida y más seca.

5 Conclusiones

Teniendo en cuenta los datos observados por la investigación y la información de otros investigadores, es posible observar que probablemente existía una conexión importante entre los biomas húmedos de Brasil y la zona que actualmente es la Caatinga semiárida.

Aún resulta difícil establecer las rutas de esta conexión, pero se observa que las áreas que actualmente constituyen enclaves húmedos presentan esta característica de vegetación más húmeda y boscosa en todos los momentos en que se detectó la señal de fitolitos. En lugares actualmente cubiertos por la Caatinga, la señal de una cubierta vegetal más

húmeda también estuvo presente en el pasado. Sin embargo, es necesario que el proyecto, en su fase final, profundice en este aspecto para comprender mejor esta compleja dinámica paleoambiental, especialmente en las zonas altas de la cuenca hidrográfica, como en la Chapada Diamantina.

Finalmente, se puede concluir que los fitolitos se convierten en un importante indicador ambiental para estudios de este tipo, especialmente cuando se combinan con otras técnicas.

6 Referencias

Ab'Saber, A. N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.* São Paulo, Ateliê Editorial.

Calegari, M. R., Souza, E., Mozer, J. H., Marcolin, L., & Fonseca, C. F. (2022). Fitólitos – uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental – conceitos e revisão sobre aplicação no Brasil. *Derbyana*, 43, e778. https://doi.org/10.14295/derb.v43.778

Carnelli, A. L., Madella, M., & Theurillat, J. P. (2001). Biogenic silica production in selected alpine plant species and plant communities. *Annals of Botany*, 87(4), p. 425–434. https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1355

Coelho, F. E. A., et al. (2022). Historical connection between Atlantic Forest and Amazonia drove genetic and ecological diversity in Lithobates palmipes (Anura, Ranidae). *Systematics and Biodiversity*, 20(1), 2046657. https://doi.org/10.1080/14772000.2022.2046657

Conti, J. B., & Furlan, S. A. (2003). Geoecologia: O Clima, os Solos e a Biota. En: ROSS, J. S. (Org.). *Geografia do Brasil*. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Couto, L. P. L., Funch, L. S., & Conceição, A. A. (2011). Composição florística e fisionomia de Floresta estacional semidecidua submontane na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Rodriguésia,* 61(2), p. 391-405.

De Oliveira, P. E., Barreto, A. M. F., & Suguio, K. (1999). Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 152(3), p. 319-337. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00061-9

Fonseca, C. F. (2023). Estudo Paleoambiental em enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal da Paraiba.

Hermanowski, B., Costa, M. L., Carvalho, A. T., & Behling, H. (2012). Palaeoenvironmental dynamics and underlying climatic changes in southeast Amazonia (Serra Sul dos Carajás, Brazil) during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 366, p. 227-246. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.09.030

Laureano, F. V., Karmann, I., Grander, D. E., Auler, A. S., Almeida, R. P., Cruz, F. W., Stricks, N. M., & Novello, V. F. (2016). Two million years of river and cave aggradation in NE Brazil: Implications for speleogenesis and landscape evolution. *Geomorphology*, 273(1), p. 63-77. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.009

Neumann, K., Stromberg, C. A. E., Ball, T., Albert, R. M., Vrydaghs, L., & Cumming, L. S. (2019). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, 124(1), p. 189–199. https://doi.org/10.1093/aob/mcz064

Novello, V. F., Cruz, F. W., Karmann, I., Burns, S. J., Strikis, N. M., Vuille, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Santos, R. V., Frigo, E., & Barreto, E. A. (2012). Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. *Geophysical Research Letters*, 39(23), p. L23706. https://doi.org/10.1029/2012GL053936

Pinaya, J. L. D., et al. (2019). Brazilian montane rainforest expansion induced by Heinrich Stadial 1 event. *Scientific Reports*, 9, 17912. https://doi.org/10.1038/s41598-019-53036-1

Piperno, D. R. (2006). Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. Lanham, MD: AltaMira Press.

7 Agradecimientos

Agradecemos a la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Bahía – FAPESB (Proyectos APP0050/2023 y PPP0015/2024) y al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico – CNPq (Proyecto 402886/2023-2).

Riqueza florística y aptitud bioclimática de la cobertura arbórea urbana de Barcelona

Alomar-Garau, Gabriel[1], López-Bustins, Joan Albert[1], Moreno-García, Mª Carmen[1] y Salvà-Catarineu, Montserrat[1]

[1] Departamento de Geografía / Grupo de investigación *Climate Change & Landscape Ecology* / Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, Montalegre, 6, 08001 Barcelona, España
gabriel.alomar@ub.edu

Resumen. El arbolado urbano ha superado su visión tradicional como simple adorno para convertirse en un recurso esencial para la calidad de vida urbana. En entornos densos y compactos como Barcelona, los árboles actúan como una forma de ingeniería natural que ayuda a reducir los efectos negativos de la urbanización. Si bien la supervivencia y el adecuado rendimiento de los árboles dependen de su capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales de un entorno urbano, esta capacidad varía entre especies. El objetivo de este trabajo es doble: (1) analizar la riqueza florística de la matriz arbórea de Barcelona y su distribución zonal; y (2) evaluar sintéticamente la aptitud bioclimática de las 10 especies más frecuentes, en base a cinco factores críticos de estrés: temperatura (capacidad de regulación térmica mediante la proyección de sombras y evapotranspiración), disponibilidad de agua (resistencia al estrés hídrico), contaminación del aire y del suelo (eficiencia en la captura de PM_{10} y NO_2, y tolerancia a fitotóxicos en el suelo), viento (estabilidad biomecánica), y suelo urbano (tolerancia a la compactación extrema). Metodológicamente, se ha utilizado un *dataset* oficial de árboles y se ha analizado mediante herramientas de análisis espacial con un SIG. Los resultados muestran una elevada concentración del arbolado urbano en un reducido número de especies, así como una marcada desigualdad espacial de la riqueza florística entre barrios, con implicaciones directas para la resiliencia urbana.

Palabras clave: Arbolado urbano, riqueza florística aptitud bioclimática, Barcelona.

Resumo. A arborização urbana superou a sua visão tradicional como simples elemento ornamental para se tornar um recurso essencial para a qualidade de vida nas cidades. Em ambientes densos e compactos como Barcelona, as árvores atuam como uma forma de engenharia natural que ajuda a reduzir os efeitos negativos da urbanização. Embora a sobrevivência e o bom desempenho das árvores dependam da sua capacidade de se adaptar às condições ambientais de um meio urbano, essa capacidade varia conforme a espécie. O objetivo deste trabalho é duplo: (1) analisar a riqueza florística da matriz arbórea de Barcelona e a sua distribuição zonal; e (2) avaliar de forma sintética a aptidão bioclimática das 10 espécies mais frequentes, com base em cinco fatores críticos de stress: temperatura (capacidade de regulação térmica através da projeção de sombra e evapotranspiração), disponibilidade de água (resistência ao stress hídrico), poluição do ar e do solo (eficiência na captura de PM_{10} e NO_2, e tolerância a fitotóxicos no solo), vento (estabilidade biomecânica) e solo urbano (tolerância à compactação extrema). Metodologicamente, foi utilizado um *dataset* oficial de árvores, analisado através de ferramentas de análise espacial com um SIG. Os resultados mostram uma elevada concentração da arborização urbana em um número reduzido de espécies, bem como uma marcada desigualdade espacial da riqueza florística entre bairros, com implicações diretas para a resiliência urbana.

Palavras-chave: Arborização urbana, riqueza florística, aptidão bioclimática, Barcelona.

Abstract. Urban tree cover has moved beyond its traditional view as a purely ornamental element to become an essential resource for urban quality of life. In dense and compact environments such as Barcelona, trees function as a form of natural engineering that helps reduce the negative effects of urbanization. Although the survival and performance of trees depend on their ability to adapt to the environmental conditions of an urban setting, this capacity varies by species. The objective of this work is twofold: (1) to analyze the floristic richness of Barcelona's urban tree matrix and its spatial distribution; and (2) to synthetically assess the bioclimatic suitability of the 10 most common species, based on five critical stress factors: temperature (capacity for thermal regulation through shading and evapotranspiration), water availability (resistance to water stress), air and soil pollution (efficiency in capturing PM_{10} and NO_2, and tolerance to soil phytotoxins), wind (biomechanical stability), and urban soil (tolerance to extreme compaction). Methodologically, an official tree dataset was used and analyzed using spatial analysis tools within a GIS. The results show a high concentration of urban tree cover in a small number of species, as well as a marked spatial inequality in floristic richness between neighborhoods, with direct implications for urban resilience.

Keywords: Urban trees, floristic richness, bioclimatic suitability, Barcelona.

1 Introducción

El arbolado urbano ha trascendido su concepción histórica como elemento puramente ornamental para consolidarse como un activo crítico para la habitabilidad urbana. En ciudades densas y compactas como Barcelona, el árbol es una pieza de ingeniería biológica que mitiga las externalidades negativas de la urbanización. La supervivencia y funcionalidad de los árboles dependen de su aptitud bioclimática. Esta aptitud puede definirse por la capacidad de cada especie para adaptarse y prosperar en las condiciones específicas de un ambiente urbano, reunidas en torno a cinco factores clave: temperatura, disponibilidad de agua, contaminación del aire y del suelo, viento y suelo urbano. En la aptitud está implicada la forma en que una especie específica puede tolerar estos factores combinados y cómo se adapta o responde a ellos para sobrevivir y desempeñar un rol en el ecosistema urbano (proveer sombra, purificar el aire o reducir el ruido, entre otros).

En ciudades mediterráneas caracterizadas por la compacidad y densidad de su tejido urbano, el rol del arbolado urbano ha sido destacado por sus beneficios ecológicos, ambientales, sociales y paisajísticos (Jim, 2004). Entre los primeros se encuentran la mejora de la calidad del aire, la regulación microclimática, la retención de agua de lluvia, el aumento de la biodiversidad animal, la reducción del ruido o la función de la masa arbórea como conector ecológico.

En el presente trabajo se examina el arbolado urbano de la ciudad de Barcelona con el objetivo de analizar los patrones de su distribución espacial, examinar su riqueza o diversidad florística y evaluar sintéticamente la aptitud bioclimática de las 10 especies arbóreas más frecuentes. Chaparro & Terradas (2009) contabilizaban hace diecisiete años 1.419.823 árboles en el término municipal de Barcelona, cifra que incluía el arbolado de los espacios forestales del parque natural de Collserola, de Montjuïc y los Tres Turons. El análisis del presente trabajo se ha circunscrito a los árboles propiamente 'urbanos', es decir los ejemplares individuales de calles y plazas, así como los que crecen en agrupaciones dentro de parques y jardines de acceso público.

2 Materiales y método

El material de trabajo utilizado es el constituido por el inventario de árboles que suministra la plataforma OpenData BCN (https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/es), un servicio de datos abiertos del Ayuntamiento de Barcelona. Se trata de un *dataset* formado por tres distintas clases de arbolado: 1) el 'arbolado de parques', formado por los árboles situados dentro de los espacios verdes; 2) el 'arbolado viario', formado por los árboles situados en las calles; y 3) el 'arbolado de zona', que es el que se sitúa en las plazas, parterres, glorietas y pequeños espacios ajardinados de la ciudad. Este *dataset* se suministra como una tabla de datos en formato .csv, que contiene las coordenadas *x,y* de cada árbol, así como su nombre científico –sin registros en niveles taxonómicos inferiores a especie, como la variedad–.

Aunque en la presente comunicación se aborda solo la riqueza florística como una expresión más de la biodiversidad, ésta se mide, en rigor, en base a tres tipos de índices relacionados: el primero y más básico es el de la riqueza (*S*), definida por el número total de especies diferentes en una unidad de área. El segundo es la uniformidad (*E*), definida por la frecuencia con que se presenta una misma especie en la unidad de área. El tercero y más completo es la diversidad (*H*) propiamente dicha. Para medirla, en ecología se recurre habitualmente al índice de Shannon y Weaver (Margalef, 1958).

El método de trabajo ha consistido en el análisis SIG del *dataset* de árboles de Barcelona y la elaboración de un mapa de inventario. Este mapa ha permitido componer un mapa coroplético de la riqueza florística –definida por la abundancia de especies arbóreas diferentes– de cada uno de los 73 barrios en que se divide la ciudad. La aptitud bioclimática de las diez especies más frecuentes de árboles se ha descrito y compendiado en base a las variables biofísicas de estas especies, tal como han sido retratadas por la literatura científica y de gestión (Chaparro y Terradas, 2009; Roy et al., 2012, entre otros).

3 Resultados

3.1 La matriz arbórea de Barcelona

En el término municipal de Barcelona se contabilizan, en el primer trimestre del año 2026, 145.257 árboles viarios, 43.460 árboles de zona y 33.389 árboles de parques (Fig. 1). La suma de todos ellos totaliza una biomasa arbórea de 222.106 ejemplares. Por separado, el arbolado viario casi duplica en número al arbolado plantado en los parques, plazas y otros espacios de menor entidad. Las frecuencias absolutas de las diez especies de árboles urbanos más representados se muestran en la Tabla 1. Estas primeras diez especies suman un total de 127.782 ejemplares, que en Barcelona representan el 57,5% del total de árboles urbanos. Esto subraya la alta concentración de la población arbórea en un número limitado de especies. *Platanus* × *acerifolia* es, con diferencia, la especie más abundante en Barcelona, representando casi el 20% del total de árboles y más de un tercio de las diez especies más frecuentes. Le siguen *Celtis australis* (10,2%) y *Tipuana tipu* (5,6%). Clasificada según su tipo viario, de zona y de parques, la riqueza de especies es mayor en los parques (con 382 especies diferentes, entre las que destaca, numéricamente, *Pinus pinea*), y algo menor en el espacio viario (286 especies, entre las que destaca *Platanus* × *acerifolia*). En las plazas, parterres, glorietas y pequeños espacios ajardinados la diversidad disminuye considerablemente (90 especies diferentes, entre las que sobresale *Quercus ilex*). Esto sugiere que en estos últimos espacios se repiten más especies de árboles plantados que en el caso de los parques y de las calles o avenidas, donde el grado de diversificación es mayor.

Tabla 1. Especies de árboles urbanos más frecuentes en Barcelona.

Ranking-10	Especie	Frecuencia abs.	%	% Ranking-10
1	*Platanus × acerifolia*	44.267	19,9	34,6
2	*Celtis australis*	22.670	10,2	17,7
3	*Tipuana tipu*	12.428	5,6	9,7
4	*Styphnolobium japonicum*	10.280	4,6	8,0
5	*Pinus pinea*	8.292	3,7	6,5
6	*Melia azedarach*	7.487	3,4	5,9
7	*Brachychiton populneus*	6.539	2,9	5,1
8	*Ligustrum lucidum*	5.597	2,5	4,4
9	*Jacaranda mimosifolia*	5.303	2,4	4,1
10	*Pinus halepensis*	4.919	2,2	3,8

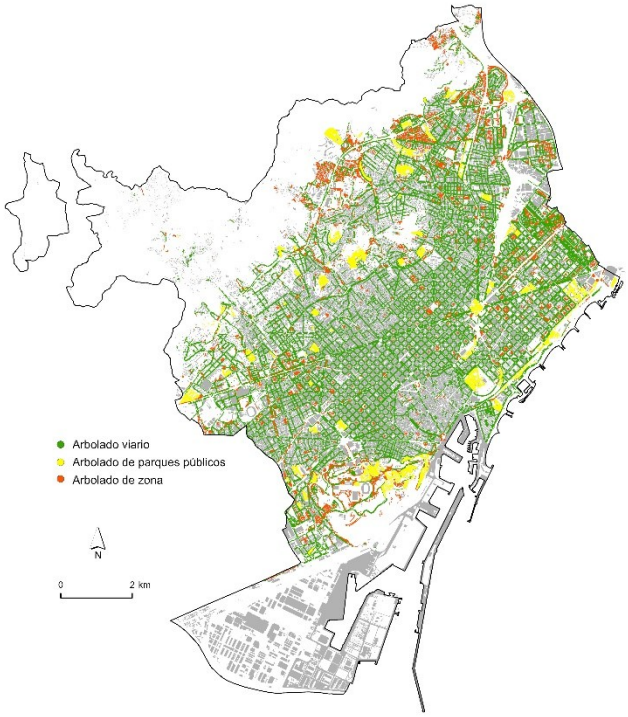


Fig. 1. Barcelona. Matriz arbórea viaria, de parques públicos y de zonas.

3.2 Riqueza florística zonal

Los recuentos precedentes permiten avanzar hacia el análisis de la riqueza florística en su dimensión espacial y zonal (Fig. 2). La media de especies diferentes por barrio es de 84,4, con una desviación estándar de 37,0, lo que indica una variabilidad considerable en lo que se refiere a diversidad florística entre barrios. El número de especies diferentes varía desde un mínimo de 30 –en la Clota y Sants-Badal– hasta un máximo de 284 –el Poble-sec–, que supera con creces al segundo barrio –Sant Pere, Santa Caterina i la Ribera–, con 149 especies. La mediana es de 78 especies, lo que se interpreta como que en la mitad de los barrios hay plantados 78 o menos especies distintas de árboles. Con todo, el análisis revela una distribución asimétrica de la riqueza florística arbórea en los barrios de Barcelona, con una mayoría de ellos presentando una diversidad moderada, entre 50 y 100, y unos pocos con una diversidad muy alta.

La escasa diversidad de árboles urbanos en barrios como Can Peguera (33 especies diferentes), Hostafrancs (38), Vallvidrera, el Tibidabo i les Planes (38), Sant Antoni (47), Vallbona (47) o los mencionados Sants-Badal y la Clota, se explica bien por su menor proporción de parques públicos, o bien por una mayor densidad urbana, además de por un tipo de arbolado más homogéneo. Por el contrario, la diversidad del arbolado de barrios como el Poble-sec (284 especies), Sant Pere, Santa Caterina i la Ribera (149), Pedralbes (147), Horta (142), les Corts (131), Sant Andreu (130) o Sarrià (126), se explica por la presencia de grandes parques (Parc de la Ciutadella, Parc del Laberint d'Horta, Jardins de Cervantes, Parc del Mirador del Migdia, Jardins de Mossèn Costa i Llobera, entre muchos otros). También se explica por una planificación y gestión del arbolado a favor de su diversificación para evitar plagas. En cualquier caso, la correlación de Pearson calculada –0,169– entre el tamaño del barrio y el número de especies diferentes, indica una relación lineal positiva muy débil, no estadísticamente significativa, entre ambas variables, lo que sugiere que las dimensiones del barrio no parece ser un factor determinante en la riqueza florística arbórea.

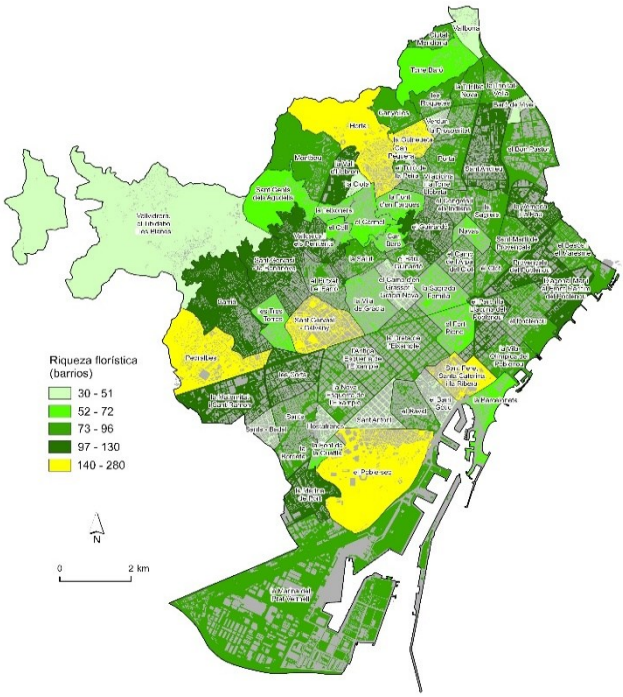


Fig. 2. Barcelona. Riqueza florística del arbolado urbano por barrios.

3.3 Aptitud bioclimática

La aptitud bioclimática del arbolado urbano más frecuente se ha evaluado en base a los siguientes cinco factores críticos de estrés: 1) temperatura (capacidad de regulación térmica mediante la proyección de sombras y la evapotranspiración, con vistas a la reducción del efecto 'isla de calor'); 2) disponibilidad de agua (resistencia al estrés hídrico y adaptación a la interrupción del ciclo hídrico natural causada por la impermeabilización que supone un suelo pavimentado); 3) contaminación del aire y del suelo (eficiencia

en la captura de PM_{10} y NO_2, y tolerancia a fitotóxicos en el suelo –metales pesados, aceites, orinas, que alteran el equilibrio químico del alcorque–); 4) viento (estabilidad biomecánica y resistencia estructural de cada especie de árbol en corredores urbanos propensos al efecto túnel); y 5) suelo urbano (tolerancia a la compactación extrema, que produce asfixia radicular y restringe el volumen para el anclaje del árbol). La capacidad de adaptación de las especies de árboles de referencia a estos cinco condicionantes se ha compendiado en una tabla de síntesis (Tabla 2), asignando un valor ordinal que varía entre 'medio-bajo' para aquellas especies con relativa poca capacidad fisiológica de adaptación, y 'muy alto' para aquellas otras con una excelente aptitud.

Platanus × acerifolia es una especie caducifolia de gran porte, muy eficaz regulando la insolación invernal y estival. En verano, su densa copa ofrece un elevado Factor de Protección Ultravioleta (UPF). Muy eficaz capturando partículas PM_{10} y secuestrando carbono atmosférico. Es vulnerable a las sequías prolongadas. *Celtis australis* es una especie rústica caducifolia originaria de la región mediterránea. Su excelente adaptación al entorno urbano lo ha promovido como árbol de sombra en calles, plazas y parques. Su capacidad de asociación con micorrizas facilita la absorción de nutrientes en suelos urbanos desestructurados y pobres en materia orgánica. Es resistente a la sequía y a la contaminación. *Tipuana tipu* provee una sombra densa y fresca que regula los máximos térmicos en verano. Resiste bien la polución ambiental, aunque no la industrial. *Styphnolobium japonicum* (=*Sophora japonica*), caducifolio originario de China, destaca por su resistencia a la polución, pero es muy sensible a la compactación extrema del suelo. *Pinus pinea*, conífera perennifolia originaria del este de la región mediterránea, puede valorarse por su sombra perenne. Más que de amortiguación física del ruido, su capacidad acústica es de enmascaramiento (sonidos agradables). Árbol rústico en cuanto a suelos, si bien prefiere los de tipo granítico y silíceos sueltos, además de bien drenados. Tolera bien la polución urbana, aunque no la industrial. *Melia azedarach*, caducifolio de copa redondeada y de porte mediano-pequeño, es de madera quebradiza, lo que aumenta el riesgo de caída de biomasa en episodios de viento. Adaptable a suelos alcalinos y a ambientes urbanos con alta radiación solar. Tolera aceptablemente bien los contaminantes y la sequía. Su contribución a la calidad del aire urbano es notable. *Brachychiton populneus*, perennifolio originario del este de Australia, tiene un tronco paquicaulo (en forma de botella) que le sirve para almacenar agua, lo que le proporciona resistencia a la sequía y le permite sobrevivir en entornos de extrema impermeabilidad. *Ligustrum lucidum*, árbol perennifolio originario de China, es una especie persistente de gran rusticidad que tolera altos niveles de contaminación química y es capaz de prosperar en alineaciones estrechas donde otras especies fracasan por falta de espacio aéreo. En Barcelona se considera que tiene un comportamiento invasor, por lo que se planta como árbol viario, pero no en espacios verdes. *Jacaranda mimosifolia*, caducifolio tardío, se adapta bien a los aumentos térmicos. *Pinus halepensis*, conífera perennifolia originaria de la región mediterránea y especie xerófita por excelencia, es excelente para zonas de transición. Su resistencia a la sequía es superior, y tolera suelos calcáreos y pobres.

Tabla 2. Factores clave y síntesis de la aptitud de las 10 especies arbóreas más frecuentes en el área urbana de Barcelona.

Especie	Temperatura	Agua	Contaminación	Viento	Suelo
Platanus × acerifolia	Alta	Media	Alta	Alta	Media
Celtis australis	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Tipuana tipu	Alta	Media-Alta	Media	Media	Media
Styphnolobium japonicum	Media	Media	Alta	Alta	Media
Pinus pinea	Media-Alta	Alta	Media-Alta	Media	Media
Melia azedarach	Media	Alta	Media	Baja-Media	Alta
Brachychiton populneus	Media	Muy alta	Media	Alta	Media
Ligustrum lucidum	Media-Baja	Media	Alta	Media	Alta
Jacaranda mimosifolia	Media	Media	Media	Media-Baja	Media
Pinus halepensis	Media	Muy alta	Media	Alta	Alta

4 Conclusiones

En Barcelona, las especies *Platanus × acerifolia* y *Celtis australis* representan, juntas, un tercio de las 496 especies diferentes de árboles urbanos contabilizadas en la ciudad. El análisis zonal revela una distribución asimétrica de la riqueza florística arbórea, con la mayoría de los barrios presentando una diversidad moderada y pocos destacando por una excepcionalmente alta. El análisis de la aptitud bioclimática de las diez especies más frecuentes señala una óptima adaptabilidad al estrés hídrico y contaminación urbana. El trabajo se presenta como un avance de estudios posteriores sobre la matriz arbórea de Barcelona y otras ciudades mediterráneas, y su rol en la mejora de la resiliencia urbana.

5 Referencias

Chaparro, L., & Terradas, J. (2009). *Serveis Ecològics del Verd Urbà a Barcelona*. Institut Municipal de Parcs i Jardins, Ajuntament de Barcelona; Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF).

Jim, C.Y. (2004). Green spaces preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*, 21, 311–320.

Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *General Systems*, 3, 36–71.

Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351–363.

Monitoramento climático multiescalar de manguezais como subsídio à adaptação climática: estudo de caso do Sistema Costeiro Cananéia–Iguape/Brasil

Lima, Nádia[1], Baratto, Jakeline[1], Terassi, Paulo[1], Lima, Rafael[1], Emiliano, Valéria[1], Alves, Rogério[1], Junqueira, Flora[1], Fioranelli, Giovanna[1], Cardoso, Julio[1], Souza, Saraeh[1], Santos, Ana Lucia[1] y Galvani, Emerson[1].

[1] Laboratório de Climatologia e Biogeografia, do Departamento de Geografia, da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo. Avenida Lineu Prestes, 338, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.
nadia.lima@usp.br

Resumo. Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos e relevantes do mundo, fornecendo serviços ecossistêmicos essenciais como proteção costeira, sequestro de carbono e manutenção da biodiversidade. Entretanto, esses ambientes vêm sofrendo processos crescentes de redução, fragmentação e alteração estrutural, intensificados pelo aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos associados às mudanças climáticas. No Sistema Costeiro Cananéia–Iguape, esses impactos se manifestam por tempestades, ventos fortes, granizo e descargas elétricas, frequentemente resultando na formação de clareiras e mudanças na estrutura da floresta de mangue. Apesar da reconhecida capacidade de adaptação desses ecossistemas, sua resiliência frente a eventos extremos recorrentes ainda é pouco compreendida. Neste contexto, desenvolve-se uma análise integrada e multiescalar dos impactos climáticos sobre os manguezais, articulando diferentes abordagens metodológicas. Em escala regional, devido à escassez de estações meteorológicas automáticas, foram utilizados dados orbitais CHIRPS para caracterização dos padrões de precipitação. Em escala microclimática, foram instaladas duas estações meteorológicas em setores contrastantes do Parque Estadual da Ilha do Cardoso: uma em área de floresta conservada e outra em clareira formada por tempestade, permitindo a comparação das condições ambientais locais desde 2008. Os resultados macroclimáticos indicam tendência significativa de aumento dos Dias Secos Consecutivos, com incremento médio de dois dias por década. Já os dados microclimáticos evidenciam que variações de temperatura, umidade e disponibilidade hídrica são fortemente moduladas por fatores locais, como estrutura da vegetação e abertura de clareiras. Essas variações influenciam diretamente o regime de inundação, a salinidade e a resposta da vegetação. As informações climáticas também subsidiam análises integradas da estrutura florestal, solos, índices de vegetação, estoques de carbono e serviços ecossistêmicos, contribuindo para a compreensão da vulnerabilidade e dos limites de resiliência desses ambientes. Dessa forma, o monitoramento climático multiescalar é essencial não apenas para compreender a resposta dos manguezais a eventos extremos, mas também como ferramenta estratégica para avaliação da vulnerabilidade e formulação de estratégias de adaptação às mudanças climáticas em zonas costeiras.

Palavras-chave: microclima; eventos climáticos extremos; vulnerabilidade; serviços ecossistêmicos.

Resumen. Los manglares se encuentran entre los ecosistemas más productivos y relevantes del mundo, ya que proporcionan servicios ecosistémicos esenciales como la protección costera, el secuestro de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad. Sin embargo, estos ambientes han experimentado procesos crecientes de reducción, fragmentación y alteración estructural, intensificados por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos asociados al cambio climático. En el Sistema Costero Cananéia–Iguape, estos impactos se manifiestan mediante tormentas, vientos fuertes, granizo y descargas eléctricas, que frecuentemente resultan en la formación de claros y cambios en la estructura del bosque de manglar. A pesar de la reconocida capacidad de adaptación de estos ecosistemas, su resiliencia frente a eventos extremos recurrentes aún es poco comprendida. En este contexto, se desarrolla un análisis integrado y multiescalar de los impactos climáticos sobre los manglares, articulando diferentes enfoques metodológicos. A escala regional, debido a la escasez de estaciones meteorológicas automáticas, se utilizaron datos satelitales CHIRPS para la caracterización de los patrones de precipitación. A escala microclimática, se instalaron dos estaciones meteorológicas en sectores contrastantes del Parque Estatal de la Isla del Cardoso: una en un área de bosque conservado y otra en un claro formado por una tormenta, lo que permitió comparar las condiciones ambientales locales desde 2008. Los resultados macroclimáticos indican una tendencia significativa al aumento de los Días Secos Consecutivos, con un incremento medio de dos días por década. Por su parte, los datos microclimáticos evidencian que las variaciones de temperatura, humedad y disponibilidad hídrica están fuertemente moduladas por factores locales, como la estructura de la vegetación y la apertura de claros. Estas variaciones influyen directamente en el régimen de inundación, la salinidad y la respuesta de la vegetación. La información climática también sustenta análisis integrados de la estructura forestal, suelos, índices de vegetación, reservas de carbono y servicios ecosistémicos, contribuyendo a la comprensión de la vulnerabilidad y de los límites de resiliencia de estos ambientes. De este modo, el monitoreo climático multiescalar se revela esencial no solo para comprender la respuesta de los manglares a eventos extremos, sino también como herramienta estratégica.

Palabras clave: microclima; eventos extremos; vulnerabilidad; servicios ecosistémicos

Abstract. Mangroves are among the most productive and ecologically significant ecosystems in the world, providing essential ecosystem services such as coastal protection, carbon sequestration, and biodiversity maintenance. However, these environments have been experiencing increasing processes of reduction, fragmentation, and structural change, intensified by the rising frequency and intensity of extreme events associated with climate change. In the Cananéia–Iguape Coastal System, these impacts are manifested through storms, strong winds, hail, and lightning, often resulting in canopy gaps and changes in mangrove forest structure. Despite the recognized adaptive capacity of these ecosystems, their resilience to recurrent extreme events is still poorly understood. In this context, an integrated and multiscale analysis of climate impacts on mangroves is developed, combining different methodological approaches. At the regional scale, due to the scarcity of automatic weather stations, CHIRPS satellite data were used to characterize precipitation patterns. At the microclimatic scale, two meteorological stations were installed in contrasting sectors of the Ilha do Cardoso State Park: one in a conserved forest area and another in a storm-generated gap, allowing comparison of local environmental conditions since 2008. Macroclimatic results indicate a significant increasing trend in Consecutive Dry Days, with an average rise of two days per decade. In turn, microclimatic data show that variations in temperature, humidity, and water availability are strongly modulated by local factors such as vegetation structure and canopy openings. These variations directly influence the flooding regime, salinity, and vegetation response. Climatic information also supports integrated analyses of forest structure, soils, vegetation indices, carbon stocks, and ecosystem services, contributing to the understanding of vulnerability and resilience limits of these environments. Thus, multiscale climate monitoring proves essential not only for understanding mangrove responses to extreme events, but also as a strategic tool for assessing vulnerability and formulating climate change adaptation strategies in coastal zones.

Palavras-chave: microclimate; extreme weather events; vulnerability; ecosystem services.

1 Introdução.

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos e relevantes do mundo, fornecendo bens e serviços ecossistêmicos essenciais às sociedades humanas e aos sistemas costeiros, como a proteção costeira. No entanto, esses ecossistemas vêm sofrendo processos crescentes de redução e fragmentação, contribuindo para a perda progressiva desses serviços ao longo do tempo. Por serem ambientes dinâmicos, estão sujeitos a fenômenos naturais variados, cuja intensidade e frequência têm aumentado com as mudanças climáticas.

No Sistema Costeiro Cananéia–Iguape, esses impactos se manifestam sobretudo por eventos climáticos extremos, como tempestades, ventos intensos, granizo e descargas elétricas. Esses eventos têm causado a formação de clareiras e alterações na estrutura da floresta de mangue. Apesar da reconhecida capacidade adaptativa dos manguezais, a resiliência do sistema frente a eventos climáticos intensos e recorrentes ainda é pouco compreendida. Essa lacuna está, em parte, associada à dificuldade de integrar processos que atuam em diferentes escalas espaciais, desde os controles climáticos regionais até as respostas microclimáticas locais no interior do ecossistema.

Com o objetivo de ampliar o entendimento desses processos, um grupo de pesquisadores vem desenvolvendo uma análise integrada e multiescalar dos impactos de eventos climáticos intensos sobre os manguezais do Sistema Costeiro Cananéia–Iguape (SCCI), articulando diferentes abordagens metodológicas, entre as quais se insere a análise climática em múltiplas escalas — desde a caracterização regional por dados orbitais até o monitoramento microclimático *in situ* —, de modo a compreender como os sinais de larga escala se manifestam na escala local.

2 Métodos ou materiais e métodos.

Uma das vertentes centrais desse monitoramento refere-se à análise climática, conduzida em múltiplas escalas espaciais, da regional à microclimática. Em função da escassez de estações meteorológicas automáticas oficiais na região, a abordagem em escala regional baseia-se no uso de produtos orbitais, como CHIRPS, que permitem a caracterização dos padrões atmosféricos atuantes sobre os manguezais.

Em escala microclimática, foram instaladas duas estações meteorológicas: um setor conservado, com floresta de mangue contínua e outra localizada em uma clareira formada após uma tempestade, ambas em setores do Parque Estadual da Ilha do Cardoso – PEIC, no litoral sul do estado de São Paulo/Brasil. O monitoramento microclimático é realizado desde 2008, o que permitiu acompanhar alterações nos manguezais associados a mudanças na hidrodinâmica, e posteriormente intensificadas pelo impacto de eventos climáticos intensos (Fig. 1).

As estações meteorológicas automáticas instaladas permitem a obtenção de dados dos atributos climáticos de temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, precipitação, radiação solar e temperatura do solo. Por terem sido instaladas em anos distintos (2011 e 2024, respectivamente), foram selecionados apenas o período de amostragem de dados com concomitância de registros em ambas as estações, entre maio e dezembro de 2025.

Nesse trabalho, optou-se, por analisar a precipitação na escala regional e a temperatura do ar na escala microclimática, por se tratarem dos indicadores mais sensíveis, respectivamente, à caracterização do regime climático e às respostas locais do sistema manguezal.

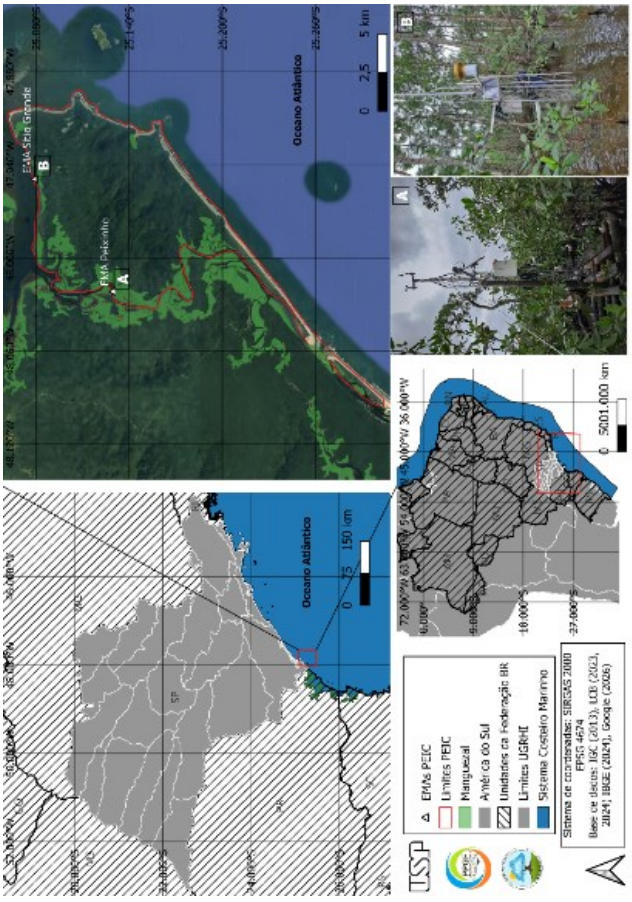


Fig. 1. Localização da área de estudo e das estações meteorológicas, Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP, Brasil.

3 Resultados

3.1 Análise Regional

Na análise macroclimática (1981–2022), os dados de precipitação indicam uma tendência de aumento dos Dias Secos Consecutivos (CDD), estatisticamente significativa ($p < 0,05$), com crescimento médio de 2 dias por década (Sen's Slope). Como resultado, o número de dias secos passou de 17 no início da série para 45 dias em 2018.

Os resultados sazonais indicam uma tendência consistente de aridificação, com mudanças mais marcantes no verão (JFM) e outono (AMJ). O CDD aumentou significativamente no verão ($p = 0,05$), com crescimento de 1 dia por década e ponto de mudança em 2003, passando de 6 para 14 dias secos ao longo da série. Em contraste, o CWD apresentou redução ($p = 0,08$), indicando menor duração dos períodos chuvosos. Também houve diminuição da intensidade das chuvas extremas (RX1day) no verão e outono, com queda de 0,71 mm/ano (7,1 mm/década) no verão e 4,1 mm/ano (40,1 mm/década) no outono.

Na escala mensal, em fevereiro, os dias chuvosos consecutivos (CWD) apresentaram uma redução de um (1) dias por década (LM Slope) enquanto o CDD demonstro o aumento significativo (p-valor <0.05) de um (1) dia por década. Em março, para a precipitação total em dias extremamente chuvosos (R99pTOT), registou-se uma redução significativa (p-valor <0.05) superior a 1,7 mm.

3.2 Análise Microclimática

Os maiores valores mensais de temperatura do ar variam entre 19,0 °C e 25,0 °C, ocorrendo em maio, novembro e dezembro. Os menores valores foram registrados entre junho e agosto, no inverno, variando de 15,0 °C a 24,0 °C. Destaca-se ainda uma variação diária acentuada em determinados eventos, com diferença de cerca de 10,0 °C entre 25 de julho (≈25,0 °C) e 01 de agosto (14,0 °C).

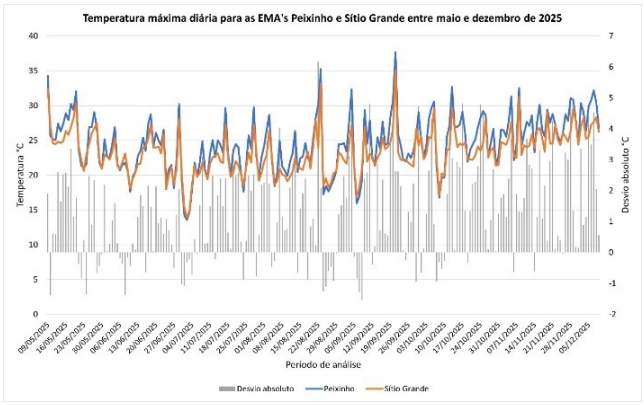


Fig. 2. Temperatura máxima do ar nas estações meteorológicas instaladas nos manguezais do PEIC, SP, Brasil.

As temperaturas máximas do ar foram mais elevadas em setembro, outubro e novembro (25,0 °C a 32,0 °C), enquanto os menores valores ocorreram em junho, julho e agosto (16,0 °C a 27,0 °C), conforme fig. 2. Destaca-se um evento em agosto com forte variabilidade diária (22 a 24/08), incluindo um pico de 35,2 °C. Os desvios absolutos foram predominantemente elevados (3 °C a 5 °C), com episódios superiores a 6 °C, especialmente em agosto, que também apresentou maior variabilidade geral.

As temperaturas mínimas do ar variaram entre 9,0 °C e 21,0 °C, com os menores valores concentrados em junho, julho e agosto (11,0 °C a 16,0 °C). Já de maio a início de dezembro, os valores foram mais elevados (17,0 °C a 19,0 °C), com episódios acima de 21,0 °C. Destaca-se uma queda acentuada entre 21 e 25 de junho (18,5 °C para 8,0 °C). Os desvios absolutos foram geralmente baixos, mas com maiores variações em agosto e setembro, incluindo extremos de -3,0 °C e 1,0 °C, conforme fig.3.

4 Discussão

Os resultados indicam uma mudança no regime de precipitação do manguezal, com aumento dos períodos secos (CDD) e redução dos períodos úmidos (CWD), sugerindo chuvas menos persistentes e secas mais prolongadas.

Observa-se redução da intensidade dos eventos extremos de chuva (RX1day), indicando menor ocorrência de chuvas intensas. Em conjunto com o aumento dos períodos secos

(CDD) e a redução da continuidade das chuvas (CWD), esses resultados sugerem uma transição para um regime pluviométrico mais fragmentado e menos intenso.

A detecção de um ponto de mudança em 2003 sugere alteração no regime climático regional, possivelmente ligada a variabilidades de grande escala e mudanças atmosféricas locais. Isso pode afetar a dinâmica hidrológica do manguezal, especialmente o equilíbrio entre água doce, salinidade e processos ecológicos.

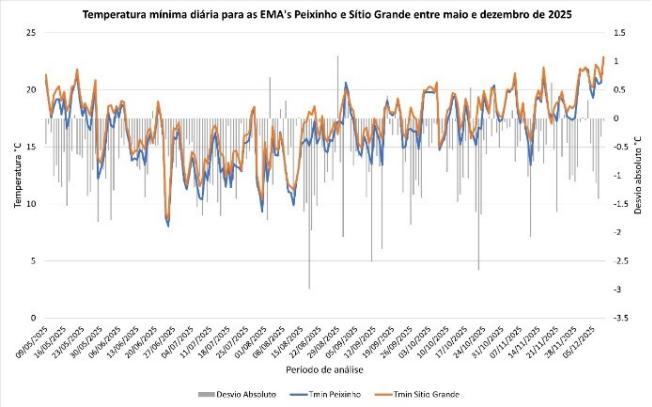


Fig. 3. Temperatura mínima do ar nas estações meteorológicas instaladas nos manguezais do PEIC, SP, Brasil.

Nesse contexto, As alterações no regime climático regional influenciam as respostas microclimáticas locais, evidenciando a necessidade de uma abordagem multiescalar para compreender os impactos climáticos nos manguezais. Essa estratégia metodológica permite integrar controles de larga escala e suas expressões no microclima.

A variabilidade térmica observada está associada à dinâmica atmosférica regional, especialmente à atuação de sistemas pré-frontais e frontais. O aquecimento pré-frontal eleva a temperatura e reduz a pressão atmosférica, enquanto a passagem de frentes frias provoca resfriamento abrupto devido à entrada de massas de ar polar. A recorrência de sistemas pré-frontais e frontais, com periodicidade de 5 a 7 dias e maior intensidade no outono e inverno, explica a alta variabilidade térmica observada, incluindo variações nas temperaturas médias, máximas e mínimas e episódios de grande amplitude térmica em curtos períodos.

Os episódios mais extremos, sobretudo em agosto e junho, estão associados à rápida transição entre condições pré-frontais e frontais, com aquecimento seguido de resfriamento intenso. Ainda assim, a magnitude dessas variações e as diferenças entre estações indicam forte influência de fatores locais, como vegetação, clareiras e características da superfície, na configuração do microclima.

De forma integrada, os resultados mostram que a dinâmica climática do manguezal resulta da interação entre processos de larga escala e controles locais, destacando a importância do monitoramento multiescalar para compreender a variabilidade ambiental e os impactos de eventos extremos.

5 Conclusões

Diante da redução da precipitação e do aumento da ocorrência de eventos extremos, o monitoramento contínuo dos manguezais do sistema Cananéia–Iguape é essencial. Os resultados indicam que a compreensão dessas dinâmicas depende de uma abordagem multiescalar, integrando padrões climáticos regionais e microclimáticos para entender suas implicações locais em temperatura, umidade e disponibilidade hídrica. Essas variações influenciam diretamente o regime de inundação, a salinidade e a resposta da vegetação, especialmente em áreas heterogêneas como clareiras. As informações climáticas também subsidiam outras análises, como a estrutura da floresta, índices de vegetação por sensoriamento remoto, caracterização dos solos, identificação de áreas de acúmulo de carbono e avaliação de serviços ecossistêmicos.

Dessa forma, o monitoramento climático integrado em múltiplas escalas não apenas contribui para o aprofundamento do conhecimento sobre a resposta dos manguezais a eventos extremos, mas também se configura como ferramenta essencial para a avaliação da vulnerabilidade, dos limites de resiliência e para a proposição de estratégias de adaptação às mudanças climáticas em zonas costeiras.

6 Referências

Alongi, D. M. (2022). Climate change and mangroves. En S. C. Das, Pullaiah & E. C. Ashton (Eds.), *Mangroves: Biodiversity, Livelihoods and Conservation* (pp. 175–198). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0519-3_8

Baratto, J., Terassi, P. M. B., Lima, N. G. B., & Galvani, E. (2024). Precipitation anomalies and trends estimated via satellite rainfall products in the Cananeia–Iguape Coastal System, Southeast Region of Brazil. *Climate,* 12, 22**.** https://doi.org/10.3390/cli12020022

Baratto, J., Terassi, P. M. B., Lima, N. G. B., Emiliano, V. M., & Galvani, E. (2025). Long-term rainfall trends in the Cananéia–Iguape Coastal System, Brazil, derived from CHIRPS satellite data (1981–2022). *Earth Systems and Environment***,** 1–27**.** https://doi.org/10.1007/s41748-025-00922-6

Lima, N. G. B., Cunha-Lignon, M., Martins, A., Armani, G., & Galvani, E. (2023). Impacts of extreme weather event in Southeast Brazilian mangrove forest. *Atmosphere, 14***,** 1195. https://doi.org/10.3390/atmos14081195

Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H., & MacKenzie, R. A. (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: A region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability, 2*(4), e01211. https://doi.org/10.1002/ehs2.1211

Climate-Driven Changes in the Distribution of *Crotalus durissus* and Public Health in Southeastern Brazil

Azevedo Thiago Salomão de [1,2] y Guedes Thaís Barreto [1]

[1] Department of Biodiversity, Institute of Biosciences, UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brazil
[2] Secretary of Health, Municipality of Santa Barbara d'Oeste, São Paulo, Brazil
azevedots@gmail.com

Abstract: Snakebite envenoming remains a major public health concern in Brazil, with particular emphasis on crotalic envenomations, which are characterized by high clinical severity. In this context, this study evaluated the current and future geographic distribution of *C. durissus* in São Paulo State, identifying areas of climatic suitability under climate change scenarios. Species distribution modeling was performed using reliable occurrence records, bioclimatic variables from WorldClim, and projections from the MIROC6 model for the years 2040 and 2060 under both pessimistic and optimistic scenarios. Relative changes in climatic suitability were estimated, and a Relief-Level Climate Vulnerability Index was used to synthesize spatial responses. The results indicate an expansion of suitable areas toward inland regions, with localized contractions along the coastal zone and in the eastern portion of the state. These findings suggest that a climate-driven spatial reorganization of the species is likely to occur, reinforcing the need to incorporate climate projections into public health planning.

Keywords: Climate change, rattlesnakes, species distribution modeling, ensemble modeling, biogeography.

Resumen: El envenenamiento por serpientes continúa siendo un importante problema de salud pública en Brasil, con especial énfasis en los accidentes crotálicos, caracterizados por su elevada gravedad clínica. En este contexto, el presente estudio evaluó la distribución geográfica actual y futura de *C. durissus* en el estado de São Paulo, con el objetivo de identificar áreas de idoneidad climática bajo escenarios de cambio climático. La modelización de la distribución de la especie se realizó utilizando registros de ocurrencia confiables, variables bioclimáticas de WorldClim y proyecciones del modelo MIROC6 para los años 2040 y 2060, considerando escenarios tanto pesimistas como optimistas. Se estimaron los cambios relativos en la idoneidad climática, y se aplicó el Índice de Vulnerabilidad Climática por Unidades de Relieve para sintetizar las respuestas espaciales. Los resultados muestran una expansión de las áreas adecuadas hacia el interior, con contracciones localizadas en el litoral y en la región oriental del estado. En conjunto, estos hallazgos sugieren que es probable una reorganización espacial de la especie impulsada por el clima, lo que refuerza la necesidad de incorporar proyecciones climáticas en la planificación en salud pública.

Palabras Clave: Cambio climático, cascabel, modelización de la distribución de espécies, *ensemble*, biogeografia.

Resumo: O envenenamento por serpentes permanece um importante problema de saúde pública no Brasil, com destaque para os acidentes crotálicos, caracterizados por elevada gravidade clínica. Neste contexto, este estudo avaliou a distribuição geográfica atual e futura de *C. durissus* no estado de São Paulo, identificando áreas de adequabilidade climática sob cenários de mudanças climáticas. Realizamos a modelagem da distribuição da espécie considerando registros de ocorrência confiáveis e variáveis bioclimáticas do *WorldClim* e projeções do modelo *MIROC6* para os anos de 2040 e 2060 em cenários pessimistas e otimistas. As variações relativas na adequabilidade foram estimadas, e o Índice de Vulnerabilidade Climática ao nível das Unidades de Relevo foi empregado para sintetizar as respostas espaciais. Os resultados indicam expansão das áreas adequadas em direção ao interior, com retrações localizadas no litoral e na região leste do estado. Esses resultados sugerem que haverá uma reorganização espacial desta espécie impulsionada pelo clima, reforçando a necessidade de incorporar projeções climáticas no planejamento em saúde pública.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, cascavel, modelagem de distribuição de espécies, *ensemble*, biogeografia.

1 Introduction

Snakebite envenoming remains a major public health concern in Brazil and worldwide *(Cardoso et al., 2026)*. Among medically important species, *Crotalus durissus* (rattlesnake) stands out. The species is part of Viperidae family and able to cause serious health problems to humans if an accident occur. It is a terrestrial species, characterized by a robust body, relatively low agility, and the distinctive rattle at the tip of its tail (Melgarejo, 2009).

The rattlesnake has a broad geographic distribution and is typically associated with open habitats, including savannas, forest edges, grasslands, and dry, rocky environments, particularly in the Cerrado and Caatinga biomes (Nogueira et al., 2019). Although crotalic envenomations account for

roughly 10% of snakebite cases in São Paulo State, their clinical impact is substantial (Freitas et al., 2025).

The venom of *C. durissus* is predominantly neurotoxic and myotoxic, often leading to severe clinical outcomes and a higher risk of mortality compared to other snakebite envenomations in Brazil (Hammer et al., 2022). These characteristics highlight the importance of monitoring the species in both space and time, especially from a public health perspective (Freitas et al., 2025).

As an ectothermic organism, this species is highly sensitive to environmental conditions, particularly temperature and moisture. As a result, climate change is likely to influence its geographic distribution, activity patterns, and ecological interactions. Despite this, comprehensive assessments of how climate change affects the spatial dynamics of this species in Brazil remain limited (Guerra et al., 2023).

Understanding how the distribution of *Crotalus* pit viper may shift under future scenarios is therefore essential for improving prevention strategies and reducing the health burden associated with snakebites (Freitas et al., 2025; Guerra et al., 2023).

In this context, we aim to map the current and projected geographic distribution of *Crotalus* species in order to identify potential risk areas, recognizing that both human activities and climate change play a key role in shaping the distribution and abundance of this species.

2 Materials and methods

Occurrence records of *C. durissus* were sourced from the Brazilian Atlas of Snakes (Nogueira et al., 2019) and curated through duplicate removal, spatial validation, and geographic standardization (Sillero et al., 2021). To limit spatial autocorrelation and sampling bias, records were spatially thinned using a minimum distance equal to the resolution of the environmental layers (Støa et al., 2018).

Bioclimatic variables were obtained from WorldClim, and future climates were projected with the MIROC6 model under scenarios corresponding to a 2.0 –3.7°C global temperature increase for the 2040 and 2060 time slices. Species distribution models were implemented in the *biomod2* package in R using an ensemble approach, relating occurrence records to environmental predictors defining the Grinnellian niche. Models were calibrated with presence data and 500 randomly generated pseudo-absences *(Barbet-Massin et al., 2012)*, with two independent runs to reduce selection bias. Model performance was evaluated using the Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC) and the True Skill Statistic (TSS), the latter being robust to prevalence effects (Allouche et al., 2006). Final predictions were obtained from a performance-weighted ensemble.

To examine macrogeographic patterns, continuous climatic suitability surfaces were overlaid with the relief units of São Paulo State (São Paulo, 2017). Mean suitability values were extracted for each unit using zonal statistics in a GIS environment. Relative changes in climatic suitability were computed with respect to present conditions as:

$$\Delta\,\% = (E_{st} - E_p / E_p) * 100$$

Where:

$\Delta\,\%$ = Relative Change in Climatic Suitability
E*st* = Future Climate Change Scenario Emission
E*p* = Current Scenario Emission

These values were then used to summarize the responses across scenarios and time periods through a Relief-Level Climate Vulnerability Index (RLCVI), defined as the signed mean of Δ% values:

$$RLCV = \Delta\%_{\,E2.45\ 2040} + \Delta\%_{\,E2.45\ 2060} + \Delta\%_{\,E5.85\ 2040} + \Delta\%_{\,E5.85\ 2040} / 4$$

Where:

RLCVI = Relief Units Level Climate Vulnerability Index
$\Delta\,\%$ = Relative Change in Climatic Suitability
E = Future Climate Change Scenario Emission

The RLCVI summarizes the overall magnitude of change in suitability for each relief unit while preserving the sign of the response. The $\Delta_{\%}$ and RLCVI were compiled into comparative tables to characterize spatial patterns and to classify relief units by their response to climate change. The direction of change was derived from the signed mean of $\Delta_{\%}$ across scenarios, with positive values indicating expansion, negative values indicating contraction, and values near zero indicating stability.

All derived metrics were subsequently mapped to produce thematic layers of climatic suitability, relative change $\Delta_{\%}$, and direction of change across São Paulo State.

3 Results

Climatic suitability projections for *C. durissus* reveal consistent spatial changes across São Paulo State under the future scenarios analyzed (Fig. 1). Under present conditions, higher suitability is observed in inland regions and transitional areas, whereas coastal zones and more humid sectors show comparatively lower values. In future scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5), there is an overall increase in climatic suitability, particularly across inland regions, with a progressive expansion of suitable areas over time (2040–2060).

The direction of change in climatic suitability $\Delta_{\%}$ for *C. durissus* reveals a clear spatial pattern across São Paulo State (Fig.2). Areas classified as expansion are predominant and are mainly distributed across the central-southern portion of the state and adjacent inland regions. These areas form a relatively continuous pattern, particularly along plateau landscapes and fluvial systems.

In contrast, areas classified as contraction are more spatially restricted, with a more continuous core in the northeastern portion of the state, along with smaller, isolated patches along the coastal zone and in scattered inland areas.

Areas classified as stable are more widely distributed, covering a large portion of the state, especially across central and western regions.

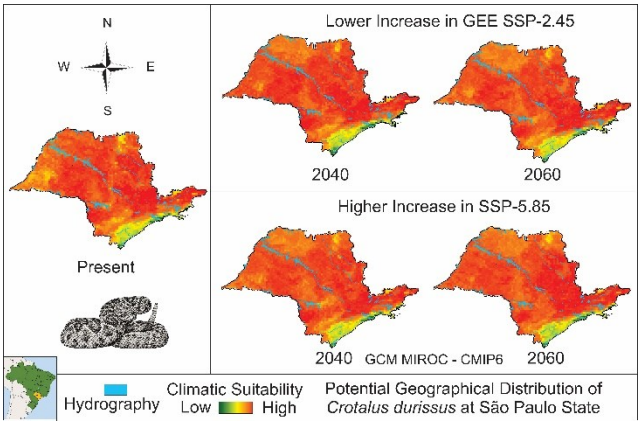


Fig. 1. Present and Future Climatic Suitability of *Crotalus durissus* in São Paulo State

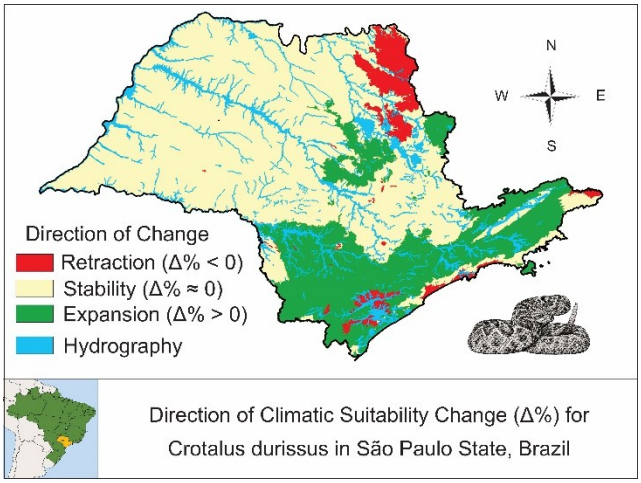


Fig. 2. Spatial Patterns of Suitability Change for *Crotalus durissus* in São Paulo State

4 Discussion

The observed patterns in the variation of climatic suitability for *Crotalus durissus* in São Paulo State reflect trends widely reported in the literature on snake responses to climate change. Overall, the results indicate a consistent spatial gradient, with increased suitability in inland areas and reduced or stable suitability in coastal and more humid regions, suggesting a spatial reorganization of the species' potential distribution.

This pattern is consistent with evidence that snakes, as ectothermic organisms, are strongly dependent on environmental temperature and precipitation, making them particularly sensitive to climate change (Needleman et al., 2018). Changes in temperature and water availability can directly affect physiological processes, activity patterns, and, consequently, the geographic distribution of this species. In this context, the increase in suitability in drier and more open areas observed in this study suggests that future conditions may favor environments aligned with the ecological preferences of *C. durissus*, a species typically associated with the South American "dry diagonal."

Furthermore, the expansion observed in inland areas is consistent with studies showing that the distribution of venomous snakes is not static, but responds dynamically to environmental changes, shifting spatially in response to global warming (Nori et al., 2014). Future projections indicate that such shifts may lead to the occupation of new areas, often more densely populated, increasing the potential for human–snake interactions and, consequently, the risk of snakebite envenoming.

In the case of *C. durissus*, recent evidence suggests that its geographic expansion in South America has been driven primarily by land-use change, particularly the conversion of forested areas into pasturelands, and secondarily by climate change (Guerra et al., 2023). This finding is particularly relevant for interpreting the results presented here, as it indicates that the increase in climatic suitability identified in inland regions may be further reinforced by anthropogenic processes that create more open and favorable habitats for the species. Therefore, the observed expansion should be understood as the result of a synergistic effect between climate and land use.

On the other hand, the reduction or stability of suitability in areas associated with the Atlantic Forest and Serra do Mar may reflect ecological constraints related to higher humidity and lower thermal variability in these regions. Studies conducted in the Atlantic Forest hotspot indicate that climate change is likely to promote contraction of suitable areas for several snake species, along with high levels of turnover and long-term biodiversity loss (Moraes et al., 2019). This pattern reinforces the idea that humid forest environments may be less favorable for species adapted to drier and more open conditions, such as *Crotalus*.

Additionally, behavioral traits of the species help explain its capacity for expansion. Studies on activity patterns indicate that *C. durissus* remains active throughout the year, including during colder and drier periods, which facilitates its colonization of different environments and enhances its resilience to climatic variability (Tozetti & Martins, 2013). This behavioral plasticity may amplify the effects of climate change, allowing the species to exploit newly suitable areas as environmental conditions shift.

From an integrated perspective, the RLCVI index developed in this study highlights the spatial heterogeneity of these responses, showing that the highest levels of climatic vulnerability are associated with regions where changes in suitability are more intense and consistent across scenarios. These areas, predominantly located in the interior of São Paulo State, may represent emerging zones of climatic expansion, whereas coastal regions tend to function as areas of stability or contraction.

Finally, the results show direct implications for public health planning. The literature indicates that shifts in the distribution of venomous species may lead to the expansion of envenomation risk into new regions, requiring adjustments in surveillance systems and the distribution of antivenoms

(Needleman et al., 2018). Thus, the potential expansion of *C. durissus* into inland areas of São Paulo identified in this study may represent a future scenario of increased epidemiological risk, particularly in regions currently considered to have low incidence of snake accidents.

5 Conclusions

We demonstrate that climatic suitability for *C. durissus* in São Paulo State is likely to undergo significant spatial reorganization under future climate scenarios. The results consistently indicate an expansion of suitable areas toward inland regions, accompanied by localized contraction in coastal and more humid environments. This process may increase the likelihood of human–snake interactions, especially in areas currently considered of lower epidemiological relevance. From a public health perspective, these results underscore the need to incorporate climate-informed approaches into surveillance systems and territorial planning strategies. Anticipating future shifts in species distribution is essential for optimizing the allocation of antivenom resources and strengthening preventive actions in emerging risk areas.

6 References

Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, *43*, 1223–1232. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x

Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H., & Thuiller, W. (2012). Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, *3*, 327–338. https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00172.x

Cardoso, L. C., Nunes, H. M. G., da Silva, J. M. R., de Carvalho, A. E. M., de Oliveira, P. E., Souza Nascimento, R. P., Ferreira Filho, P. S. C., de Brito, R. J. V. C., do Carmo, R. F., & Freire de Souza, C. D. (2026). Medically relevant snakebite envenomation in Brazil (2009–2023): An epidemiological profile and temporal trend analysis. *Discover Public Health*, *23*, Article 326. https://doi.org/10.1186/s12982-026-01680-0

Freitas, G. D., Lacerda, A. B., Azevedo, T. S., Oliveira, A., Spinola, R. M. F., Dourado, F. S., Wen, F. H., & Chiaravalloti-Neto, F. (2025). What are the characteristics and where is the highest risk of snakebite accidents in the state of São Paulo? *Revista Brasileira de Epidemiologia*, *28*, Article e250026. https://doi.org/10.1590/1980-549720250026

Guerra, G. F. C., Vale, M. M., Tardin, R., & Fernandes, D. S. (2023). Global change explains the neotropical rattlesnake *Crotalus durissus* (Serpentes: Viperidae) range expansion in South America. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *21*, 200–208. https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.06.003

Hammer, F. M., Feio, R. N., & Siqueira-Batista, R. (2022). Acidentes crotálicos no Brasil: Atualidades e perspectivas. *Revista Médica de Minas Gerais*, *32*, Article e-32202. https://doi.org/10.5935/2238-3182.2022e32202

Lourenço-de-Moraes, R., Lansac-Toha, F. M., Schwind, L. T. F., Arrieira, R. L., Rosa, R. R., Terribile, L. C., Lemes, P., Rangel, T. F., Diniz-Filho, J. A. F., Bastos, R. P., & Bailly, D. (2019). Climate change will decrease the range size of snake species under negligible protection in the Brazilian Atlantic Forest hotspot. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 8523. https://doi.org/10.1038/s41598-019-44732-z

Melgarejo, A. R. (2009). Serpentes peçonhentas do Brasil. In J. L. C. Cardoso et al. (Eds.), *Animais peçonhentos no Brasil* (2nd ed., pp. 42–70). Sarvier.

Nogueira, C. C., Argôlo, A. J. S., Arzamendia, V., Azevedo, J. A., Barbo, F. E., Bérnils, R. S., Bolochio, B. E., Borges-Martins, M., Brasil-Godinho, M., Braz, H., Buononato, M. A., Cisneros-Heredia, D. F., Colli, G. R., Costa, H. C., Franco, F. L., Giraudo, A., Gonzalez, R. C., Guedes, T., Hoogmoed, M. S., … Martins, M. (2019). Atlas of Brazilian snakes: Verified point-locality maps to mitigate the Wallacean shortfall in a megadiverse snake fauna. *South American Journal of Herpetology*, *14*, 1–274. https://doi.org/10.2994/SAJH-D-19-00120.1

Nori, J., Carrasco, P. A., & Leynaud, G. C. (2014). Venomous snakes and climate change: Ophidism as a dynamic problem. *Climatic Change*, *122*, 67–80. https://doi.org/10.1007/s10584-013-1019-6

São Paulo. (2017). *Shapefile das Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico do Estado de São Paulo*. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/02/shapefile-das-unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo/

Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enríquez-Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa-Guedes, D., Martínez-Freiría, F., Real, R., & Barbosa, A. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, *456*, Article 109671. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671

Støa, B., Halvorsen, R., Mazzoni, S., & Gusarov, V. I. (2018). Sampling bias in presence-only data used for species distribution modelling: Theory and methods for detecting sample bias and its effects on models. *Sommerfeltia*, *38*, 1–53. https://doi.org/10.2478/som-2018-0001

Tozetti, A. M., & Martins, M. (2013). Daily and seasonal activity patterns of free range South-American rattlesnake (*Crotalus durissus*). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *85*(3), 1047–1052. https://doi.org/10.1590/S0001-37652013005000043

Medical biogeography of *Tityus serrulatus*: climate change and future sting risk in southern Brazil

Azevedo Thiago Salomão de[1,2], Marques-da-Silva Emanuel[3], Brescovit Antônio Domingos[4], Goldoni Paulo André Margonari[4] y Iniesta Luiz Felipe Moretti[5]

[1] Department of Biodiversity, Institute of Biosciences, UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brazil
[2] Secretary of Health, Municipality of Santa Barbara d'Oeste, São Paulo, Brazil
[3] Secretary of Health, State of Paraná, Paraná, Brasil
[4] Butantan Institute, São Paulo, Brasil
[5] Department of Zoology, Federal University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.
azevedots@gmail.com

Abstract: Climate change is expected to alter the geographic distribution of medically important scorpions, yet its effects on scorpionism risk remain poorly understood at the regional scale. This study evaluated the influence of climate change on the spatial distribution of *Tityus serrulatus* sting risk in Paraná State by integrating ecological niche modeling with a GIS multicriteria risk index incorporating epidemiological, demographic, and healthcare accessibility variables. Results revealed a marked north–south suitability gradient, with progressive risk expansion toward central and eastern regions under higher-emission scenarios. These findings suggest that climate change may facilitate range expansion by reducing environmental constraints, increasing human–scorpion interactions, and underscore the value of integrated ecological–epidemiological frameworks for scorpionism surveillance and public health planning.

Keywords: Climate change, venomous animals, scorpionism, spatial modeling, Paraná state.

Resumen: El cambio climático ha sido señalado como uno de los principales factores que influyen en la distribución geográfica de escorpiones de importancia médica, aunque sus efectos sobre el riesgo de escorpionismo aún son poco comprendidos a escala regional. Este estudio evaluó la influencia del cambio climático en la distribución espacial del riesgo de accidentes por *Tityus serrulatus* en el estado de Paraná, mediante la integración de modelado de nicho ecológico con un índice de riesgo multicritério, en entorno SIG, incorporando variables epidemiológicas, demográficas y de accesibilidad a los servicios de salud. Los resultados evidenciaron un marcado gradiente de aptitud climática en sentido norte–sur, con una expansión progresiva del riesgo hacia las regiones central y este del estado bajo escenarios de altas emisiones. Estos hallazgos indican que el cambio climático puede favorecer la expansión de la especie al reducir las restricciones ambientales, incrementando las interacciones humano–escorpión, y destacan la importancia de enfoques ecológico-epidemiológicos integrados para la vigilancia del escorpionismo y la planificación en salud pública.

Palabras Clave: Cambio climático, animales venenosos, escorpionismo, modelación espacial, estado de Paraná.

Resumo: As mudanças climáticas têm sido apontadas como um dos principais fatores de alteração na distribuição geográfica de escorpiões de importância médica, embora seus efeitos sobre o risco de escorpionismo ainda sejam pouco compreendidos em escala regional. Este estudo avaliou a influência dessas mudanças na distribuição espacial do risco de acidentes por *Tityus serrulatus* no estado do Paraná, por meio da integração de modelagem de nicho ecológico com um índice de risco multicritério, em ambiente SIG, incorporando variáveis epidemiológicas, demográficas e de acessibilidade aos serviços de saúde. Os resultados evidenciaram um marcado gradiente de adequabilidade no sentido norte–sul, com expansão progressiva do risco em direção às regiões central e leste do estado sob cenários de alta emissão. Esses achados indicam que as mudanças climáticas podem favorecer a expansão da espécie ao reduzir restrições ambientais, ampliando as interações humano–escorpião, e destacam a importância de abordagens ecológico-epidemiológicas integradas para a vigilância do escorpionismo e o planejamento em saúde pública.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, animais venenosos, escorpionismo, modelagem espacial, estado do Paraná.

1 Introduction

Scorpionism is a growing public health concern in Brazil, where incidence rates increased by 349% between 2012 and 2024, totaling over 1.7 million cases and 1,230 deaths (Lacerda et al., 2025). *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 is the leading cause of severe envenomations in the country, driven by its highly toxic venom, synanthropic habits, and parthenogenetic reproduction, which enables rapid range expansion (Pucca et al., 2025). Originally restricted to southeastern Brazil, the species has progressively spread into new territories (Barrios-Montivero et al., 2025), includ-

ing Paraná State, where records date to the 1990s and colonization continues to intensify (Azevedo et al., 2025). This expansion reflects the interplay of climatic, anthropogenic, and ecological factors shaping habitat suitability across the region (Karmaoui & Sereno, 2026). This study therefore evaluates the effects of climate change on the potential spatial distribution of scorpion sting risk in Paraná State, integrating ecological niche modeling with multicriteria analytical approaches.

2 Materials and methods

The potential distribution of *T. serrulatus* was modeled using the MaxEnt algorithm, based on bioclimatic variables from the WorldClim database and future projections derived from the MIROC5 global climate model under the RCP 2.6 and RCP 8.5 emission scenarios for the periods 2040–2070 and 2071–2100 (Fick & Hijmans, 2017).

Occurrence records were obtained from the Paraná State Health Secretariat and used to calibrate the MaxEnt model. To reduce multicollinearity among predictor variables, a principal component analysis (PCA) was conducted. Variables with the highest loadings in the principal components explaining most of the environmental variance were retained, resulting in four predictors: minimum temperature of the coldest month, precipitation of the wettest month, elevation, and annual temperature range. The model was parameterized using 10,000 background points, a 70/30 training–testing partition, a maximum of 1,000 iterations, and three replicated runs to ensure stability.

Scorpion sting risk in Paraná State, Brazil, was assessed using an integrated approach combining ecological niche modeling and spatial multicriteria analysis. Environmental suitability derived from MaxEnt was incorporated into a GIS-based framework in QGIS to produce a composite risk index. The analysis included the following variables: (i) potential distribution of the species; (ii) spatial incidence of scorpion sting cases from 2000 to 2024, derived from SINAN notification records; (iii) species infestation levels, derived from temporal trend analysis using the Mann–Kendall test applied to historical data aggregated at the municipal level; (iv) availability of antivenom (Brazil, 2024); (v) urban population density; and (vi) travel time to healthcare facilities (Weiss et al., 2018).

All variables were standardized to ensure comparability across different data scales. Continuous variables were normalized using min–max scaling, whereas trend values derived from the Mann–Kendall trend test were expressed as Kendall's tau and rescaled to a 0–1 range using the transformation $X'=(\tau+1)/2$, ensuring compatibility with the multicriteria analysis while preserving the direction of temporal trends.

The composite scorpion sting risk index (R) was calculated using a weighted linear combination approach, defined as:

$$R = \sum_{i=1}^{n} \omega_i . X_i'$$

Where:

ω_i represents the weight assigned to each variable

X_i' corresponds to the standardized value of each variables

Higher weights were assigned to variables directly associated with hazard (environmental suitability and incidence), while intermediate weights were attributed to temporal dynamics (infestation trends) and exposure (population density). Lower weights were assigned to healthcare accessibility indicators (travel time and antivenom availability), reflecting their indirect influence on risk formation (Table 1).

Tabla 1. Variable weights used in the risk index model

Variable	Weight
Environmental suitability (MaxEnt)	0.25
Scorpion sting incidence (SINAN)	0.25
Infestation trend (Mann-Kendall)	0.17
Urban population density	0.15
Travel time to healthcare	0.12
Antivenom availability	0.06

This procedure enabled the generation of composite scorpion sting risk maps for both current and future climate scenarios.

3 Results

The MaxEnt model demonstrated satisfactory predictive performance, with a training AUC of 0.759. Although this value falls within the moderate range, it is consistent with expectations for species with broad environmental tolerances and synanthropic habits, for which the contrast between suitable and unsuitable areas is inherently less sharp. The relatively limited number of georeferenced occurrence records available for Paraná State may also have constrained discriminatory power, a recognized limitation in regional-scale niche modeling exercises. Variable importance analysis identified minimum temperature of the coldest month as the most influential predictor, accounting for 53.1% of the model contribution, followed by precipitation of the wettest month (38.0%). Elevation made a moderate contribution (7.4%), while temperature annual range had negligible influence (1.5%). Permutation importance corroborated the dominance of precipitation (53.6%) and temperature (34.9%) as the primary determinants of environmental suitability, a pattern further supported by Jackknife analysis, which revealed a marked decline in model performance upon exclusion of either variable.

Current climatic suitability for *T. serrulatus* across Paraná State follows a clear spatial gradient, with the highest suitability values concentrated in the northern and northwestern regions and progressively lower suitability toward the south. Intermediate values across central areas suggest the presence of transitional zones (Fig. 1).

Under present conditions, scorpion sting risk exhibits a heterogeneous spatial pattern broadly consistent with this suitability gradient. Higher risk is concentrated in the northern and northwestern regions, while the southern and southwestern portions of the state remain predominantly low risk (Fig. 2).

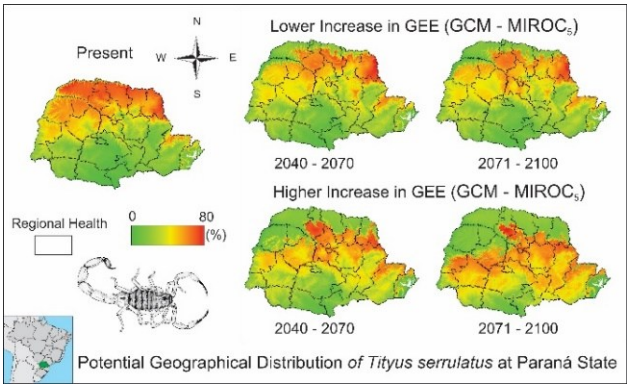


Fig. 1. Present and Future Climatic Suitability of *Tityus serrulatus* in Paraná State

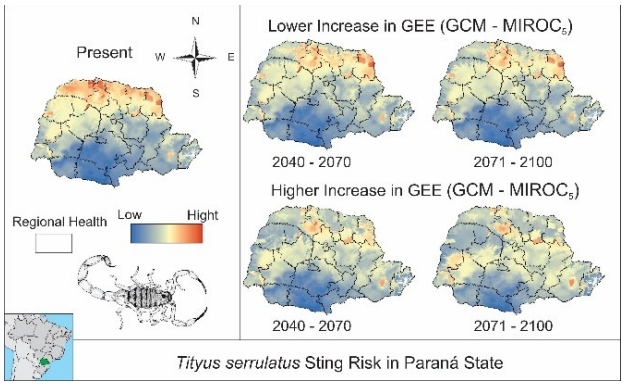


Fig. 2. Spatial Patterns of Scorpion Sting Risk in Paraná State

This north–south gradient reflects the warmer and climatically more favorable conditions that characterize the northern part of the state, with central areas forming transitional zones between high- and low-risk regions.

Under lower-emission scenarios, future projections suggest a gradual expansion of intermediate-risk areas. Between 2040 and 2070, this expansion is directed primarily toward central regions, accompanied by modest intensification of risk in the already high-risk north. By 2071–2100, the pattern becomes more consolidated, with broader areas reclassified as moderate risk, while southern regions largely retain low-risk conditions.

Higher-emission scenarios, by contrast, indicate a more pronounced amplification of risk across the state. By 2040–2070, the spatial extent of risk expansion increases substantially, with new intermediate- and high-risk areas emerging beyond the traditional northern core. This trend intensifies through 2071–2100, with elevated risk extending into central and eastern regions and producing a more diffuse and spatially heterogeneous pattern at the state scale. Despite this overall expansion, the southernmost areas continue to exhibit comparatively lower risk, though with increasing fragmentation of previously contiguous low-risk zones.

4 Discussion

These findings suggest that climate change will play a decisive role in the spatial expansion of scorpion sting risk associated with *T. serrulatus* in Paraná State. The emergence of risk in areas previously characterized by low environmental suitability indicates that gradual climatic shifts may erode key constraints, particularly thermal limitations, that historically restricted the species' establishment (Karmaoui & Sereno, 2026). As conditions become increasingly permissive, range expansion and greater human–scorpion contact are likely to follow. Notably, however, accident risk is not solely determined by species occurrence or habitat suitability. Population density, social vulnerability, and access to healthcare are critical mediating factors that can amplify or attenuate risk independently of scorpion presence, meaning that regions where expanding suitability overlaps with concentrated human vulnerability may face disproportionately higher health burdens (Hernández Muñoz et al., 2025).

This pattern is consistent with broader evidence indicating that environmental and climatic factors are major drivers of scorpionism, influencing species distribution, activity, and interaction with human populations (Karmaoui & Sereno, 2026). In addition, the adaptive capacity of *T. serrulatus* to anthropized environments, strongly linked to its parthenogenetic reproduction and combined with passive dispersal mediated by human activities, has been identified as a key mechanism underlying the geographic spread of this species in Brazil and other regions of South America (Pucca et al., 2025; Barrios-Montivero et al., 2025).

The observed expansion toward areas previously considered of low risk also aligns with epidemiological trends reported for Paraná State, where scorpion stings have increased substantially over recent decades, particularly in northern and northwestern regions, with progressive diffusion into new areas (Barbola, 2026).

Predictive modeling indicates that all 399 municipalities in Paraná may register occurrences of *T. serrulatus* by 2033, following a pattern of contiguous diffusion originating from the north of the state (Azevedo et al., 2025).

This trajectory is further corroborated by local surveillance data from São Miguel do Iguaçu, in western Paraná, where no records of the species existed prior to 2017, yet accidents increased by over 500% within seven years of its first detection (Adamante et al., 2024). Similar expansion processes have been documented in neighboring Santa Catarina, where *T. serrulatus* was historically absent, highlighting the species' capacity for rapid geographic spread, especially in urbanized landscapes (Seemann et al., 2023).

From a broader public health perspective, scorpionism represents an increasingly significant and still under-recognized health burden, particularly in tropical and subtropical regions, where environmental changes and social vulnerability interact to amplify exposure risk (Hernández Muñoz et al., 2025). In Brazil, the rapid increase in scorpion-related accidents has been characterized as a growing public health emergency, driven by a combination of climate change, urbanization, and the ecological plasticity of synanthropic species (Guerra-Duarte et al., 2023; Pucca et al., 2025).

In this context, the integration of biogeographic modeling with epidemiological and environmental data, as performed in this study, provides a valuable framework for anticipating future risk scenarios and supporting proactive public health strategies, including targeted surveillance, workforce training, optimized antivenom distribution, and improved preparedness in emerging risk areas. Evidence from Brazil highlights that disparities in healthcare access and logistical barriers can significantly influence envenomation outcomes, reinforcing the need for geographically informed health planning that accounts not only for species distribution but also for the social determinants of vulnerability (Wen et al., 2020; Silva Freitas et al., 2026).

Finally, these results reinforce the importance of adopting an integrated eco-epidemiological perspective to understand and manage scorpionism, recognizing that risk emerges from the interaction between climatic, ecological, and socio-environmental factors (Karmaoui & Sereno, 2026). Crucially, anticipating the spatial dynamics of accident risk requires moving beyond species distribution models alone, toward frameworks that integrate human vulnerability, healthcare accessibility, and territorial equity.

5 Conclusions

Climate change is projected to drive a significant spatial expansion of scorpion sting risk associated with *T. serrulatus* in Paraná State, with higher-emission scenarios producing the most pronounced distributional shifts by the end of the century. Effective risk management, however, cannot rely solely on species distribution models, as accident risk is shaped not only by scorpion occurrence, but also by where human populations are most vulnerable, defined by population density, social inequality, and access to timely medical care and antivenom. Public health policies must therefore draw on ecological, epidemiological, and socioeconomic data together, identifying areas where expanding environmental suitability converges with human vulnerability and prioritizing surveillance, workforce training, and antivenom distribution in emerging risk zones. Only through such an integrated eco-epidemiological approach will it be possible to anticipate, and ultimately mitigate, the growing burden of scorpion envenomation in a changing climate.

6 References

Adamante, D., Tomazoni, M.S., & Seberino, G.B. (2024). Aspectos da mobilidade e infestação de escorpiões (*Tityus serrulatus*) na área urbana de São Miguel do Iguaçu, Paraná, Brasil. *Revista Thêma et Scientia*, *14*(2E), 315–326.

Azevedo, T.S., Silva, E. M., Brescovit, A.D., Goldoni, P.A.M., Iniesta, L.F.M., & Cequinel, J.C. (2025). Vigilância e monitoramento do *Tityus serrulatus* no Paraná: Situação atual e perspectivas. In *Anais do 60º Congresso da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical — MEDTROP 2025* (p. 33). SBMT.

Barbola, I. F. (2026). Epidemiology of scorpion accidents in the state of Paraná, southern Brazil. *Revista Foco*. https://doi.org/10.54751/revistafoco.v19n2-030

Barrios-Montivero, A.E., Martínez, P. A., & Ojanguren-Affilastro, A. A. (2025). The ongoing expansion of the medically important scorpions in southern South America. *EcoHealth*, *22*(3), 313–331. https://doi.org/10.1007/s10393-025-01722-0

Brasil. Ministério da Saúde. (s.d.). *Hospitais de referência para atendimento a acidentes por animais peçonhentos*. https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/animais-peconhentos/hospitais-de-referencia

Fick, S.E., & Hijmans, R.J. (2017). *WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. University of California. https://www.worldclim.org

Guerra-Duarte, C., Saavedra-Langer, R., Matavel, A., Oliveira-Mendes, B. B. R., Chavez-Olortegui, C., & Paiva, A. L. B. (2023). Scorpion envenomation in Brazil: Current scenario and perspectives for containing an increasing health problem. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, *17*(2), Article e0011069. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011069

Hernández Muñoz, E.A., Borges, A., Zavala-Sánchez, E.V., Rojas de Arias, A., Oukkache, N., de Souza, C. M. V., De Sousa, L., & Castillo-Salgado, C. (2025). Scorpion sting envenomation: A neglected tropical disease in the shadow of global health priorities: An urgent call to action. *BMJ Global Health*, *10*(11), Article e020682. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2025-020682

Karmaoui, A., & Sereno, D. (2026). Scorpionism at the human-environment interface: An eco-epidemiological synthesis and conceptual framework. *Frontiers in Public Health*, *14*, Article 1771779. https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1771779

Lacerda, A.B., Cândido, D., de Azevedo, T.S., Wen, F.H., Freitas, G. D., Dourado, F. S., & Chiaravalloti Neto, F. (2025). Scorpionism in Brazil: Space-time approach and risk areas in 2012 to 2024. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, *19*(10), Article e0013602. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0013602

Pucca, M.B., Cavalcante, J.S., Jati, S.R., Cerni, F.A., Ferreira, R. S., Jr., & Arantes, E. C. (2025). Scorpions are taking over: The silent and escalating public health crisis in Brazil. *Frontiers in Public Health*, *13*, Article 1573767. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1573767

Seemann, T.M.S., Rocha, A.P., Cremonese, F., Resener, M.C., Petry, A., & Conchon Costa, A. C. (2023). Evolution of the occurrence of *Tityus serrulatus* (Lutz & Mello, 1922) in the state of Santa Catarina. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, *56*, Article e0434-2022. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0434-2022

Silva Freitas, L., Cândido, A.J.F., & Silva Junior, J.V. (2026). Hospital burden of accidents involving venomous animals in Brazil from 2014 to 2023. *Discover Public Health*, *23*, Article 611. https://doi.org/10.1186/s12982-026-01991-2

Weiss, D.J., Nelson, A., Gibson, H.S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., … Gething, P. W. (2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, *553*, Article 25181. https://doi.org/10.1038/nature25181

Wen, F.H., Monteiro, W.M., Scheidt, J.F., Andrade, L.,Ye, J., Staton, C.A., Gerardo, C.J., & Vissoci, J.R.N. (2020). Geographical distribution and health care disparities of scorpion stings in Brazil. *Toxicon*, *182*, S24–S25. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.04.060

Haya y pino silvestre ¿enemigos irreconciliables?

Rasilla Álvarez, Domingo Fernado[1] y Carracedo Martín, Virginia[1]

[1] Departamento de Geografía, Urbanismo y OT. Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros s/n 39005 Santander
domingo.rasilla@unican.es

Resumen. Este estudio reconstruye la dinámica espacial de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* en el norte de la Península Ibérica desde el Último Máximo Glacial hasta el presente, utilizando Modelos de Distribución de Especies (SDM) basados en Boosted Regression Trees. Los resultados evidencian un alto rendimiento de los modelos y respuestas ecológicas diferenciadas*: Pinus sylvestris* muestra mayor tolerancia al frío y una amplia distribución potencial en periodos glaciares, sufriendo una contracción en el Holoceno. En contraste, *Fagus sylvatica* se expandió en dicho periodo debido a su dependencia de condiciones húmedas y templadas. Estos resultados sugieren que el pino silvestre sí formó parte natural del paisaje forestal cantábrico, especialmente en la vertiente meridional. Sin embargo, las discrepancias entre su distribución potencial y actual indican que factores como la competencia interespecífica y el impacto humano han sido determinantes.

Palabras clave: SDM; Boosted Regression Trees; nicho climático; *Pinus sylvestris*; *Fagus sylvatica*.

Resumo. Este estudo reconstrói a dinâmica espacial de *Pinus sylvestris* e *Fagus sylvatica* no norte da Península Ibérica desde o Último Máximo Glacial até o presente, utilizando Modelos de Distribuição de Espécies (SDM) baseados em Boosted Regression Trees. Os resultados evidenciam um alto desempenho dos modelos e respostas ecológicas diferenciadas: *Pinus sylvestris* mostra maior tolerância ao frio e uma ampla distribuição potencial em períodos glaciares, sofrendo uma contração no Holoceno. Em contrapartida, *Fagus sylvatica* expandiu-se no referido período devido à sua dependência de condições húmidas e temperadas. Estes achados sugerem que o pinheiro-silvestre fez parte natural da paisagem florestal cantábrica, especialmente na vertente meridional. No entanto, as discrepâncias entre a sua distribuição potencial e atual indicam que fatores como a competição interespecífica e o impacto humano foram determinantes.

Palavras-chave: SDM, Boosted Regression Trees; nicho climático; *Pinus sylvestris*; *Fagus sylvatica*.

Abstract. This study reconstructs the spatial dynamics of Pinus sylvestris and Fagus sylvatica in the north of the Iberian Peninsula from the Last Glacial Maximum to the present, utilizing Species Distribution Models (SDMs) based on Boosted Regression Trees. The results demonstrate high model performance and distinct ecological responses: Pinus sylvestris exhibits greater cold tolerance and a wide potential distribution during glacial periods, followed by a contraction in the Holocene. Conversely, Fagus sylvatica expanded during this latter period due to its reliance on humid and temperate conditions. These findings suggest that Scots pine was a natural component of the Cantabrian forest landscape, particularly on its southern slope. However, discrepancies between its potential and current distribution indicate that factors such as interspecific competition and human impact have been decisive.

Keywords: SDM, Boosted Regression Trees; climate niche; *Pinus sylvestris*; *Fagus sylvatica*.

1 Introducción

La reconstrucción de la historia biogeográfica de los bosques del norte de la Península Ibérica constituye un problema clásico dentro de la Biogeografía española. En particular, la distribución actual de especies como *Pinus sylvestris* (pino silvestre) y *Fagus sylvatica* (haya) plantea interrogantes sobre su origen, dinámica y papel ecológico en los paisajes eurosiberianos.

En la actualidad (Fig. 1), *Fagus sylvatica* aparece en la vertiente septentrional de la Cordillera Cantábrica y los Pirineos. Las poblaciones de *Pinus sylvestris* se sitúan fundamentalmente en la vertiente meridional de ambas cordilleras, extendiéndose por amplias zonas del Sistema Ibérico y Central. En el caso específico de la cordillera Cantábrica, se ha señalado que gran parte de los pinares actuales no serían naturales, sino repoblaciones históricas (Ceballos, 1966; Costa Tenorio et al, 2001; Rivas-Martínez, 1987). Estudios recientes, basadas en registros polínicos apoyan la presencia de *Pinus sylvestris* en el norte ibérico durante el Holoceno, aunque con una distribución irregular en el tiempo y en el espacio (Carrión, 2002, Ezquerra, 2016, Carracedo et al, 2018; Rodriguez Coterón, 2022).

Esta circunstancia ha generado un debate científico sobre el carácter natural o antrópico de algunas de las masas de pino silvestre, así como sobre los mecanismos que podrían explicar su regresión frente a la expansión del haya

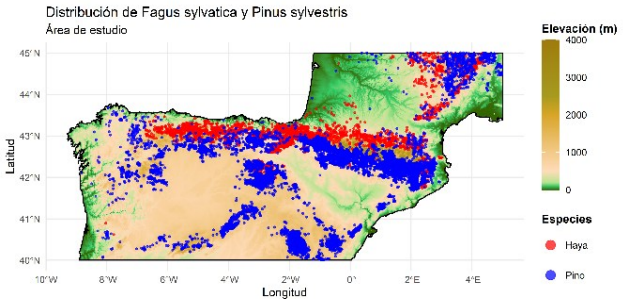


Fig. 1. Distribución actual de Fagus sylvatica y Pinus sylvestris. Elaboración propia a partir de EU_Forest.

El objetivo de este trabajo es mostrar los primeros resultados de un análisis de la dinámica histórica de la distribución de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* en el norte de la Península Ibérica a lo largo del Holoceno, mediante la aplicación de modelos de distribución de especies (SDM) basados en técnicas de aprendizaje automático, a partir de datos de presencia y variables climáticas actuales y pasadas.

2 Fuentes de información y métodos.

2.1 Fuentes de información

La información relativa a la distribución actual de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* se obtuvo a partir de la base de datos EU-Forest (Mauri et al., 2017).

Las variables utilizadas en la modelización proceden de la base de datos PaleoClim (Brown et al., 2018), que proporciona reconstrucciones paleoclimáticas de alta resolución espacial a escala global. Se emplearon las variables bioclimáticas estándar (BIO1–BIO19), derivadas de temperatura y precipitación, ampliamente utilizadas en estudios de modelización de nicho climático.

2.2 Metodología

La modelización se llevó a cabo aplicando Boosted Regression Trees (BRT), un algoritmo de aprendizaje automático que combina árboles de decisión con métodos de boosting para modelizar relaciones no lineales y capturar interacciones entre variables predictoras.

Los modelos se calibraron utilizando los datos de presencia actuales y las variables bioclimáticas correspondientes al clima actual. Para ello, se generaron pseudoausencias de forma aleatoria dentro del área de estudio, garantizando un equilibrio adecuado entre presencias y ausencias (muestreo estratificado según altitudes). Una vez calibrados, los modelos fueron proyectados sobre los distintos escenarios paleoclimáticos con el objetivo de reconstruir la distribución potencial de ambas especies en cada periodo considerado.

3 Resultados

3.1 Evaluación del rendimiento de los modelos

El rendimiento de los modelos se evaluó mediante métricas como el área bajo la curva ROC (AUC) y la precisión global. En conjunto, ambas métricas indican que los modelos capturan adecuadamente el nicho climático de ambas especies, lo que soporta su proyección sobre escenarios paleoclimáticos.

3.2 Interpretación de las funciones de respuesta.

Las Fig. 2 y 3 muestran los gráficos de regresión parcial, que analizan la contribución individual de las variables bioclimáticas al modelo y su influencia sobre la probabilidad de presencia de ambas especies.

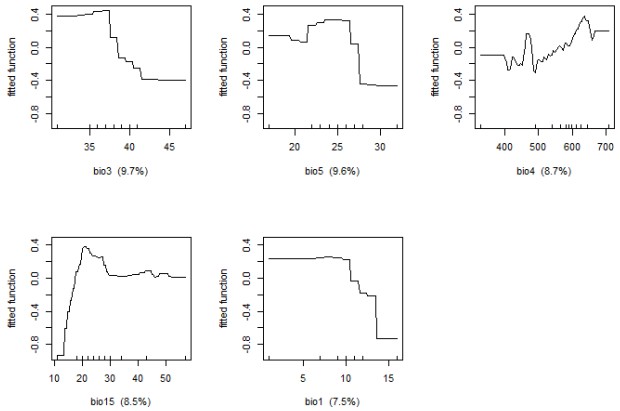


Fig. 2. Gráficos de regresión parcial correspondientes al modelo de predicción de apariciones de *Pinus sylvestris*.

En el caso de *Pinus sylvestris*, las funciones de respuesta evidencian su tolerancia a una mayor continentalidad climática (por ejemplo BIO3, Isotermalidad; BIO5, temperatatura máxima del mes más cálido).

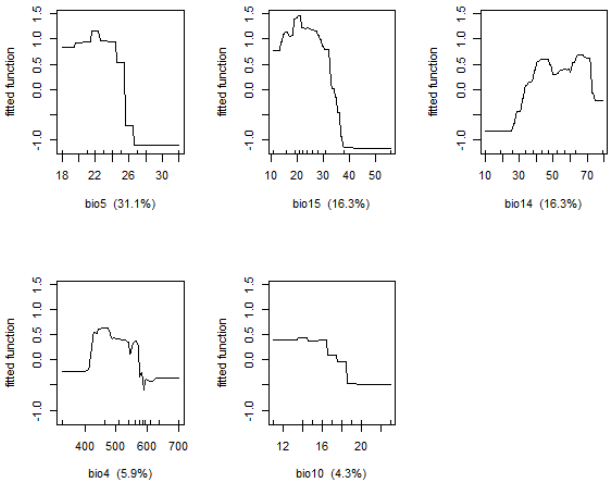


Fig. 3. Gráficos de regresión parcial correspondientes al modelo de predicción de apariciones de *Fagus sylvatica*.

Por el contrario, *Fagus sylvatica* muestra una respuesta condicionada por la disponibilidad hídrica, en especial al estrés hídrico estival (BIO5, temperatura máxima del mes más cálido; BIO15, regularidad de la precipitación). Este patrón es coherente con su distribución actual en la Península Ibérica, concentrada en áreas de influencia marítima.

Un aspecto relevante que no se ha considerado aquí es la posible convergencia parcial de nichos en determinadas periodos y áreas. La identificación de potenciales zonas de coexistencia o competencia queda para futuros análisis.

3.3 Dinámica espacial-temporal de la distribución potencial)

Los mapas de distribución potencial (Fig. 4, y 5) constituyen el elemento central del análisis, al ofrecer la evolución espaciotemporal de ambas especies a lo largo de distintos periodos del Cuaternario.

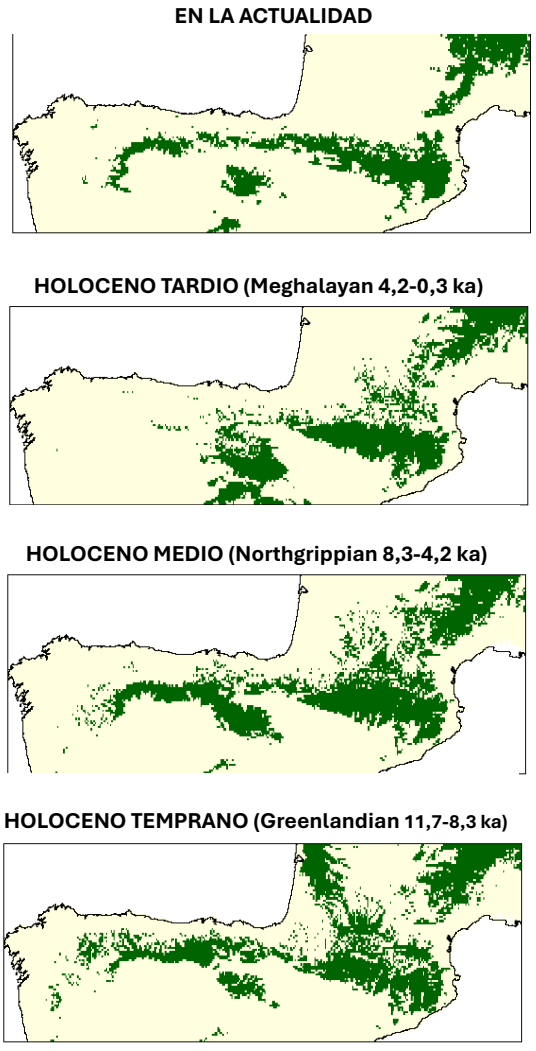


Fig. 4. Distribución potencial de *Pinus sylvestris* según el modelo de predicción BRT en diferentes momentos del Holoceno.

Durante los periodos más fríos (final del Último Máximo Glacial y transición al Holoceno) se aprecia una amplia idoneidad climática para *Pinus sylvestris*, ocupando áreas de menor altitud que en la actualidad, pero sólo llegando a la costa en los momentos más rigurosos.

Durante el Holoceno temprano y medio, con el incremento de temperaturas y una mayor disponibilidad hídrica, los modelos muestran una expansión progresiva de la idoneidad para las frondosas caducifolias, especialmente en las áreas de mayor influencia atlántica. Paralelamente, *Pinus sylvestris* experimenta una contracción relativa de su nicho potencial en las zonas bajas, manteniendo su idoneidad principalmente en áreas de mayor altitud. Este patrón sugiere un desplazamiento altitudinal y una progresiva especialización espacial.

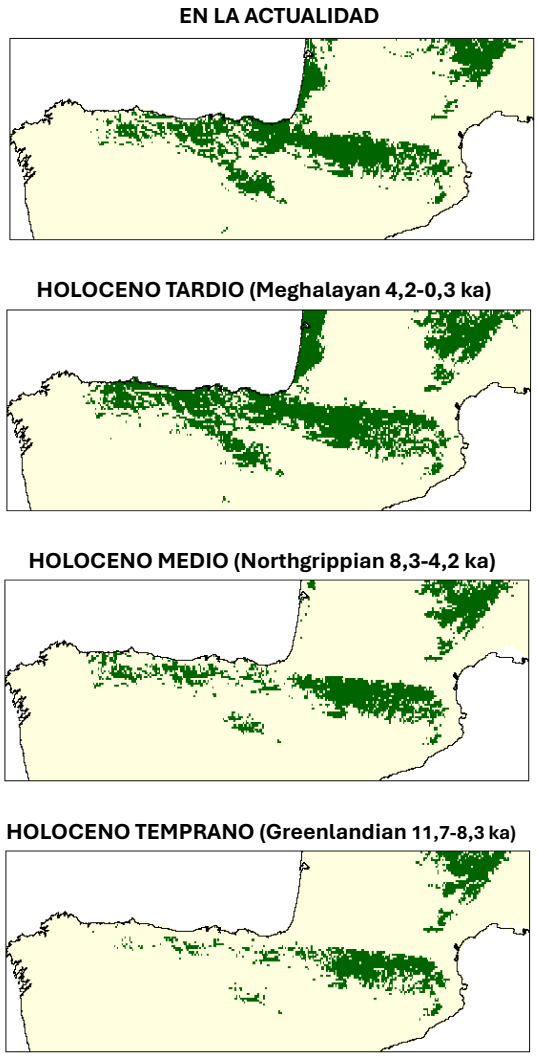


Fig. 5. Distribución potencial de *Fagus sylvatica* según el modelo de predicción BRT en diferentes momentos del Holoceno.

En los periodos más recientes, la distribución potencial de *Fagus sylvatica* alcanza su máxima extensión, consolidándose como especie dominante en amplias áreas del norte peninsular. Por su parte, *Pinus sylvestris* queda relegado a enclaves de montaña dominados por una notable continentalidad.

Este contraste refuerza la interpretación de una dinámica de sustitución parcial, en la que factores climáticos

favorecen la expansión del haya, mientras que el pino persiste en condiciones menos competitivas o más restrictivas.

4 Discusión

Los resultados de este trabajo vienen a reforzar la hipótesis de que el retroceso histórico de *Pinus sylvestris* en el norte de la Península Ibérica no fue solo climático, sino también el resultado de la acción humana y la competencia con *Fagus sylvatica*, especie que se expandió gracias a un clima óptimo reciente.

A pesar de la utilidad del enfoque cuantitativo, la metodología presenta tres limitaciones principales:

1. Incertidumbre temporal: Extrapolar el nicho climático actual al pasado asume condiciones ecológicas constantes que pueden haber cambiado.
2. Escala espacial gruesa: Los datos de PaleoClim (~4-5 km) capturan patrones regionales, pero suavizan la heterogeneidad y los gradientes altitudinales de la Cordillera Cantábrica (se planea mejorar a ~1 km con CHELSA).
3. Omisión de variables locales: Las variables estándar ignoran fenómenos clave como la nubosidad estival oceánica, que podría resultar fundamental para el balance hídrico del haya.

Finalmente, el algoritmo utilizado (BRT) es idóneo por su capacidad para procesar relaciones complejas y no lineales sin supuestos previos, aunque exige una calibración minuciosa para evitar el sobreajuste y ofrece una interpretación ecológica menos directa que otros métodos.

5 Conclusiones

Los modelos de distribución de especies (SDM) basados en aprendizaje automático y datos paleoclimáticos son herramientas eficaces para comprender la evolución del paisaje forestal y las interacciones históricas entre clima, vegetación y humanos.

La distribución actual de Pinus sylvestris y Fagus sylvatica en el norte peninsular es el resultado de un legado histórico complejo. El pino silvestre dominó durante los periodos fríos del Pleistoceno gracias a su tolerancia térmica, pero retrocedió en el Holoceno ante el aumento de temperatura y humedad. Este cambio climático favoreció la progresiva expansión de las frondosas caducifolias (como el haya), un proceso que además estuvo impulsado por la actividad humana y la competencia interespecífica.

6 Referencias

Bennett, K.D. and Provan, J. (2008). What do we mean by 'refugia'? Quaternary Science Reviews. 27: 2449–2455. 10.1016/j.quascirev.2008.08.019. Reviews.

Brown, J.; Hill, D.; Dolan, A.; Carnaval A.C. and Haywood, AM (2018): PaleoClim, high spatial resolution paleoclimate surfaces for global land areas. Sci Data 5, 180254 (2018). https://doi.org/10.1038/sdata.2018.254

Carrión, J.S. (2002). Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. Quaternary Science Reviews. 21: 2047-2066. 10.1016/S0277-3791(02)00010-0.

Carracedo, V., Cunill, R., García-Codron, J.C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R. y Soriano, J.M. (2018) History of fires and vegetation since the Neolithic in the Cantabrian Mountains (Spain). Land Degradation and Development, 29(7), pp. 2060-2072. doi: 10.1002/ldr.2891.

Ceballos, L. (1966). Mapa forestal de España. ICONA.

Costa Tenorio, M., Morla Juaristi, C. y Sainz Ollero, H. (2001). Los Bosques ibéricos: una interpretación geobotánica. Ed. Planeta, 597 pp.

Ezquerra, FJ (2016). *Los pinares en la evolución de los paisajes forestales de las montañas leonesas a lo largo del Holoceno*. [Tesis Doctoral, Universidad de León, 276 pp]. https://buleria.unileon.es/handle/10612/5753.

Mauri, A; Strona, G. and San-Miguel-Ayanz, J. (2017). EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. Scientific Data. 4. 160123. 10.1038/sdata.2016.123.

Loidi, J. (2017). The Vegetation of the Iberian Peninsula. Srpinger, 10.1007/978-3-319-54867-8.

Rivas-Martínez, S. (1987). Memoria del mapa de series de vegetación de España. ICONA.

Rodriguez Coterón, S (2022). *El papel del fuego en la configuración del paisaje vegetal de la Sierra del Escudo (Montaña Cantábrica Central) durante los últimos 6000 años*. [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria, 334 pp]. Repositorio UCrea: https://hdl.handle.net/10902/28528

Clasificación Bioclimática de la Isla de El Hierro (Canarias)

Salvà Catarineu, Montserrat[1], Caballero Fernández, Damián[1], Salvador Franch, Ferran[2], Padrón Padrón, Pedro Agustín[3], López Bustins, Joan Albert[1] y Martín Vide, Javier[1]

[1] Departament de Geografia, Grup de Recerca *Climate Change and Landscape Ecology*, Universitat de Barcelona, Gran Via de les Corts Catalanes, 585, 08007, Barcelona
[2] Institució Catalana d'Història Natural (ICHN-IEC), Societat Catalana de Geografia (SCG-IEC), Barcelona
[3] Laboratorio Insular, Cabildo Insular de El Hierro, Oficina de Medio Rural y Marino de Frontera, Calle el Matorral, 38911 Frontera, El Hierro, Santa Cruz de Tenerife
salva@ub.edu

Resumen. Este estudio adapta el método de los Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TRB) a la isla de El Hierro con una resolución espacial de 100 metros. El objetivo es generar una zonificación detallada que considere la compleja orografía insular para establecer correlaciones estadísticas entre las variables climáticas y la vegetación potencial y comparar los resultados con clasificaciones bioclimáticas previas. Se procesaron registros meteorológicos de 27 estaciones de la AEMET (1991-2020) junto con puntos de reanálisis del sistema CERRA. Empleando técnicas de interpolación espacial y predictores como la altitud, la orientación y la nubosidad, el modelo identificó 9 subtipos bioclimáticos. El más extenso es el Euritermo xerófilo árido (118), que abarca el 71,58% de la superficie y coincide con la distribución del sabinar herreño. La investigación demuestra que la integración de datos observacionales y modelos de reanálisis permite superar las limitaciones de los sistemas tradicionales en entornos insulares. Los resultados muestran una elevada afinidad con el *Atlas Climático Interactivo de Canarias*, ofreciendo un nivel de detalle superior a estudios anteriores. Esta herramienta es fundamental para monitorizar los impactos del cambio climático sobre endemismos locales y ecosistemas vulnerables, facilitando la toma de decisiones estratégicas en la gestión forestal y la conservación.

Palabras clave: Bioclimatología, El Hierro, Método TRB, Random Forest, Reanálisis climático.

Resumo. Este estudo adapta o método dos Tipos de Regimes Bioclimáticos (TRB) à ilha de El Hierro com uma resolução espacial de 100 metros. O objetivo é gerar uma zonificação detalhada que considere a complexa orografia insular para estabelecer correlações precisas entre o clima e a vegetação potencial, bem como comparar os resultados com classificações bioclimáticas anteriores. Foram processados registos de 27 estações da AEMET (1991-2020) em conjunto com pontos de reanálise do sistema CERRA. Utilizando técnicas de interpolação espacial e preditores como a altitude, a orientação e a nebulosidade, o modelo identificou 9 subtipos bioclimáticos. O mais extenso é o Euritermo xerófilo árido (118), que abrange 71,58% da superfície e coincide com a distribuição do sabinal de El Hierro. A investigação demonstra que a integração de dados observacionais e modelos de reanálise permite superar as limitações dos sistemas tradicionais em ambientes insulares. Os resultados mostram uma elevada afinidade com o *Atlas Climático Interativo das Canárias*, oferecendo um nível de detalhe superior a estudos anteriores. Esta ferramenta é fundamental para monitorizar os impactos das alterações climáticas sobre endemismos locais e ecossistemas vulneráveis, facilitando a tomada de decisões estratégicas na gestão florestal e na conservação.

Palavras-chave: Bioclimatologia, El Hierro, Método TRB, Random Forest, Reanálise climática.

Abstract. This study adapts the Bioclimatic Regime Types (BRT) method to the island of El Hierro at a spatial resolution of 100 meters. The aim is to generate a detailed zoning that considers the complex insular orography in order to establish precise correlations between climate and potential vegetation, and to compare the results with previous bioclimatic classifications. Records from 27 AEMET stations (1991-2020) were processed alongside climate reanalysis points from the CERRA system. Using spatial interpolation techniques and predictors such as altitude, orientation, and cloud cover, the model identified 9 bioclimatic subtypes. The most extensive is the Arid Xerophilous Eurytherm (118), covering 71.58% of the surface and coinciding with the distribution of the juniper forest (sabinar). The research demonstrates that integrating observational data and reanalysis models allows for overcoming the limitations of traditional systems in insular environments. The results show high affinity with the Interactive Climate Atlas of the Canary Islands, offering a higher level of detail than previous studies. This tool is fundamental for monitoring climate change impacts on local endemics and vulnerable ecosystems, facilitating strategic decision-making in forest management and conservation.

Keywords: Bioclimatology, El Hierro, TBR method, Random Forest, Climate reanalysis.

1 Introducción

La bioclimatología se define como la ciencia que pone de manifiesto la relación recíproca entre los seres vivos y el clima. En este ámbito, las clasificaciones bioclimáticas son herramientas esenciales para sintetizar las características atmosféricas que condicionan la vida y modelan la distribución de las comunidades biológicas. Históricamente, estas clasificaciones han evolucionado a partir de los parámetros térmicos y pluviométricos de autores clásicos como Thornthwaite (1933), Köppen (1936) y el modelo de Montero de Burgos y González Rebollar (1974). Asimismo, se han fundamentado en nomenclaturas y límites ecológicos pioneros establecidos por investigadores como Clements (1902) y, en el contexto español, Huguet del Villar (1929). Actualmente, una de las propuestas más reconocidas es la *Clasificación Bioclimática Mundial* de Rivas Martínez et al. (2002), que utiliza macrobioclimas, termotipos y ombrotipos para identificar unidades climáticas a escala global.

En el archipiélago canario, el método de Rivas Martínez ha sido el más utilizado, destacando los exhaustivos trabajos de Del Arco Aguilar y Rodríguez Delgado (2006, 2018), quienes han adaptado el sistema a escalas insulares detalladas en islas como Tenerife, La Palma o El Hierro (Del Arco et al., 1996, 1999). No obstante, factores como la compleja orografía y la interceptación de nieblas (precipitación horizontal) por los vientos alisios complican la caracterización bioclimática precisa, lo que justifica la necesidad de modelos que incorporen balances hídricos más dinámicos.

Como respuesta a esta necesidad, surge el método de los Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TRB) de Cámara et al. (2020). Su innovación radica en ofrecer una clasificación multiescalar (zonal, regional y local) que combina variables termo-pluviométricas con propiedades edáficas.

El TRB mejora la precisión diagnóstica mediante el cálculo del balance de agua y las intensidades bioclimáticas, relacionando directamente el clima con la actividad vegetativa real de las plantas. Este sistema TRB se puede utilizar de forma automatizada a través del paquete bioclim para R, facilitando el análisis geoespacial de alta resolución.

En un contexto de cambio climático, el objetivo de este trabajo es adaptar el modelo TRB a las características de El Hierro. Mediante el uso de registros meteorológicos, se busca aplicar esta clasificación a escala local, contribuyendo así a optimizar la gestión territorial y la conservación de la biodiversidad en la isla.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El Hierro es la isla más joven y occidental de Canarias, reconocida por su diversidad biológica y geológica. Su clima está condicionado por el anticiclón de las Azores y los vientos alisios, factores que definen su carácter subtropical canario. La variada orientación del relieve permite la existencia de numerosos microclimas, que abarcan desde zonas desérticas costeras hasta bioclimas con fuerte influencia de las nieblas.

2.2 Fuentes de datos

La investigación se fundamenta en una base de datos meteorológicos que combina registros observacionales y modelos de reanálisis:
- Estaciones AEMET: Se utilizaron datos de 27 estaciones de la Agencia Estatal de Meteorología para el periodo de la normal climatológica 1991-2020. (Caballero Fernández & Salvà Catarineu, 2024). Estos registros fueron sometidos a procesos de control de calidad, homogeneización y reconstrucción mediante la herramienta CLIMATOL.
- Reanálisis CERRA: Para compensar la escasez de estaciones en zonas de montaña o vertientes inaccesibles, se integraron 9 puntos del sistema de reanálisis europeo CERRA (Schimanke et al., 2021). Estos datos, con una resolución original de 5,5 km, fueron sometidos a un *downscaling* estadístico mediante algoritmos de aprendizaje automático (Random Forest, XGBoost) para ajustarlos a la escala local.

2.3 Fases del Procesamiento Geoespacial

El flujo de trabajo se dividió en tres fases principales:
1. Generación de rásteres base (100 x 100 m): Se crearon 24 capas mensuales de temperatura y precipitación. La temperatura se modeló mediante *Kriging Universal* (KU), utilizando la altitud, distancia a la costa y nubosidad como predictores. Para la precipitación, se aplicó una regresión lineal múltiple con corrección de residuos por *Kriging Ordinario*.
2. Cálculo de Variables Derivadas: Se calculó la Evapotranspiración Potencial (ETP) siguiendo el método de Thornthwaite y se estimó el balance hídrico mensual considerando una capacidad de campo de 150 mm (Padrón Padrón et al., 1990).
3. Clasificación TRB según Cámara et al. (2020): Se empleó la función biotypeRaster del paquete BIOCLIM en R (Serrano et al. 2022) para categorizar cada píxel de la isla en tipos y subtipos bioclimáticos.

3 Resultados

3.1 Tipología y Distribución de los Regímenes Bioclimáticos

El modelo identificó una zonificación precisa basada en los periodos de parálisis hídrica y térmica. A diferencia de otros sistemas, el método TRB define sus categorías según la duración y coincidencia de estas parálisis biológicas: la térmica, vinculada al frío, y la hídrica, asociada al déficit de agua en el suelo. A macroescala, la isla se divide en una franja costera de clima tropical (mes más frío >18°C) y un interior de clima subtropical (ausencia de heladas, mes más frío >7,5°C). Se detectaron 9 subtipos bioclimáticos distribuidos funcionalmente de la siguiente manera:
- Regímenes de Hiperxerofília y Xerofília: Caracterizados por restricciones hídricas severas que paralizan la actividad

vegetativa entre 5 y 12 meses al año. El subtipo 118 (Euritermo xerófilo árido) es el dominante absoluto, cubriendo el 71,58% de la superficie insular y asociándose directamente con el área de distribución del sabinar herreño.
- Regímenes de Tropofília: Representan zonas de transición donde la parálisis hídrica dura entre 1 y 4 meses. Los subtipos 106 (euritermo tropófilo seco-subhúmedo) y 107 (euritermo tropófilo semiárido) actúan como ecotonos entre el litoral y la zona forestal, permitiendo un desarrollo biológico más vigoroso durante gran parte del año.
- Regímenes de Mesofília: Aunque técnicamente clasificado como subtipo 116 (Euritermo xerófilo seco-subhúmedo), su comportamiento funcional en la isla es mesófilo debido a la humedad aportada por el alisio. Define el núcleo del monteverde (laurisilva y fayal-brezal).

3.2 Clasificación y Vegetación

En la Tabla 1 y Fig. 1 se muestra el resumen de la aplicación del método TRB a El Hierro. Los resultados de la superficie ocupada que aparecen en la tabla 1 tienen distintos niveles de fiabilidad según de dónde provengan los datos. Los subtipos menos frecuentes en El Hierro, especialmente los de carácter árido o xerófilo (116, 108, 58 y 128), se han obtenido a través de procesos de interpolación espacial. Esto implica que su interpretación debe ser cautelosa, puesto que actualmente no hay estaciones de medición ni registros específicos en esas zonas que confirmen instrumentalmente la existencia de estos climas.

Tabla 1. Resumen de los subtipos bioclimáticos.

Subtipo Bioclimático	Superficie (km²)	Porcentaje (%)	Vegetación Potencial
48_Xerófilo árido	9,84	3,68	Tabaibal-cardonal
58_Hiperxerófilo árido	0,10	0,04	Tabaibal-cardonal
106_Euritermo tropófilo seco-subhúmedo	11,41	4,26	Fayal-brazal y laurisilva
107_Euritermo tropófilo semiárido	13,70	5,12	Fayal-brezal y laurisilva
108_Euritermo tropófilo árido	0,02	0,01	Pinar canario
116_Euritermo xerófilo seco-subhúmedo	0,91	0,34	Fayal-brazal, laurisilva y pinar canario
117_Euritermo xerófilo semiárido	39,79	14,87	Pinar canario
118_Euritermo xerófilo árido	191,53	71,58	Sabinar herreño
128_Euritermo hiperxerófilo árido	0,27	0,10	Tabaibal-cardonal

Por el contrario, la representación de los subtipos de transición (106 y 107) es mucho más segura desde el punto de vista metodológico. En este caso, el modelo utiliza datos de reanálisis climático que avalan su presencia. Gracias a que los puntos de reanálisis 15 y 16 (Fig. 1) se sitúan justamente en estas zonas, se dispone de una base científica robusta para confirmar estos regímenes y entender mejor cómo funcionan a nivel hídrico y de vegetación.

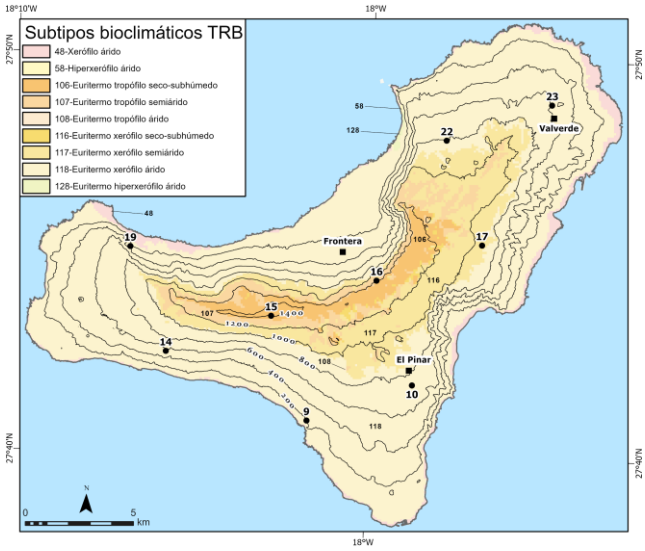


Fig. 1. Subtipos bioclimáticos en El Hierro según el método TRB y puntos de reanálisis.

3.3 Clasificación Bioclimática Mundial

Al contrastar estos resultados con la *Clasificación Bioclimática Mundial* de Rivas Martínez et al. (2002), utilizada tradicionalmente en el archipiélago canario (Del Arco et al., 2010), se observan algunas diferencias en la delimitación de las unidades. Mientras que el sistema de Rivas Martínez et al. clasifica gran parte de El Hierro bajo termotipos y ombrotipos estáticos basados en umbrales de temperatura y precipitación, el método TRB permite identificar matices funcionales basados en la disponibilidad real de agua en el suelo. Por ejemplo, áreas que en Rivas Martínez et al. se categorizarían de forma genérica como ombrotipo seco o semiárido, el modelo TRB las discrimina con mayor precisión como regímenes de tropofília o xerofília en función de la duración exacta de la parálisis hídrica. Esta aproximación revela que la distribución del sabinar y el monteverde responde más a la dinámica estacional del balance hídrico y a la compensación de la nubosidad que a los índices térmicos y pluviométricos promediados.

3.4 Evaluación de la Precisión

Los resultados obtenidos se compararon con el *Atlas Climático Interactivo de Canarias* (Máyer Suárez et al., 2022) que también emplea una resolución de 100 x 100 m.

La validación cruzada demostró que el modelo es altamente fiable, especialmente en las variables térmicas (R^2 de 0,89 y RMSE de 0,84°C). Respecto a la precipitación, la fiabilidad disminuye ligeramente en los meses de verano (junio-agosto) debido a que la ausencia casi total de lluvias reduce la variabilidad estadística necesaria para el ajuste de los algoritmos. Sin embargo, la media anual de precipitación

mantuvo un coeficiente de determinación (R^2) sólido de 0,80 en la comparación entre registros observados y predichos.

4 Discusión

La resolución espacial de 100 metros alcanzada en este estudio representa una mejora significativa respecto a modelos previos. La convergencia de los resultados con el *Atlas Climático Interactivo de Canarias* de Máyer Suárez et al. (2022) valida el uso de predictores como la orientación y la nubosidad para incluir la influencia de los alisios. La integración de datos de reanálisis CERRA fue determinante para validar los regímenes de transición tropófila (106 y 107) en áreas donde no existen datos de la AEMET.

En un escenario de calentamiento global, los sistemas insulares son extremadamente vulnerables. La capacidad del método TRB para discriminar entre regímenes continuos y estacionales es vital para prever desplazamientos en los pisos de vegetación. Una potencial reducción de la humedad aportada por el alisio podría desplazar los actuales regímenes mesófilos hacia categorías tropófilas, lo que comprometería la persistencia de los bosques de niebla y sus endemismos asociados.

Del Arco et al. (2010) utilizan en su clasificación la metodología de Rivas Martínez con Índices de Termicidad (Itc) y Ombrotérmico (Io). El método TRB utilizado en El Hierro integra parálisis vegetativas térmicas e hídricas que permiten mayor detalle al analizar la actividad biológica. Ambos coinciden en la importancia de la precipitación horizontal.

5 Conclusiones

La aplicación del método TRB a El Hierro ha demostrado ser una herramienta de precisión excepcional para la caracterización ecológica. Se han superado las limitaciones de las clasificaciones tradicionales al integrar balances hídricos dinámicos a escala de detalle. Los mapas generados constituyen una base cartográfica esencial para la toma de decisiones en la gestión forestal, permitiendo identificar áreas críticas para la restauración del sabinar y el monteverde ante los retos climáticos actuales y futuros.

En definitiva, la implementación del método TRB supone un salto cualitativo respecto a las clasificaciones tradicionales, al sustituir los índices estáticos por un modelo dinámico de balance hídrico y energético. Esta aproximación permite una monitorización más precisa y robusta de la respuesta de los ecosistemas ante las proyecciones climáticas.

6 Referencias

Caballero Fernández, D., y Salvà Catarineu, M. (2024). Adaptación del método de Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TRB) a la isla de El Hierro (Canarias). *GEOUSP espaço e tempo, 28*(3).

Cámara Artigas, R., Díaz del Olmo, F., y Martínez Batlle, J.R. (2020). TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distribution of plant formations. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 85*, 1-38.

Clements, F.E. (1902). Greek and Latin in Biological Nomenclature. *University Studies, 3*(1), 1-85. University of Nebraska.

Del Arco Aguilar, M.J., Acebes, J.R., y Pérez de Paz, P.L. (1996). Bioclimatology and climatophilous vegetation of the Island of El Hierro (Canary Islands). *Phytoceonologia, 26*(4), 445-479.

Del Arco Aguilar, M.J., Acebes, J.R., Pérez de Paz, P.L., y Marrero, M.C. (1999). Bioclimatology and climatophilous vegetation of the Island of El Hierro (part 2) and La Palma (Canary Islands). *Phytoceonologia, 29*(2), 253-290.

Del Arco Aguilar, M.J., González González, R., Garzón Machado, V., y Pizarro Hernández, B. (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity Conservation, 19*, 3089–3140.

Del Arco Aguilar, M.J., y Rodríguez Delgado, O. (2006). El Hierro. En M.J. Del Arco Aguilar (Dir.), *Mapa de vegetación de Canarias.* GRAFCAN Ed. Santa Cruz de Tenerife.

Del Arco Aguilar, M.J., y Rodríguez Delgado, O. (2018). Vegetation of the Canary Islands. *Springer Plant and Vegetation*.

Huguet del Villar, E. (1929). *Geobotánica*. Labor, Barcelona.

Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. En W. Köppen y R. Geiger (Eds.), *Handbuch der Klimatologie.* Gebrüder Borntraeger. Berlin.

Máyer Suárez, P., Luque Sölheim, A., y García Hernández, F. (2022). *Atlas Climático Interactivo de Canarias*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Montero de Burgos, J.L., y González Rebollar, J.L. (1974). *Diagramas bio-climáticos*. ICONA, Madrid.

Padrón Padrón, P.A., Jiménez Mendoza, C.C., y Rodríguez Rodríguez, A. (1990). Evaluación de los suelos de la isla de El Hierro como recurso natural. *Vieraea, 19,* 349-364.

Rivas Martínez, S., Rivas Sáenz, S., y Penas, Á. (2002). *Worldwide bioclimatic classification system*. Backhuys Pub.

Schimanke, S., Ridal, M., Le Moigne, P., et al. (2021). *CERRA sub-daily regional reanalysis data for Europe*. Copernicus Climate Change Service.

Serrano Notivoli, R., Longares, L.A., y Cámara Artigas, R. (2022). Bioclim: An R package for bioclimatic classifications via adaptive water balance. *Ecological Informatics, 71*.

Thornthwaite, C.W. (1933). The Climates of the Earth. *Geographical Review, 23*(3), 433–440.

7 Agradecimientos

El presente estudio se ha desarrollado en el marco del contrato predoctoral de Caballero Fernández (PREDOCS-UB 2020, Universitat de Barcelona). Esta línea de investigación es continuadora de los proyectos JUNITUR (CSO2011-24425) y JUNITUR+ (CSO2015-68500-R), financiados respectivamente por el Ministerio de Ciencia e Innovación y por el Ministerio de Economía y Competitividad. Agradecemos a la AEMET el suministro de los registros meteorológicos y al Laboratorio de Climatología de la UB su apoyo técnico y acompañamiento científico continuado.

EJE 4: Sistemas forestales

Análisis del estatus, la filiación corológica y el grado de endemismo de los taxones vasculares de los bosques de araucaria del Parque Nacional de Conguillio (Chile)

Lozano-Valencia, Pedro José[1], Díaz-Sanz, María Cristina [2] y Lebuy-Castillo, Roxana[3]

[1] Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología, Euskal Herriko Unibertsitatea, Calle Francisco Tomás y Valiente, sn, 01006, Vitoria-Gasteiz, España.
[2] Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, Campus de Cantoblanco, Calle Francisco Tomás y Valiente, Nº 1. 28049 Madrid, España.
[3] Departamento de Planificación Territorial y Sistemas Urbanos, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Ciudad Universitaria sn, 4070409 Concepción, Chile.
pedrojose-lozano@ehu.eus

Resumen. Los bosques de araucarias son ecosistemas relictos con más de 60 millones de años de antigüedad. Este estudio analiza su filiación corológica, estatus de protección y grado de endemismo en el Parque Nacional Conguillío mediante el levantamiento de 10 parcelas de 20x20 metros. Se identificaron taxones en tres grupos fisionómicos (árboles/arbustos, matas/trepadoras y herbáceas) usando el método sigmatista de cobertura. Los resultados destacan una predominancia de filiaciones Valdivianas-Magallánicas y un alto grado de endemismo regional (64%), otorgando a estos bosques un valor de conservación excepcional.

Palabras clave: Estatus de conservación, filiación corológica, *Araucaria araucana*, endémico, Parque Nacional de Conguillio.

Resumo. As florestas de araucárias são ecossistemas remanescentes com mais de 60 milhões de anos. Este estudo analisa sua filiação corológica, status de proteção e grau de endemismo no Parque Nacional Conguillío por meio do levantamento de 10 parcelas de 20x20 metros. Foram identificados táxons em três grupos fisionômicos (árvores/arbustos, arbustos baixos/trepadeiras e herbáceas) utilizando o método sigmatista de cobertura. Os resultados destacam uma predominância de afiliações valdivianas-magalhânicas e um alto grau de endemismo regional (64%), conferindo a essas florestas um valor de conservação excepcional.

Palavras-chave: Status de conservação, distribuição geográfica, *Araucaria araucana*, endêmica, Parque Nacional de Conguillio.

Abstract. Araucaria forests are relict ecosystems dating back more than 60 million years. This study analyses their chorological affiliation, protection status and degree of endemism in Conguillío National Park by surveying 10 plots measuring 20×20 metres. Taxa were identified across three physiognomic groups (trees/shrubs, bushes/climbers and herbaceous plants) using the sigmatist cover method. The results highlight a predominance of Valdivian-Magellanic affiliations and a high degree of regional endemism (64 per cent), conferring exceptional conservation value on these forests.

Keywords: Conservation status, distribution, *Araucaria araucana*, endemic, Conguillio National Park.

1 Introducción

La araucaria (*Araucaria araucana*), o pehuén, es una conífera endémica de los bosques subantárticos considerada un "fósil viviente", ya que su linaje se remonta a más de 66 millones de años (Rojas, 2021). Es un árbol que alcanza los 50 metros de altura, con una corteza de hasta 14 cm de espesor adaptada para sobrevivir a incendios recurrentes. Prefiere suelos volcánicos y tolera climas extremos (Díaz-Vaz, 1984). En los ejemplares jóvenes su copa cuenta con una morfología claramente piramidal, pero en los adultos la copa se vuelve umbeliforme (forma de paraguas o aparasolada), con ramas dispuestas en verticilos regulares (Fig. 1).

Es un árbol nativo del sur de Chile y suroeste de Argentina, principalmente en la cordillera de los Andes y la cordillera de la Costa a más de 1000 msnm. Tolera perfectamente el frío intenso y la nieve, prefiere los suelos sueltos, volcánicos, rocosos y bien drenados (Díaz-Vaz, 1984).

Actualmente, la especie está clasificada como "En Peligro" (EN) por la UICN debido a amenazas como incendios, sobreexplotación de piñones y pastoreo, aunque

es un árbol sagrado para el pueblo mapuche, para quienes el piñón es un alimento fundamental (Cortés et al., 2019).

El estudio se realizó en el Parque Nacional de Conguillio (PNC), en la precordillera andina de la región de la Araucanía, localizado entre los 38°39′05.62″ S, 71°38′51.68″ O, y con una gradiente altitudinal entre 700 a 3.125 msnm. Esta área fue establecida como Reserva Forestal en el año 1950 y como Parque Nacional en el año 1970, incorporando posteriormente la unidad "Los Paraguas", con una superficie actual de 60.832 ha. (CONAF, 2009) (Fig. 2).



Fig. 1. Bosques de *Araucaria araucana* en el PN de Conguillio (Chile). Fotografía propia

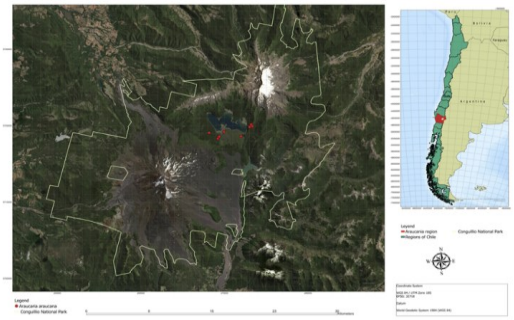


Fig. 2. Localización del área de estudio. Elaboración propia.

El objetivo de esta comunicación es caracterizar biogeográficamente un bosque de *Araucaria araucana* en el Parque Nacional Conguillío mediante: (i) el análisis del estatus de conservación de sus taxones vasculares, (ii) la determinación de sus filiaciones corológicas y (iii) la estimación de sus grados de relicto y endemismo, con el fin de generar conocimiento base para su valoración biogeográfica y su relevancia para la conservación.

2 Materiales y métodos

Para la delimitación de la zona de estudio se ha utilizado la información geográfica que la infraestructura de datos espaciales del Gobierno de Chile pone a disposición del usuario, de este modo se han definido las parcelas a inventariar teniendo en cuenta la existencia de diferentes manchas de bosque de araucarias, aunque en este caso, existía una gran continuidad y una mancha más o menos continua, sin grandes vacíos. La elección de las parcelas se realizó, con la técnica de muestreo estratificada pero aleatoria. El software SIG ArcGIS 10.3.1. fue el soporte elegido, usando la herramienta "Crear puntos aleatorios". Una vez repartidas las parcelas se obtuvieron las coordenadas de cada una. El número de inventarios fueron, 10 en total, y el tamaño de las parcelas, 20X20 m, está avalado por la experiencia en campo de numerosas investigaciones que demuestran que la curva de frecuencia de especies se vuelve asintótica tras superar estos valores (Mostacedo & Fredericksen, 2000; Lozano-Valencia et al., 2022).

Posteriormente, se inventariaron los taxones de flora vascular divididos en tres grandes grupos fisiográficos (árboles y arbustos, matas y trepadoras y herbáceas). Las coberturas se calcularon para cada una de las especies en 4 estratos (por encima de 5 m; entre 1-5 m; entre 0,5-1 m y por debajo de 0,5 m). Por último, se establece la cobertura global de cada especie en el espacio tridimensional de cada parcela (siendo las que se toman en cuenta para este trabajo). Las coberturas se calcularon teniendo en cuenta sistema fitosociológico: += cobertura inferior al 1 %; 1= entre 1,1 y 10 %; 2= entre 10,1 y 25 %; 3= entre 25,1 y 50 %; 4= entre el 50,1 y 75 % y, por último 5= entre el 75,1 y el 100 %.

Una vez obtenidos los 10 inventarios se acomete la configuración del sininventario con los distintos taxones aparecidos, así como sus respectivas coberturas. Se establece, entonces, la cobertura media de cada especie. Una vez obtenido el sininventario se estima la filiación corológica de cada taxón teniendo en cuenta diferentes fuentes de información (Zuloaga et al., 2008; Ministerio de Medio Ambiente, 2023). Se procede a un doble análisis y se obtienen las gráficas teniendo en cuenta, por una parte, el estatus de conservación de cada uno de los taxones identificados en las parcelas y, por otra la filiación, sin contemplar la cobertura media de cada taxón. Por último, se reseñan otra serie de datos como los endemismos, relictismos, etc.

3 Resultados

Se censaron 45 taxones en total, una cifra modesta comparada con otras formaciones valoradas mediante la metodología LANBIOEVA (Lozano-Valencia et al., 2022).

3.1. Estatus de conservación

El 69% de los taxones se clasifica como de "Menor preocupación" (LC). Un 20% no ha sido evaluado y solo el 2% (la araucaria) está oficialmente "En Peligro", aunque su peso ecológico es dominante por ser la especie titular (Fig. 3).

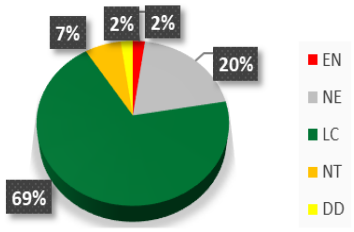


Fig. 3. Estatus de los taxones vasculares de los bosques de araucaria del PNC con las categorías UICN. Elaboración propia.

La especie en peligro es la propia araucaria que, en este sentido y para la discusión, aunque supone solamente un 2 % de todos los taxones, en cobertura debería incrementar considerablemente su peso puesto que es la especie dominante.

3.2. Filiación corológica

Domina la distribución Valdivia-Magallanes (56%), típica de la fachada occidental húmeda del cono sur. Un 18% son taxones de transición entre la región central y La Patagonia. Se identificó un 7% de filiaciones circumboreales y un 7% de eurosiberianas-euroasiáticas, correspondientes a especies introducidas (Fig. 4), fundamentalmente a partir de la colonización de los contingentes humanos europeos de estas tierras.

Otras filiaciones con porcentajes más bajos serían, con un 4 % aquellas que aparecen distribuidas tanto por América del sur o el imperio neotropical y por América del norte o imperio holártico. También estas podrían interpretarse como plurirregionales y, por tanto, de amplia distribución. Junto a estas ya el resto mostraría un 2 % correspondiéndole a taxones únicos de distintas filiaciones: Chile y Argentina australes, puna y Andes centrales, mediterráneo y mediterráneo y macaronesia.

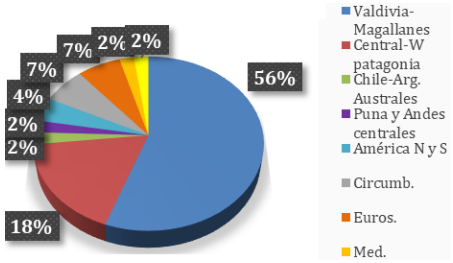


Fig. 4. Filiaciones corológicas de los taxones vasculares de los bosques de araucaria del PNC. Elaboración propia

3.3. Endemismos y relictismos

Además de lo anteriormente expuesto, hay que reseñar que en esta formación y el sininventario relativo a las 10 parcelas, se han encontrado los siguientes endemismos (Marticorena & Quezada, 1985; Ministerio de Medio Ambiente, 2023): todos los árboles y arbustos a excepción de *Maytenus boaria* serían endémicos a escala regional, es decir, de Chile y Argentina. Esta última especie se configuraría como un endemismo, pero de toda Sudamérica. En lo que respecta a las matas y trepadoras, de los 10 taxones 5 serían endemismos de Chile y Argentina, 4 serían nativas y una sería introducida. Por su parte, en las herbáceas existirían 8 taxones endémicos a escala regional (Chile y Argentina) otro a escala del cono austral, 2 nativas del continente americano, otras 2 nativas de América, 1 nativa de Sudamérica y 1 del hemisferio sur. El resto, hasta 6, no serían ni endémicas ni nativas. Es decir, en general, de los 45 taxones identificados, un 64,4 % sería endémico, lo que vuelve a suponer, fuera de los ecosistemas isleños, uno de los datos más altos a nivel mundial (Lozano-Valencia et al., 2022).

En cuanto a las especies consideradas como relictas, a continuación, adjuntamos un listado con las mismas: *Araucaria araucana*, Drimys andina, Embothrium coccineum, Myoschilos oblongum, Myrceugenia chrysocarpa, Aristotelia chilensis, Drimys wintery, Azara microphilla, Misodemdrum angulatum, Blechnum microphyllum y Fragaria chiloensis. Es decir, un 24,4 % respondería a taxones relictos, lo que también supone un alto porcentaje difícilmente observable en otros ámbitos como el europeo, es más, la propia formación debe ser considerada como un relicto y, además, de una serie temporal muy dilatada, con lo que alcanza un interés o valor superior.

Por último, también es reseñable que uno de los taxones identificados es finícola, es decir, que ocupa posiciones o sectores en sus límites de distribución. Se trata de Fragaria chiloensis que, en este sector encuentra sus contingentes más meridionales y, a la vez, a mayor altitud, es decir, un doble grado de finitud. Esto también dota de un valor añadido a la presente formación.

4 Discusión

Aunque aparentemente la mayor parte de los taxones no muestran un grado de amenaza excesivo y menos en este espacio con una política de conservación relativamente estricta, la existencia de fuegos relativamente recurrentes (muy abundantes en la región central o mediterránea del país, aquí menos), un excursionismo relativamente intenso, a la vez que un turismo también bastante intenso, sobre todo en épocas vacacionales, todo ello hace que no se deba bajar la guardia. Sería recomendable, de la misma manera, que se acometieran estudios más detallados para valorar más certeramente el valor de esta infraestructura verde (IV) y sus servicios ecológicos (SE), que seguramente podrían arrojar luz sobre las distintas poblaciones de los bosques de araucarias en este espacio y, a la misma vez, poner en valor SE tan importantes como los culturales, pero también los de soporte.

En cuanto a las filiaciones corológicas, lógicamente dominan las propias de la región donde se sitúa el estudio. No obstante, existen filiaciones a caballo, por el norte con la región mediterránea chilena y al sur con la Patagonia. Esto se puede interpretar como una localización a caballo entre estas realidades tan contrapuestas en lo que respecta al clima, los suelos, etc.

Aquellas filiaciones como las circumboreales, con bajos porcentajes, se pueden interpretar como taxones de amplias distribuciones que, normalmente suelen responder a una alta influencia del ser humano que facilita la existencia de los mismos. En este caso el no existir un alto porcentaje se podría interpretar como un síntoma de buena salud del ecosistema.

No obstante, también existe un cierto porcentaje de adscripciones eurosiberianas-euroasiáticas lo que responde, sin duda a la introducción de especies foráneas. A partir de la colonización estas introducciones se configuraron como relativamente abundantes, sobre todo en el grupo de las gramíneas. Así *Ribes uva-crispa*, *Valeriana tripteris* y

Carex divisa son especies introducidas que restarían calidad al ecosistema. En cualquier caso, los tres taxones muestran coberturas ciertamente bajas y un número muy limitado de parcelas, con lo que no se puede considerar que deban ser tenidas como taxones xenófitos o invasores y, por tanto, a erradicar, pero sí a estudiar y controlar.

5 Conclusiones

Los bosques de Araucarias del PNC muestran un estado de conservación relativamente óptimo debido a que se sitúan en un espacio protegido desde hace más de 75 años bajo la figura de Reserva Forestal, y ya desde 1970 como Parque Nacional.

Cuenta con bosques de araucarias perfectamente maduros que pueden ser ejemplares no sólo en cuanto a su composición, estructura, como IV y con una gran cantidad de SE, sino como un buen ejemplo de coexistencia con un turismo de calidad y un excursionismo de montaña relativamente profuso. Sin embargo, es posible que dichas actividades se puedan configurar, en un futuro, como un problema para la correcta gestión y conservación de estas manchas que, no obstante, de momento están siendo controladas a partir de un acceso limitado con barreras y un aforo concreto.

En cuanto al estatus de conservación de estas manchas y sus taxones constitutivos, en primer lugar, habría que decir que muestran una gran cantidad de taxones que se encuentran catalogados, según la IUCN, como de preocupación menor 69 % seguida de aquellos que no han sido evaluados (hasta un 20 %), un 7 % casi amenazados, y sendos 2 % de especies en peligro y con datos insuficientes. De esta forma, habría un 22 % de taxones que no han sido evaluados o sobre los que no existen datos suficientes. Esta cantidad se acerca a un cuarto del cortejo de los bosques de araucarias sobre los que todavía no se cuenta con datos suficientes para evaluar su grado de desaparición o amenaza, lo cual es una cantidad elevada. La especie en peligro es la araucaria que caracteriza a estas manchas como titular y especie de mayor cobertura y, por tanto, debería sobreestimarse ese 2 %.

En lo referente a las filiaciones corológicas de los taxones de estos bosques de araucarias, la mayor parte de los taxones aparece englobados en la categoría de distribución Valdivia-Magallanes (56 %). Hay un 18 % típicos de la región central y el oeste de Magallanes. El 7 % responde a filiaciones circumboreales, otro 7 % referido a aquellos cuyas filiaciones se corresponden a las eurosiberianas-euroasiáticas. Con un 4 % se situarían los taxones distribuidos tanto por América del sur o el imperio neotropical y por América del norte o imperio holártico. Junto a estas ya el resto mostraría un 2 % correspondiéndole a taxones únicos de distintas filiaciones: Chile y Argentina australes, puna y Andes centrales, mediterráneo y mediterráneo y macaronesia.

De los 45 taxones identificados, un 64,4 % sería endémico, lo que se configura como una cifra muy elevada que dota de un gran valor biogeográfico a estos bosques.

En lo que respecta a los taxones relictos, un 24,5 % de todos los inventariados se incluirían dentro de esta categoría, es decir, casi una cuarta parte, lo que también otorga un gran valor a esta formación teniendo en cuenta que, por definición, aglutina especies de mayor distribución en tiempos pretéritos, pero mucho más restringidos y con menores poblaciones en la actualidad al responder a otras condiciones bioambientales distintas a las actuales.

Por otra parte, la especie *Fragaria chiloensis* se configura como taxón relicto al ocupar, los contingentes poblacionales de esta zona, los límites de su distribución, en concreto el límite más meridional y a mayor altitud.

Con todos estos datos se cumple el objetivo planteado puesto que se obtienen importantes datos sobre la composición de estos bosques, así como las filiaciones corológicas, los estatus de conservación y otras características de los mismos.

6 Referencias

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2009). *Plan de Manejo Parque Nacional Conguillío* (Documento de Trabajo N° 405).

Cortés, J., Ugalde, I., Caviedes, J., & Ibarra, J. T. (2019). Semillas de montaña: recolección, usos y comercialización del piñón de la araucaria (*Araucaria araucana*) por comunidades Mapuche-Pewenche del sur de los Andes. *Pirineos*, 174 (September), 048. https://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/download/306/435/0

Díaz-Vaz, J. E. (1984). Araucaria araucana. Descripción anatómica. *Bosque*, 5(2), 117-118. http://revistas.uach.cl/pdf/bosque/v5n2/art08.pdf

Lozano-Valencia, P. J., Díaz-Sanz, M.C., Varela-Ona, R. & Meaza, G. (2022). Metodología LANBIOEVA para el inventario y la valoración biogeográfica. Madrid, Asociación de la Geografía Española (AGE), Grupo de Trabajo de Geografía Física. https:// www.age-geografia.es/site/metodologia-lanbioeva-para-el-inventariado-y-la-valoracion-biogeografica/

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2023). *Inventario Nacional de Especies de Chile: Clasificación según Reglamento de Clasificación de Especies (RCE)*. Gobierno de Chile. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Editorial El País.

Rojas, M. E. (2021). *Autenticación de origen filogeográfico de plántulas de araucaria araucana mediante la aplicación de técnicas de espectroscopia en distintos rangos del infrarrojo y métodos quimiométricos*. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. Tesis doctoral.

Zuloaga, F. O., Morrone, O. y Belgrano, M. J. (2008). *Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay)*. Missouri Botanical Garden Press.

Transformación del paisaje de la laurisilva de las Vueltas de Taganana durante las dos últimas décadas (Anaga. Tenerife. I. Canarias)

Arozena Concepción, M. Eugenia[1], Panareda Clopés. Josep M. y Víctor M. Martín Febles[3].

[1] Departamento de Geografía e Historia, Universidad de La Laguna, Campus de Guajara s/n.38200. La Laguna. España
[2] Departamento de Geografia, Universitat de Barcelona, Montalegre, 6. 08001, Barcelona. España
[3] Parque Nacional del Teide, Cabildo de Tenerife, Sixto Perera González, 25. 38300, La Orotava. España
maearozena@gmail.com

Resumen. El Valle de Taganana está situado en la vertiente norte del macizo de Anaga, en el extremo oriental de Tenerife. La laurisilva de Las Vueltas se localiza entre 400 y 900 m, en un interfluvio estrecho e inclinado que está recorrido por el camino real que le da nombre. El estudio realizado hace 22 años en este sector forestal concluyó que era un bosque inmaduro y que tenía una progresión espontánea muy ágil por el abandono de los usos históricos. El bosque se analizó en 2004 mediante inventarios forestales y en el año 2025 se realizaron inventarios fitosociológicos (Braun Blanquet, 1979). A pesar de las diferentes técnicas usadas, la comparación del estado de la masa arbórea es viable a través del análisis de su estructura y composición florística y para ello se han elegido las mismas parcelas del estudio anterior. En las dos últimas décadas el bosque ha mantenido su tendencia de madurez creciente, con un aumento general de *Laurus novocanariensis*, de helechos umbrófilos y de epifitos. Los espacios más explotados a finales del siglo XX, cerca de la cumbre y sobre el caserío, tienen la recuperación más evidente, con una disminución de las especies del género *Erica* y *Morella faya* e *Ilex canariensis* solo aparecen ya en el dosel. En las cotas intermedias lo más llamativo es el aumento de lauráceas y el mayor cierre de la bóveda. Aunque algunos de los cambios eran esperables, este estudio ha permitido verificar y precisar el modelo teórico general de dinámica forestal planteado hace años para Anaga.

Palabras clave: Laurisilva, dinámica forestal, Taganana, Anaga, Tenerife.

Resumo. O Vale de Taganana situa-se no maciço de Anaga, no leste de Tenerife. A floresta de Las Vueltas encontra-se entre 400 e 900 m, num interflúvio estreito e íngreme atravessado pelo caminho real que lhe dá o nome. O estudo realizado há 22 anos nesta área concluiu que a floresta apresentava vários níveis de imaturidade e uma progressão espontânea muito rápida após do abandono dos usos históricos. A floresta foi analisada em 2004 usando inventários florestais e em 2025 foram realizados inventários fitossociológicos (Braun Blanquet, 1979). Embora das diferentes técnicas utilizadas, a comparação do estado da massa florestal entre 2004 e 2025 e viável através da análise da sua estrutura e composição florística e para isso foram selecionadas as mesmas parcelas do estudo anterior. Nas últimas duas décadas a floresta tem mantido a sua tendencia de aumento de maturidade, com um considerável incremento global de *Laurus novocanariensis*, fetos de sombra e epífitas. As áreas mais exploradas no final do século XX, perto do topo e no setor inferior, próximo da aldeia, apresentam a recuperação mais evidente, com um aumento do tamanho das árvores, uma diminuição das espécies do género *Erica* e *Morella faya* e *Ilex canariensis* surgem agora apenas no dossel. O aspecto mais marcante das áreas intermediárias é o aumento de lauráceas e o maior fechamento da cobertura. Embora algumas das mudanças fossem esperadas, este estudo possibilitou verificar e refinar o modelo teórico geral da dinâmica florestal proposto anos atrás para Anaga.

Palavras-chave: Laurissilva, dinâmica florestal, Taganana, Anaga, Tenerife.

Abstract. The Taganana Valley is situated on the Anaga massif, at the eastern of Tenerife. The laurel forest of Las Vueltas is between 400 and 900 m, in a narrow sloping interfluve through which runs the royal way, from which it takes its name. A study carried out 22 years ago in this forest area concluded that it was an immature forest and was undergoing very rapid spontaneous succession due to the abandonment of historical land uses. The forest was analyzed in 2004 through forest inventories and phytosociological inventories (Braun Blanquet, 1979) were carried out in 2025. Despite the different techniques used, a comparison of the condition of the tree stand is feasible through an analysis of its structure and floristic composition, and for this aim the same plots as in the previous study have been selected. Over the last two decades, the forest has continued to mature, with a general increase of *Laurus novocanariensis,* shade-loving ferns and epiphytes. The area most heavily exploited at the end of the 20th century, near the summit and in the lower sector above the hamlet, show the most evident recovery with a decline in species of the genus *Erica* and *Morella faya* and *Ilex canariensis* now only appear in the canopy. The most striking aspect of the midfield is the increase of the laurel trees and canopy closure. Although some of the changes were expected, this study has made it possible to verify and refine the general theoretical model of forest dynamics proposed years ago for Anaga.

Keywords: Laurel forest, forest dynamics, Taganana, Anaga Tenerife.

1 Introducción

Los cambios socioeconómicos históricos y las recientes estrategias de conservación están provocando desde hace años una transformación natural de la laurisilva canaria. De acuerdo con la teoría "Forest Transition" (Mather, 1992), esta reacción del bosque tras el abandono de los usos revela la estrecha relación de los rasgos actuales de la laurisilva con la actividad humana (Arozena y Panareda, 2013).

El Camino Real de Las Vueltas fue decisivo para la explotación forestal del Valle de Taganana, en el Parque Rural de Anaga (fig. 1). Desde 1506 hasta mediados del siglo XX fue la única comunicación terrestre con el exterior y el acceso exclusivo a unos recursos forestales muy demandados. La laurisilva de Las Vueltas, intensamente explotada durante los siglos XVI y XVII y de un modo más extensivo hasta los últimos años del XX, refleja ya solo los efectos de los aprovechamientos del último siglo y medio. Debido a su historia, ofrece la oportunidad de profundizar en el conocimiento del proceso general de recuperación y del incremento general de la madurez de la laurisilva (Arozena, Panareda y Beltrán, 2009), así como de los rasgos particulares de esa dinámica en Las Vueltas. Tras el análisis realizado hace 22 años (Arozena, 2005), a lo largo de 2025 se ha vuelto a examinar para conocer las características de su regeneración reciente.

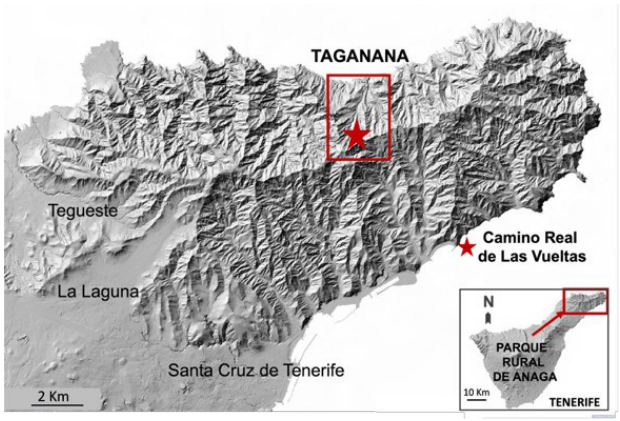


Fig. 1. Localización de Taganana y del bosque de Las Vueltas

2 Metodología y técnicas de estudio

Hasta el momento, nuestros estudios en la laurisilva se han basado en una aproximación sincrónica, mediante la comparación de expresiones forestales coetáneas correspondientes a diferentes situaciones dinámicas. En el presente estudio aplicamos, por primera vez, un método diacrónico, comparando los rasgos forestales de los mismos lugares en diferentes momentos: 2004 y 2025. Para ello se han utilizado las mismas parcelas, representativas de los principales cambios del bosque debidos a los variados aprovechamientos, dependientes de la topografía y del grado de proximidad a la cumbre o al caserío. Por falta de espacio, de los cuatro lugares estudiados exponemos aquí solamente los resultados de uno de ellos, el Descansadero, muy expresivo de la transformación reciente de la laurisilva.

3 Resultados

El conjunto del bosque desvela que en los últimos 22 años se ha incrementado la diversidad florística y en muchos sitios se ha hecho más compleja la estructura forestal. Por lo general, hay un mayor protagonismo del estrato herbáceo; el número de especies arbóreas no ha aumentado, pero sí ha cambiado significativamente su proporción. El aumento del sotobosque, con helechos de grandes frondes, dificulta la llegada de luz al suelo y, como consecuencia, también la germinación (Arozena, Panareda y Martín, 2025), por lo que en muchos espacios no hay juveniles o son muy escasos.

Por otro lado, el aumento del porte y de la heterogeneidad del límite superior del dosel, junto con la fuerte pendiente, han propiciado la caída de árboles dispersos sin que el viento fuera excepcional; el fenómeno no es comparable con lo ocurrido durante Delta (2005), que provocó el desarraigo masivo de un número muy superior de ejemplares (Arozena, Dorta, Panareda y Beltrán, 2008). Como consecuencia, abundan los huecos en la bóveda y, bajo ellos hay una importante germinación de herbáceas oportunistas y de especies arbóreas que necesitan algo de luz para germinar.

3.1 Rasgos generales del Descansadero

Este lugar, también conocido como el Llano de Las Vacas, es un espacio plano situado a 810 m de altitud y orientado al norte. El llano está bordeado al este por el camino real de Las Vueltas y por el oeste limita con la cabecera de uno de los afluentes del Valle de Afur. La situación y la topografía han sido propiedades decisivas para su uso secular.

Aunque no se ha encontrado documentación al respecto, es muy probable que este lugar haya estado cultivado en el pasado, pues la economía de subsistencia no permitía desperdiciar cualquier lugar favorable a ello. Pero de lo que sí hay información oral es de que durante gran parte del siglo XX se utilizó como "Descansadero" para campesinos y ganado. A ello también contribuyó que el camino desde Afur a la cumbre se incorporara al tramo más alto del de Las Vueltas a través del llano. En el borde superior del Descansadero hay un conjunto de carboneras que delatan un uso compatible con la utilización del área central.

3.2 Estado de la laurisilva en 2004

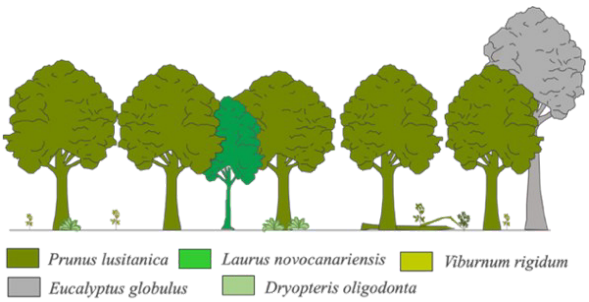


Fig. 2. Sección forestal de la laurisilva del Descansadero en 2004 (Arozena, 2005, modificado).

Los tres atributos más característicos hace 22 años eran el dosel casi monoespecífico de *Prunus lusitanica* (tabla 1 y

fig. 2), la ausencia de generaciones jóvenes y la falta de sotobosque; este se limitaba a concentraciones puntuales de heliófilas (*Pericallis appendiculata, Ixanthus viscosus, Pteridium aquilinum*), donde la bóveda estaba más abierta, y de *Dryopteris oligodonta* junto al pie de los troncos (fig. 2).

El bosque mostraba los rasgos fisonómicos de mayor madurez de Las Vueltas, sobre todo por los diámetros de los troncos, pero el dominio de *Prunus lusitanica* indicaba su juventud (tabla 1), pues, junto con los eucaliptos plantados, formó parte del conjunto de colonizadoras arbóreas de un calvero antiguo. Esa estructura forestal respondía a la conservación de sombra y de una amplia superficie libre al nivel del suelo. Así, los primeros árboles presentes fueron creciendo sin dar oportunidad a la aparición de otras especies.

Tabla 1. Inventario forestal del Descansadero. 2004. (Arozena, 2005)

Número de niveles arbóreos	**1**	**2**	**3**	**4**
Altura (m)	10-11	3,5 m	0,80-1,20	Plántulas
Recubr.	90%	3%	2%	<1%
Diám.Tronc.	30 cm	2,5 cm	<0,5 cm	< 0,5 cm
Forma	M y P	M	P	M
Sep. Pies	4-8 m	>3 m	0,10 m	1 m
Reprod.	S y V	S	V	S
Especies	*P.l.* 90% *L.n.* 7% *R.g.* + *M.f.* +	*L.n.* 25% *V.r.* 85% *S.p.* +	*P.l.*100%	*V.r.*100%
Diámetro de tronco/especie en nivel superior (cm): *Eucalyptus globulus*: 50; *Prunus lusitanica*: 42; *Rhamnus glandulosa*: 31; *Morella faya*: 30; *L. novocanariensis*: 19				
M : monocaule ; P: pluricaule. *P.l.: Prunus lusitanica. L.n.:Laurus novocanariensis. R.g.: Rhamnus glandulosa. M.f.: Morella faya. V.r.: Viburnum rigidum. S.p.: Sambucus palmensis.*				

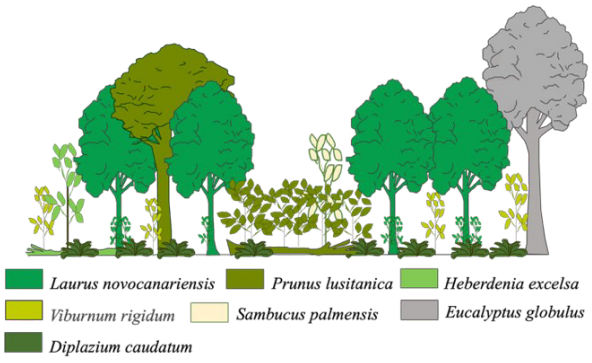


Fig. 3. Sección forestal de la laurisilva del Descansadero en 2025

3.3. Estado de la laurisilva en 2025

A lo largo de los últimos 20 años ha aumentado la altura del dosel unos 4 m y la cobertura del conjunto de árboles llega ahora al 100%. Sin embargo, la bóveda arbórea solo alcanza el 70% debido a la caída de ejemplares de *Prunus lusitanica*; el 30% restante corresponde sobre todo a rebrotes jóvenes de esta especie (tabla 2 y fig. 3). La cantidad de fitomasa es muy superior que en 2004 y la estructura vertical es más compleja, a lo que también contribuye el sotobosque, prácticamente ausente en 2004 (fig. 4 y 5).

Laurus novocanariensis ha aumentado más de un 60%, en detrimento de *Prunus lusitanica*, que ha perdido cerca de un 70% de su recubrimiento, a pesar de su importante regeneración vegetativa. La repetida caída de grandes árboles de *P. lusitanica* ha estimulado la germinación de *Sambucus palmensis*. Esta especie heliófila en peligro de extinción, antes muy abundante en la laurisilva, ha pasado de 1 a 3 ejemplares.

Tabla 2. Inventario fitosociológico del Descansadero. 2025

UTM 28R	380158
Altitud (m)	805
Orientación	N
Inclinación (º)	10
Superficie Inventariada (m^2)	120
Estrato arbóreo (m-%)	15-100
Estrato herbáceo (m-%)	1,50-75
Proporción Ericáceas-planifolios (%)	0-100
Laurus novocanariensis	4.2
Prunus lusitanica	2.4
Viburnum rigidum	3.2
Sambucus palmensis	1.2
Heberdenia excelsa	+.1
Ocotea foetens	+.1
Diplazium caudatum	2.3
Polystichum setiferum	1.2
Dryopteris oligodonta	1.2
Asplenium onopteris	1.1
Asplenium hemionitis	+.1
Davallia canariensis	+.1
Pericallis appendiculata	2.4
Mercurialis annua	1.3
Ranunculus cortusifolius	1.2
Ixanthus viscosus	+.1
Canarina canariensis	+.1
Brachypodium sylvaticum	+.1
Rubus ulmifolius	+.1
Índices: Abundancia-dominancia. Sociabilidad. **Abundancia-dominancia** (%). **5**: 75-100. **4**: 50-75. **3**: 25-50. **2**: 10-25. **1**: 0-10. +: presencia. **Sociabilidad**. **5**: Presentes en toda la superficie de estudio. **4**: manchas extensas. **3**: manchas pequeñas. **2**: pequeños grupos de individuos. **1**: individuos aislados	

4. Consideraciones finales

La principal transformación ocurrida en el Descansadero durante estas dos décadas es de carácter fisonómico. El espacio forestal totalmente transitable en 2004 (fig.4) se ha convertido en un lugar casi impenetrable (fig. 5) por el desarrollo del sotobosque y, sobre todo, por la abundancia de rebrotes vegetativos de *Prunus lusitanica, Laurus novocanariensis* y, puntualmente, de *Heberdenia excelsa*. A ello se añade la existencia de abundantes ejemplares jóvenes de *Viburnum rigidum*. También se ha producido un aumento de las especies florísticas del sotobosque, tanto helechos umbrófilos como especies oportunistas bajo los claros abiertos por caída de árboles.



Fig. 4. Aspecto del bosque del Descansadero. 10/03/2004. (M. E. Arozena)

Sin embargo, el número de especies arbóreas no se ha ampliado; se mantienen prácticamente las mismas, pero sí ha variado su proporción, disminuyendo las indicativas de un estado más inmaduro.



Fig. 5. Aspecto del bosque del Descansadero.25/10/2025. (V.M. Martín Febles)

A pesar de la juventud que presentaba la laurisilva en el primer estudio, no estaba presente el taxon arbóreo más helófilo, *Erica arborea*. Esta ausencia indica que el bosque ya había evolucionado algo antes de la entrada de *Prunus lusitanica*, especie que se reproduce muy bien vegetativamente con la luz. Una vez que *P. lusitanica* se estableció y dominó, la evolución espontánea se congeló intencionadamente por el último uso de ese espacio. La función de "echadero" de ganado y de reunión y reposo de campesinos fue incompatible con el desarrollo de plántulas y brinzales arbóreos, así como del sotobosque. A medida que fue dejando de utilizarse este lugar, se reactivó la dinámica forestal de modo natural y el estudio de 2005 ofrece la imagen del momento actual de ese proceso.

El protagonismo de *Prunus lusitanica* en el dosel, la mayor altura de sus ejemplares y el efecto de temporales de viento significativos, como Delta en 2005, ha desencadenado una dinámica simultánea, frecuente pero no permanente, provocada por la caída de árboles (fig. 6). Esta dinámica se caracteriza por un proceso local de autosucesión, pues los claros abiertos por *P. lusitanica* favorecen su propia reproducción vegetativa. Este fenómeno no es exclusivo del Descansadero, pero sí destaca aquí frente al resto de la laurisilva de Las Vueltas porque la gran proporción de esta especie en este lugar la convierte en su principal "gapmaker" (Arévalo y Fernández-Palacios, 2007).



Fig. 6. Ejemplares de *P. lusitanica* derribados por el temporal Delta en el Descansadero.12/01/2006. (J. M. Panareda)

4 Referencias

Arévalo, J.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2007). Treefall Gaps and Regeneration in the Laurel Forest of Anaga (Tenerife): a Matter of Size? *Plant Ecology,*188, 133-143. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9152-1

Arozena, M.E. (2005). La incidencia del Camino Real de Las Vueltas en el Monteverde de Taganana (Tenerife). Aplicación de la dinámica forestal a la geografía de la vegetación. En *III Congreso Español de Biogeografía* (pp. 55-61). Reserva de la Biosfera de Urdaibai.

Arozena, M.E., Dorta, P., Panareda , J.M. & Beltrán, E. (2008). El efecto de los temporales de viento en la laurisilva de Anaga (Tenerife. I. Canarias). La tormenta Delta de noviembre de 2005. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales,*12-267, 43-64.

Arozena, M.E., Panareda, J.M. & Beltrán, E. (2009). Aproximación a la dinámica de recuperación espontánea de la laurisilva del Parque Rural de Anaga (Tenerife. Islas Canarias). En *Biogeografía. Scientia Biodiversitatis* (pp. 25-31). MICINN. Universidad de Málaga. Junta de Anadalucía.

Arozena, M.E. & Panareda, J.M. (2013). Forest Transition and Biogeographic Meaning of the Current Laurel Forest Landscape in Canary Islands. Spain. *Physical Geography,* 34(3), 211-235. https://doi.org/10.1080/02723646.2013.817181

Arozena Concepción, M.E. Panareda Clopés, J.M. & Martín Febles, V.M. (2024). Los paisajes de la laurisilva canaria. Un patrimonio natural y cultural. Excmo. Ayto. San Cristóbal de La Laguna.

Arozena Concepción, M. E., Panareda Clopés, J.M. & Martín Febles, V.M. (2025). Germinação e Sucessão Florestal na Laurissilva das Ilhas Canárias (Parque Rural de Anaga – Tenerife-Espanha). *Continentes* (UFRRJ). 13 (27). 18 p. https://orcid.org/0000-0002-8855-5451?lang=es

Braun Blanquet, J. (19799. Fitosociología. Base para el estudio de las comunidades vegetales. Ed. Blume. Madrid,

Mather, A.S. (1992). The Forest Transition. *Area*, 24, 367-379. http://www.jstor.org/stable/20003181

Composición florística de los bosques de roble albar (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) del noroeste peninsular

Díaz-Maroto, Ignacio J.

Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Terra s/n, 27002 Lugo, España
ignacio.diaz-maroto@usc.es

Resumen. Los robledales caducifolios constituyen la vegetación climácica del noroeste ibérico. Entre ellos, con la presencia de una notable diversidad de plantas vasculares, destacan los bosques de roble albar (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), siendo nuestro objetivo describir su riqueza florística. El área de estudio incluye territorios de Galicia, Asturias y León, donde se realizaron 50 inventarios florísticos, siguiendo la metodología de Braun-Blanquet, es decir, asignando a cada especie una escala de abundancia-dominancia, dependiendo de su espesura. En cada uno de los rodales se consideraron zonas de vegetación homogénea con una extensión suficiente, mínimo, 400 m^2, de manera, que fuesen representativas de la biodiversidad actual. También, se clasificaron las especies por tipos biológicos –formas de vida de Raunkiaer– y se realizó una asignación de afinidades corológicas. Posteriormente, mediante el método de clasificación dicotómica de masas arbóreas –TWINSPAN– se obtuvieron once grupos finales. Para ello, consideramos un máximo de cuatro especies indicadoras y una agrupación mínima de inventarios igual a ocho, siendo preciso cinco niveles de división. Con respecto a los tipos biológicos, los resultados muestran un mayor número de fanerófitos y caméfitos respecto a hemicriptófitos, terófitos y geófitos, identificándose un total de 30 familias y entre 15-20 especies por inventario. En lo que concierne al espectro corológico, predominan los especímenes atlánticos, un 32%, siendo la presencia de elementos mediterráneos escasa, un 7%. Como conclusiones, comentar que la mayor diversidad acontece en robledales montanos de Galicia, ubicados en zonas de fuertes pendientes y, normalmente, en orientaciones de umbría, donde han permanecido poco alterados debido a que las condiciones del medio no han permitido su aprovechamiento. En el lado opuesto, la menor diversidad sucede en las masas de *Quercus petraea* intensivamente explotadas desde tiempos ancestrales para la obtención de madera y leñas. Constatar la necesidad de realizar un mayor número de inventarios, evitando aquellos rodales donde el sotobosque esta alterado. Asimismo, es necesario buscar una mayor homogeneidad en las condiciones ambientales, delimitando el estudio a una escala distinta de la especie, como asociación fitosociológica, o incluso, sistema montañoso o cuenca fluvial.

Palabras clave: Robledales caducifolios, plantas vasculares, inventario florístico, clasificación dicotómica.

Resumo. Os bosques de carvalhos de folha caduca constituem a vegetação clímax do noroeste da Península Ibérica. Entre eles, com uma notável diversidade de plantas vasculares, destacam-se os bosques de carvalho-alvarinho (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), e o nosso objetivo é descrever a sua riqueza florística. A área de estudo abrange territórios na Galiza, Astúrias e León, onde foram realizados 50 inventários florísticos, seguindo a metodologia de Braun-Blanquet, atribuindo a cada espécie uma escala de abundância-dominância, consoante a sua densidade. Em cada povoamento foram consideradas zonas de vegetação homogénea com uma extensão suficiente, no mínimo 400 m², para que fossem representativas da biodiversidade atual. As espécies foram também classificadas por tipo biológico –formas de vida de Raunkiaer– e atribuídas afinidades corológicas. Então, utilizando o método de classificação dicotómica para povoamentos arbóreos –TWINSPAN– obtiveram-se onze grupos finais. Para tal, considerou-se um máximo de quatro espécies indicadoras e um agrupamento de inventário mínimo igual a oito, o que requer cinco níveis de divisão. Relativamente aos tipos biológicos, os resultados mostram um maior número de fanerófitas e caméfitas em comparação com as hemicriptófitas, terófitas e geófitas, com um total de 30 famílias e entre 15 a 20 espécies identificadas por inventário. Quanto ao espectro corológico, predominam os espécimes atlânticos (32%), enquanto os elementos mediterrânicos são escassos (7%). Em conclusão, a maior diversidade encontra-se nos bosques de carvalhos montanhosos da Galiza, localizados em zonas com declives acentuados e, tipicamente, em encostas viradas a norte, onde se mantiveram relativamente preservados devido às condições ambientais que não permitiram a sua utilização. Por outro lado, a menor diversidade ocorre em povoamentos de *Quercus petraea* que têm sido intensamente aproveitados desde tempos antigos para madeira e lenha. É essencial realizar mais inventários, evitando povoamentos onde o sub-coberto esteja perturbado. Além disso, é necessário procurar uma maior homogeneidade das condições ambientais, delimitando o estudo a uma escala diferente da espécie, por exemplo, a associação fitossociológica ou, inclusive, o sistema montanhoso ou a bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Carvalhos de folha caduca, plantas vasculares, inventário florístico, classificação dicotómica.

Abstract. Deciduous oak forests represent the climax vegetation of northwestern Iberia. Among them, with a remarkable diversity of vascular plants, the sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) forests stand out, and our objective is to

describe their floristic richness. The study area includes territories in Galicia, Asturias, and León, where 50 floristic inventories were carried out, following the Braun-Blanquet method, that is, assigning each species an abundance-dominance scale, depending on its density/thickness. In each stand, areas of homogeneous vegetation with a sufficient extension, minimum 400 m^2, were considered so that they would be representative of the current biodiversity. Species were also classified by biological types –Raunkiaer's life forms– and an assignment of chorological affinities was made. Subsequently, using the dichotomous classification method for tree stands –TWINSPAN– eleven final groups were obtained. For this, we considered a maximum of four indicator species and a minimum inventory grouping of eight, requiring five levels of division. Regarding biological types, the results show a greater number of phanerophytes and chamaephytes compared to hemicryptophytes, therophytes, and geophytes, with a total of 30 families and between 15 and 20 species identified per inventory. As for the chorological spectrum, Atlantic specimens predominate (32%), while the presence of Mediterranean elements is scarce (7%). In conclusion, the greatest diversity is found in the montane oak forests of Galicia, located in areas with steep slopes and, typically, on north-facing slopes, where they have remained relatively undisturbed because environmental conditions have not allowed for their exploitation. Conversely, the lowest diversity occurs in stands of *Quercus petraea* that have been intensively exploited since ancient times for timber and firewood. It is essential to conduct more inventories, avoiding stands where the understory is disturbed. Furthermore, it is necessary to seek greater homogeneity in environmental conditions by delimiting the study to a scale other than that of the species, such as the phytosociological association, or even the mountain system or river basin.

Keywords: Deciduous oak forests, vascular plants, floristic inventory, dichotomous classification.

1 Introducción

Las comunidades vegetales que constituyen la vegetación climácica del noroeste peninsular se corresponden, en su mayoría, con formaciones boscosas dominadas por especies caducifolias del género *Quercus*. Entre estas, destacan los bosques de roble albar (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), que forman sistemas forestales de alto valor ecológico, debido a su riqueza y diversidad de plantas vasculares. Esta elevada biodiversidad se asocia, tanto con la heterogeneidad estructural del dosel como con la variabilidad edáfica y microclimática, que caracteriza estos ecosistemas (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979; Izco *et al*., 1990; Guitián Rivera, 1995).

En este contexto, el objetivo principal fue analizar y describir la diversidad florística asociada a estos bosques, prestando especial atención a su composición específica y a los patrones de distribución de especies. Asimismo, se considera relevante el hecho de que una parte significativa de estas formaciones se localiza dentro de espacios pertenecientes a la Red Natura 2000, lo que subraya su valor para la conservación de la biodiversidad a escala regional y europea, así como la necesidad de mejorar el conocimiento científico que sustente su adecuada gestión y preservación (Díaz y Fernández, 1994; Díaz-Maroto *et al*., 2007).

2 Materiales y métodos

El área de estudio, noroeste ibérico, incluye territorios de Galicia, Asturias y León, donde se apearon 50 inventarios botánicos en rodales de *Quercus petraea*, siguiendo el método de Braun-Blanquet (1979). Este método asigna a cada especie un índice de abundancia-dominancia, dependiendo de su cobertura. Con ese objetivo, dentro de cada rodal se seleccionaron zonas de vegetación homogénea con una extensión mínima de 400 m^2, aunque en determinados casos, se ampliaron los inventarios con anotaciones adicionales fuera de dicha superficie (Amigo *et al*., 2001). También, se clasificaron las especies por tipos biológicos (Raunkiaer, 1934) y se determinaron las afinidades corológicas (Silva-Pando, 1994; Buide *et al*., 1998).

A continuación, se aplicó el método de clasificación dicotómica de masas arbóreas –TWINSPAN– (Hill, 1979), el cual, en cada iteración, establece especies indicadoras que permiten discriminar entre rodales. Con el fin de optimizar la clasificación, pueden ajustarse diversos parámetros: número de especies indicadoras, tamaño mínimo de inventarios por grupo y niveles de división (Pisces Conservation LTD., 2004). Dado que el programa opera con valores numéricos, los índices de cobertura (Braun-Blanquet, 1979) se han resumido en seis clases: cero (ausencia), uno (< 10% de cobertura), dos (10 a 25%), tres (25 a 50%), cuatro (50 a 75%) y cinco (> 75%). Una vez obtenida la clasificación, cualquier otro punto del territorio puede incluirse en ella.

3 Resultados

3.1 Tipos biológicos –formas de vida de Raunkiaer– y afinidades corológicas. Caracteres culturales

En los bosques de roble albar existe un mayor número de fanerófitos y caméfitos con respecto a hemicriptófitos, terófitos y geófitos. Se han identificado 30 familias y entre 15 a 20 especies por inventario. En relación con el espectro corológico (Buide *et al*., 1998; Amigo *et al*., 2001), existe una clara dominancia de elementos atlánticos (32%) y escasa presencia de mediterráneos (7%). En la Tabla 1, se incluyen aquellos taxones con presencia en > 40% de los inventarios florísticos realizados.

Con relación a los caracteres culturales, *Quercus petraea* es un árbol robusto que alcanza los 35 m y cuyo aspecto es semejante al roble común (*Quercus robur* L.), con quien comparte muchas características. Sus hojas son simples, caducas, alternas, de lóbulos redondeados, con la base en cuña, generalmente lampiñas por ambas caras y con un rabillo patente que llega a 2,5 cm. Las flores nacen en primavera agrupadas en ramillos colgantes de color amarillo (amentos).

Sus bellotas son alargadas y aparecen sentadas sobre las ramillas dado que tienen un rabillo muy corto (Fig. 1).



Fig. 1. Aspecto de las hojas de *Quercus petraea* (Fuente: https://www.arbolapp.es/especies/ficha/quercus-petraea/)

3.2 Clasificación dicotómica de rodales

Se han obtenido once grupos finales en la clasificación de rodales de *Quercus petraea*, lo que refleja una diferenciación minuciosa. Para ello, se establecieron criterios metodológicos que garantizasen tanto la coherencia ecológica como la robustez estadística de los resultados.

En concreto, se consideró un máximo de cuatro especies indicadoras por grupo y se fijó un tamaño mínimo de ocho rodales, con el objetivo de evitar agrupaciones poco representativas. La aplicación de estos criterios precisó cinco niveles de división en el proceso dicotómico, permitiendo una segregación progresiva y jerárquica de los rodales hasta lograr la configuración final.

El primer nivel no diferencia grupos y tiene a *Stellaria holostea* L., *Holcus mollis* L. y *Frangula alnus* Mill. como especies discriminantes. En el segundo nivel, la ausencia de *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn y *Erica arborea* L., caracteriza el grupo XI. En el tercer nivel, concurren varias especies indicadoras: 1) *Asphodelus albus* Mill. (ausencia), *Cytisus scoparius* (L.) Link (ausencia) y *Pyrus cordata* Desv. (presencia), determinan el grupo I; 2) La presencia de *Corylus avellana* L. caracteriza el grupo X. Igualmente, en el cuarto nivel son varias las especies discriminantes: 1) *Lonicera periclymenum* L. y *Fagus sylvatica* L. (presencia: grupo II; ausencia: grupo III); 2) *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn y *Frangula alnus* Mill., la presencia de ambas caracteriza el grupo VI y, su ausencia, el grupo VII. En el último nivel, hay cuatro grupos con diferentes especies: 1) grupo IV (ausencia: *Luzula sylvatica* L. y *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin; presencia: *Erica arborea* L. y *Cytisus scoparius* (L.) Link); 2) grupo V (presencia: *Luzula sylvatica* L. y *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin; ausencia: *Erica arborea* L. y *Cytisus scoparius* (L.) Link); 3) grupo VIII, presencia de *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin; 4) grupo IX, ausencia.

Tabla 1. Taxones con presencia en > 40% de los inventarios, sin considerar las especies de *Quercus* spp.

Taxón	Nº inventarios
Ilex aquifolium L.	35
Pteridium aquilinum (L.) Kuhn	35
Erica arborea L.	31
Corylus avellana L.	25
Vaccinium myrtillus L.	25
Rubus spp.	25
Sorbus aucuparia L.	20
Stellaria holostea L.	20
Holcus mollis L.	20

4 Discusión

En general, la mayor diversidad florística tiene lugar en robledales montanos de Galicia, ubicados en zonas de fuerte pendiente y, en algunos casos, incluso en orientaciones de umbría, donde han permanecido poco alterados debido a que las condiciones del medio no han permitido su aprovechamiento (Díaz-Maroto *et al*., 2005). En el lado opuesto, la menor diversidad aparece en masas de *Quercus petraea* sometidas a una intensiva acción antrópica, para obtener madera y leñas (Guitián Rivera, 1995). Un aspecto de interés, conocida la diversidad florística, es determinar el área a conservar y el número de especies presentes (Zacharias y Brandes, 1990), en este sentido, la influencia de las actuaciones selvícolas y la edad de las masas son aspectos muy importantes, siendo suficientes alrededor de treinta años sin manejo forestal para modificar la composición florística de un bosque (Aude y Lawesson, 1998).

La clasificación dicotómica –TWINSPAN– ha identificado como especies indicadoras de los grupos finales en los bosques de *Quercus petraea*, las siguientes: *Fagus sylvatica* L., *Corylus avellana* L., *Pyrus cordata* Desv., *Frangula alnus* Mill., *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Erica arborea* L., *Asphodelus albus* Mill., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Lonicera periclymenum* L., *Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin y *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. Además, existen otras especies discriminantes para el nivel de división, aunque, no para los grupos, tales como, *Stellaria holostea* L. y *Holcus mollis* L.; siendo fanerófitas el mayor número de estas (Rivas Martínez, 1987).

La presencia de *Fagus sylvatica* constituye un rasgo característico de los bosques de roble albar (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) del oriente de Asturias, donde aparece con frecuencia formando parte del dosel, o bien, en el estrato subarbóreo (Rivas Martínez, 1987). En muchos casos, su comportamiento puede considerarse invasor, debido a su elevada capacidad de hacer sombra y competencia por los recursos, limitando la regeneración natural del roble al reducir la disponibilidad de luz y espacio para el establecimiento de las plántulas. Por su parte, la presencia de *Corylus*

avellana es distintiva de los robledales montanos maduros, con condiciones meso-húmedas y suelos relativamente fértiles, presentes en la zona más oriental del área de estudio (Izco *et al*., 1990). Asimismo, la aparición de *Luzula sylvatica* es frecuente en los bosques de la Sierra de Ancares, donde se integra en robledales mixtos que destacan por su notable diversidad florística y complejidad estructural. Estos sistemas presentan una combinación de especies arbóreas y herbáceas que reflejan condiciones ecológicas heterogéneas y un alto grado de conservación, tal como señala Silva-Pando (1994), lo que contribuye a incrementar el valor biogeográfico y ecológico de estas formaciones.

5 Conclusiones

Los robledales caducifolios forman la vegetación climácica del noroeste ibérico, desarrollándose bajo condiciones bioclimáticas caracterizadas por un régimen atlántico húmedo, con precipitaciones abundantes y temperaturas moderadas a lo largo del año. Estos ecosistemas desempeñan un papel fundamental en la estabilidad ecológica del territorio, al contribuir a la conservación del suelo, la regulación hídrica y el mantenimiento de la biodiversidad. Entre ellos, y con la presencia de una notable diversidad de plantas vasculares tanto en el estrato arbóreo como en el sotobosque, destacan los bosques de roble albar, que se establecen preferentemente sobre suelos ácidos y bien drenados. Estas formaciones presentan una estructura compleja y una composición florística única, en la que coexisten especies herbáceas, arbustivas y otras leñosas que reflejan tanto la madurez del sistema como su adaptación a las condiciones ecológicas.

Como principal conclusión del análisis de la distribución de las masas de roble albar en el noroeste ibérico, en función de la presencia o no de diferentes especies florísticas, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de aumentar el número de inventarios. Asimismo, conviene evitar aquellos rodales cuyo sotobosque este alterado por el pastoreo u otras perturbaciones antrópicas. Del mismo modo, es recomendable abordar el estudio a una escala diferente de la especie, considerando, por ejemplo, la asociación fitosociológica, el sistema montañoso o la cuenca fluvial. Todo ello permitiría lograr mayor homogeneidad en las condiciones ambientales y, por ende, resultados más consistentes.

6 Referencias

Amigo, J., Silva-Pando, F. J., González, M. P., Rozados, M. J., Rois, M., & Díaz-Maroto, I. J. (2001). Diversidad florística en robledales atlánticos del Noroeste de la Península Ibérica. En S.E.C.F.-Junta de Andalucia (Eds.), *Actas III Congreso Forestal Español. Sierra Nevada 2001*, Tomo V (pp. 169–175). Junta de Andalucia.

Aude, E., & Lawesson, J. E. (1998). Vegetation in Danish beech forests: the importance of soil, microclimate and management factors, evaluated by variation partitioning. *Plant Ecology* 134, 53–65.

Braun-Blanquet, J. (1979). *Fitosociología. Base para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume.

Buide, M. L., Sánchez, J.M., & Guitián, J. (1998). Ecological characteristics of the flora of the Northwest Iberian Peninsula. *Plant Ecology* 135, 1–8.

Ceballos, L., & Ruiz de la Torre, J. (1979). *Árboles y arbustos de la España Peninsular*. Fundación Conde del Valle de Salazar.

Díaz, T. E., & Fernández, J.A. (1994). La vegetación de Asturias. *Itinera Geobotanica* 8: 243–528.

Díaz-Maroto, I. J., Vila-Lameiro, P., & Silva-Pando, F. J. (2005). Autecology of oaks (*Quercus robur* L.) in Galicia (Spain). *Annals of Forest Science* 62, 737–749.

Díaz-Maroto, I. J., Vila-Lameiro, P., Guchu, E., & Díaz-Maroto, M. C. (2007). A comparison of the autoecology of *Quercus robur* L. and *Q. pyrenaica* Willd.: present habitat in Galicia, NW Spain. *Forestry* 80, 223–239.

Guitián Rivera, L. (1995). *Origen y evolución de la cubierta forestal de Galicia*. Tesis doctoral. Universidade de Santiago de Compostela.

Hill, M.O. (1979). TWINSPAN: A fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University.

Izco, J., Amigo, J., & Guitián, J. (1990). Los robledales galaico-septentrionales. *Acta Botanica Malacitana* 15, 267–276.

Pisces Conservation LTD. (2004). Community analysis package version 3.0. A program to search for structure in ecological community data. Pisces Conservation Ltd.

Raunkiaer, C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon Press, Oxford.

Rivas Martínez, S., (1987). *Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España, 1: 400.000*. ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Silva-Pando, F. J. (1994). Flora y series de vegetación de la Sierra de Ancares. *Fontqueria* 40, 233–388.

Zacharias, D., & Brandes, D. (1990). Species area-relationships and frequency-floristical data analysis of 44 isolated woods in northwestern Germany. *Vegetatio* 88, 21–29.

Tratamientos selvícolas orientados a la gestión sostenible en áreas con tendencia a la despoblación: hayedo de Busmayor (León)

Díaz-Maroto, Ignacio J.

Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Terra s/n, 27002 Lugo, España
ignacio.diaz-maroto@usc.es

Resumen. El noroeste de la Península Ibérica constituye uno de los límites occidentales del área de distribución natural de *Fagus sylvatica* L. en Europa. En esta región, la especie forma masas puras de reducida extensión, aunque también aparece en otros ecosistemas forestales, especialmente en los robledales atlánticos caducifolios, como especie acompañante. El hayedo de Busmayor está ubicado en la vertiente leonesa de la Sierra de Ancares, en una zona de elevadas pendientes, con una clara exposición de umbría y suelos muy pobres. La aldea de Busmayor pertenece al ayuntamiento de Barjas (León); la predisposición al despoblamiento y el abandono de las actividades agropecuarias que se produjo de manera continuada desde los años cuarenta del siglo pasado, propició la invasión por especies arbustivas, subarbustivas y herbáceas, de amplias zonas de cultivos. Desde una perspectiva biogeográfica, el territorio se encuentra en la provincia Orocantábrica, sector Laciano-Ancarense y subsector Naviano-Ancarense. Los hayedos aquí presentes pertenecen a la asociación fitosociológica *Omphalodo nitidae-Fagetum sylvaticae*. El hayedo está formado por una masa principal y dos pequeños rodales aislados muy próximos, lo que condiciona las actuaciones selvícolas. Los objetivos fueron, la mejora y persistencia de las masas, así como el mantenimiento de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados, tratando de impedir que el hayedo sea dañado por los incendios periódicos que afectan al territorio. Para ello, se desbrozo una franja perimetral, poblada por diferentes especies de matorral, para favorecer la regeneración de especies pioneras, *Betula alba* L., *Sorbus aucuparia* L., *Ilex aquifolium* L., *Quercus* spp., así como el desarrollo de las plántulas de haya que crecen a la sombra de estas. Los tratamientos selvícolas están encaminados a favorecer la unión de los rodales con la masa principal, a ser posible mediante regeneración natural y, si fuese necesario, mediante repoblación artificial con material genético del propio hayedo. Es fundamental involucrar a la población en cualquier plan de gestión que se lleve a cabo, porque, sin su colaboración, la recuperación y conservación de este u otros hayedos de la zona sería inviable. Quizás, la declaración del espacio con una figura de protección adecuada contribuiría al desarrollo sostenible.

Palabras clave: *Fagus sylvatica* L., persistencia de la masa, biodiversidad, regeneración natural, figura de protección.

Resumo. O noroeste da Península Ibérica constitui um dos limites ocidentais da área de distribuição natural de *Fagus sylvatica* L. na Europa. Nesta região, a espécie forma pequenos povoamentos puros, embora também ocorra noutros ecossistemas florestais, especialmente em florestas decíduas de carvalhos atlânticos, como espécie acompanhante. O bosque de faias de Busmayor situa-se no lado leonês da Serra de Ancares, numa zona de declives acentuados, com clara exposição à sombra e solos muito pobres. A aldeia de Busmayor pertence ao município de Barjas (León); a predisposição para o despovoamento e o abandono das atividades agrícolas, que ocorreram continuamente a partir da década de 1940, levaram à invasão de grandes áreas de terras cultivadas por espécies arbustivas, subarbustivas e herbáceas. Do ponto de vista biogeográfico, o território situa-se na província Orocantábrica, concretamente no sector Laciano-Ancarense e no subsector Naviano-Ancarense. Os bosques de faias aqui presentes pertencem à associação fitossociológica *Omphalodo nitidae-Fagetum sylvaticae*. O bosque de faias é composto por um povoamento principal e por dois pequenos povoamentos isolados, localizados muito próximos un do outro, o que influencia as práticas silvícolas. Os objectivos eram a melhoria e a persistência dos povoamentos, bem como a manutenção da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas associados, procurando evitar que a floresta de faias fosse danificada pelos incêndios periódicos que afectam o território. Para tal, uma faixa perimetral, povoada por diversas espécies arbustivas, foi desmatada para promover a regeneração de espécies pioneiras como *Betula alba* L., *Sorbus aucuparia* L., *Ilex aquifolium* L. e *Quercus* spp., para além do desenvolvimento de plântulas de faia que crescem à sua sombra. Os tratamentos silvícolas visam promover a integração dos povoamentos isolados com o bosque principal, idealmente através da regeneração natural e, se necessário, através da reflorestação artificial utilizando material genético do bosque de faias existente. É fundamental envolver a população local em qualquer plano de gestão implementado, pois sem a sua colaboração, a recuperação e a conservação desta ou de outras florestas de faias na área seriam impossíveis. Talvez a atribuição de um estatuto de protecção adequado à área contribua para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: *Fagus sylvatica* L., persistência da floresta, biodiversidade, regeneração natural, estatuto de proteção.

Abstract. The northwest of the Iberian Peninsula constitutes one of the western limits of the natural distribution area of *Fagus sylvatica* L. in Europe. In this region, the species forms small pure stands, although it also appears in other forest ecosystems, especially in Atlantic deciduous oak forests, as an accompanying species. The Busmayor beech forest is

located on the Leonese side of the Ancares Mountain Range, in an area of steep slopes, with a distinct north-facing exposure and very poor soils. The village of Busmayor belongs to the municipality of Barjas (León); the predisposition to depopulation and the abandonment of agricultural activities that occurred continuously from the 1940s onwards led to the invasion of large areas of cultivated land by shrub, subshrub, and herbaceous species. From a biogeographical perspective, the territory is in the Orocantabrian province, specifically in the Laciano-Ancarense sector and the Naviano-Ancarense subsector. The beech forests here belong to the *Omphalodo nitidae-Fagetum sylvaticae* phytosociological association. The beech forest consists of a main stand and two small, isolated stands located very close together, which influences silvicultural practices. The objectives were the improvement and persistence of the stands, as well as the maintenance of biodiversity and associated ecosystem services, trying to prevent the beech forest from being damaged by the periodic fires that affect the territory. To this end, a perimeter strip, populated by various shrub species, was cleared to promote the regeneration of pioneer species such as *Betula alba* L., *Sorbus aucuparia* L., *Ilex aquifolium* L., and *Quercus* spp., as well as the development of beech seedlings growing in their shade. Silvicultural treatments are aimed at promoting the integration of stands with the main forest, ideally through natural regeneration and, if necessary, through artificial reforestation using genetic material from the existing beech forest. It is essential to involve the local population in any management plan implemented, because without their collaboration, the recovery and conservation of this or other beech forests in the area would be impossible. Perhaps designating the area with an appropriate protection status would contribute to sustainable development.

Keywords: *Fagus sylvatica* L., stand persistence, biodiversity, natural regeneration, protection status.

1 Introducción: estado de la cuestión

La superficie ocupada por hayedos (*Fagus sylvatica* L.) en España, según los datos del IFN4, se sitúa en torno a las 388.000 ha. Esta estimación integra tanto las masas monoespecíficas como aquellas formaciones mixtas en las que el haya es especie dominante. La distribución actual de los hayedos está muy relacionada con la orografía y la presión humana, resultando relativamente continua en la Cordillera Cantábrica, fragmentada en grandes bloques en el Pirineo y dispersa en numerosas manchas en la Cordillera Ibérica (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979). El haya alcanza en el noroeste peninsular uno de sus límites occidentales de distribución conformando masas puras de reducida extensión, así como formando parte de otros tipos de bosque como especie acompañante (Negral *et al*., 1997).

Busmayor se localiza en la provincia Orocantábrica, sector Laciano-Ancarense y subsector Naviano-Ancarense. Estos hayedos pertenecen a la asociación *Omphalodo nitidae-Fagetum sylvaticae* (Rivas Martínez, 1987). La vegetación presente puede considerarse como relicto de los bosques orocantábricos propios de las montañas leonesas. Este enclave destaca por su elevada riqueza florística y faunística, así como por constituir, debido a su extensión, el mayor hayedo de la comarca del Bierzo. En consecuencia, estas características justifican la necesidad de establecer una figura de protección específica y de implementar un plan de ordenación de recursos (Crecente *et al*., 1997).

Mediante las actuaciones selvícolas orientadas a la gestión sostenible: trabajos que favorezcan la unión de los rodales, recuperación del paisaje cultural, así como la protección contra los incendios, no se pretende lograr un beneficio económico (Negral *et al*., 1997). Algo que, por otro lado, sería muy incierto y discutible, debido al estado actual del hayedo, ya que existen zonas con un escaso desarrollo de los pies y densidades muy bajas (Crecente *et al*., 1997). El principal beneficio sería su conservación como patrimonio cultural y medioambiental, así como reserva de material genético que podría utilizarse para recuperar otras zonas degradadas de estaciones similares, junto a los beneficios inherentes de persistencia de la cubierta arbórea (Gandullo *et al*., 2004). Asumiendo, que cualquier plan de gestión, dado el entorno socioeconómico, no fuese en perjuicio de los habitantes locales, que son, en definitiva, los que van a condicionar el éxito o fracaso de este (Villar *et al*. 1999).

Los objetivos del estudio fueron, la mejora y persistencia de la masa, el mantenimiento de su biodiversidad e impedir que sea afectada por incendios. Para ello, los tratamientos selvícolas persiguen propiciar la unión de los rodales, a ser posible, de forma natural y, en caso necesario, con repoblación artificial mediante material genético propio.

2 Área de estudio

El área de estudio está localizada en la vertiente este de la Sierra de Ancares. Busmayor pertenece al ayuntamiento de Barjas (León), zona eminentemente agrícola-ganadera, en la que la organización socioeconómica se basaba en la labor intensa de los pastos y las tierras de cultivo, en las zonas más fértiles y menos escarpadas, partes bajas de las laderas y, sobre todo, en aquellas franqueadas por cauces de agua. En la Fig. 1, se muestra la localización biogeográfica de las Sierras de Ancares y O Courel (Lugo), así como la ubicación de las masas de *Fagus sylvatica* más importantes (Rodríguez Guitián *et al*., 2009).

Desde el punto de vista geológico, el territorio está ubicado dentro de la zona Paleogeográfica III (Galicia Oriental). Las rocas son muy ácidas y con escaso contenido en nutrientes, por lo que dan lugar a suelos oligotróficos y ácidos, de tipo Litosol, Regosol y Cambisol (Gandullo *et al*., 2004).

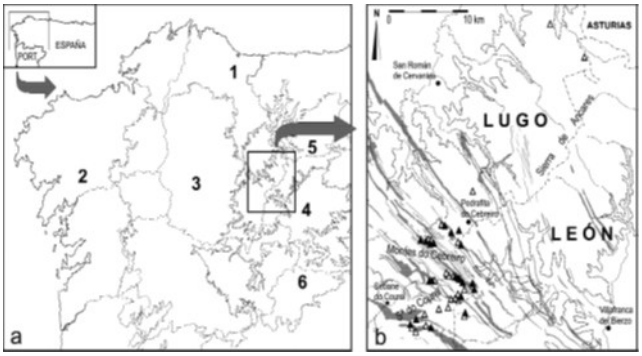


Fig. 1. a) Localización del área de estudio; b) Localización de las masas de haya (Rodríguez Guitián *et al*., 2009).

Las precipitaciones son abundantes, 2000 mm/año, con un notorio descenso de las precipitaciones nivales y ausencia de un período de sequía definido. La actuación antrópica –construcción de bancales, aplicación de estiércol en áreas concretas de los prados y realización de quemas controladas en la solana– actúa como un factor determinante en la dinámica de la vegetación y en el incremento de los procesos erosivos (Silva-Pando *et al*., 1992). En las umbrías existe mayor presencia de las formaciones arbóreas, destacando los rodales de haya. Estos terrenos han sido utilizados para la agricultura y el pastoreo. En contraste, las orientaciones de solana han sido sometidas a quemas periódicas para favorecer el rebrote para el ganado. Como consecuencia, la vegetación actual está dominada por formaciones de matorral y especies arbóreas de carácter xerófilo, como *Quercus pyrenaica* Willd. (Fig. 2) (Díaz-Maroto *et al*., 2007).



Fig. 2. Rodales de *Fagus sylvatica* (Elaboración propia)

3 Resultados

3.1 Fisiografía y climatología: Vegetación potencial

Aunque no existe período de sequía, se observa una ligera disminución del crecimiento vegetativo en aquellas situaciones más desfavorables en términos de escorrentía y retención hídrica del suelo. No obstante, la escasa calidad del suelo, junto con las restricciones climáticas –especialmente la incidencia de vientos intensos y episodios de nevadas–, forma un conjunto de factores limitantes para el desarrollo de los brinzales. La vegetación potencial se corresponde con las series: i) Serie montana orocantábrica acidófila del abedul (*Luzulo henriquesii-Betuletum celtibericae*); ii) Serie montana orocantábrica acidófila del rebollo (*Linario triornithophorae-Quercetum pyrenaicae*) (Díaz-Maroto *et al*., 2007; Rodríguez Guitián *et al*., 2009).

3.2 Estado socioeconómico

La necesidad de autoabastecimiento, derivada de la práctica ausencia de infraestructuras que posibilitaran el suministro mediante intercambio comercial, determinó la adopción de estrategias productivas orientadas al autoconsumo. En este contexto, la diversificación de los cultivos se convirtió en un requisito para garantizar la estabilidad alimentaria, así como reducir la vulnerabilidad frente a contingencias climáticas o productivas. Esta diversificación implicó una intensa parcelación del territorio, en la medida en que las diferentes especies y aprovechamientos requerían espacios específicos y una gestión diferenciada. Como consecuencia, se configuró una estructura de propiedad caracterizada por el minifundio, con explotaciones de reducida extensión, fragmentadas y dispersas, que determinaron tanto la organización de las labores agrarias como las dinámicas económicas y sociales del medio rural (Díaz-Maroto *et al*., 2007).

Busmayor, situado en el término municipal de Barjas (León), presentaba una organización económica basada en la explotación de las tierras más fértiles, localizadas en las zonas bajas de las laderas, especialmente en aquellas surcadas por ríos o arroyos. Desde la década de 1940 hasta la actualidad, se observa una tendencia sostenida a la despoblación, atribuible tanto al descenso de la natalidad como a los procesos migratorios, motivados por las limitadas expectativas de desarrollo socioeconómico.

4 Discusión

El abundante régimen de precipitaciones, caracterizado por una distribución regular a lo largo del año, y la ausencia de un período de sequía estacional, constituyen factores climáticos muy favorables para el desarrollo de la vegetación. A estas condiciones se suma la existencia de un período vegetativo de cerca de seis meses, durante el cual las temperaturas y la disponibilidad hídrica resultan adecuadas para la actividad fisiológica de las plantas. Estos aspectos configuran un entorno que no impone limitaciones al crecimiento y desarrollo de la vegetación, permitiendo una continuidad en los procesos biológicos y una elevada productividad (Crecente *et al*., 1997; Negral *et al*., 1997).

La compleja orografía, caracterizada por la presencia de relieves abruptos y una red hidrográfica densa, dificultaba notablemente los desplazamientos y las comunicaciones. En este contexto, las limitaciones impuestas por el medio físico condicionaban las estrategias de asentamiento, de modo que la población tendía a establecerse en las proximidades de las tierras de cultivo y de los recursos básicos. Esta localización permitía optimizar el acceso a los medios de subsistencia y facilitar el autoabastecimiento. Como consecuencia directa de esta adaptación al medio, se configuró un patrón de poblamiento muy disperso, con numerosos asentamientos de

reducido tamaño distribuidos de forma fragmentada en el territorio (Silva-Pando *et al*., 1992).

La evolución demográfica del municipio sigue el patrón de otras áreas de montaña: desde la década de 1940 presenta una tendencia sostenida a la despoblación, causada por la disminución de la natalidad y la emigración derivada de las escasas oportunidades socioeconómicas. De mantenerse esta dinámica, es previsible que en las próximas décadas se produzca un acusado descenso poblacional, debido al envejecimiento demográfico, lo que condicionará los usos futuros del territorio (Villar *et al*., 1999).

Los impactos más recurrentes en la zona han sido y son los incendios forestales, que afectan con mayor frecuencia a las laderas de solana y favorecen el establecimiento de comunidades de matorral paraclimácicas (Del Río y Penas, 2006). Estos incendios suelen ser de origen antrópico, con el objetivo de estimular el rebrote del matorral y del pasto para su aprovechamiento ganadero. Las medidas preventivas se basaron en impedir que el fuego llegase a los rodales de haya, considerando las infraestructuras de protección (cortafuegos) existentes, las características fisiográficas, así como los caracteres culturales de las especies. Teniendo en cuenta que en la zona de cumbres hay un cortafuegos que se extiende por la ladera donde se ubica el hayedo hasta el valle creando un cinturón de protección en su entorno, no fue preciso realizar ningún otro. Si fue necesario y muy conveniente, desbrozar una franja perimetral en cada rodal que cumpliese la doble función de favorecer la regeneración natural y evitar los incendios.

Teniendo presente la afluencia turística, cada vez mayor, y la importancia ecológico-paisajística de estos ecosistemas, los desbroces fueron poco agresivos desde el punto de vista estético y visual. Estas actuaciones en las zonas de matorral del perímetro exterior de los rodales han originado un innegable grado de evolución, siendo ocupadas por plántulas de haya y otras especies colonizadoras, que se han asentado entre el matorral: *Betula alba* L., *Sorbus aucuparia* L., *Ilex aquifolium* L. y *Quercus* spp. (Wagner *et al*., 2010).

5 Conclusiones

El noroeste ibérico constituye el límite occidental del área de distribución del haya en Europa. Aquí, los hayedos están localizados en zonas muy escarpadas con exposiciones de umbría. El hayedo de Busmayor, ubicado en la vertiente este de la Sierra de Ancares, no es una excepción y ocupa zonas no aptas para la agricultura. El abandono de las actividades agropecuarias motivado por el elevado despoblamiento ha propiciado la invasión por especies arbustivas de amplias superficies dedicadas tradicionalmente a cultivos y pastos. El hecho de que el hayedo esté formado por una masa principal y dos pequeños rodales aislados condiciona las actuaciones selvícolas. Por ello, los tratamientos selvícolas planteados están encaminados a favorecer la unión de los rodales, a ser posible de forma natural y, si fuese necesario, mediante repoblación artificial, con material genético del área de estudio. La reducción del matorral favorecerá la presencia de pies de otras especies colonizadoras, así como el desarrollo de las plántulas de haya que se desarrollen a la sombra de estas. Resulta fundamental involucrar a la población local en cualquier plan de gestión que se lleve a cabo, ya que, sin su colaboración, la recuperación y conservación de este u otros hayedos de la zona sería inviable. Quizás, la dotación de una figura de protección para este territorio contribuiría eficazmente al desarrollo sostenible del mismo.

6 Referencias

Ceballos, L., & Ruiz de la Torre, J. (1979). *Árboles y arbustos de la España Peninsular*. Fundación Conde del Valle de Salazar.

Crecente, R., Díaz-Maroto, I. J., & Álvarez, C. (1997). Estudio del hayedo de Busmayor. Inventario y Planificación de usos. [Documento inédito]. Universidad de Santiago de Compostela.

Del Río, S., & Penas, A. (2006). Potential areas of evergreen forests in Castile and Leon (Spain) according to future climate change. *Phytocoenologia* 36(1), 45–66. https://doi.org/10.1127/0340-269X/2006/0036-0045

Díaz-Maroto, I. J., Vila-Lameiro, P., Guchu, E., & Díaz-Maroto, M. C. (2007). A comparison of the autoecology of *Quercus robur* L. and *Q. pyrenaica* Willd.: present habitat in Galicia, NW Spain. *Forestry* 80, 223–239.

Gandullo, J. M., Blanco, A., Sánchez O., Rubio, A., Elena, R., & Gómez, V. (2004). *Las estaciones ecológicas de los hayedos españoles*. Monografías INIA, Serie Forestal.

Negral, M. A., Rodríguez, M. A., Díaz-Maroto I. J., & Romero, R. (1997). Distribución y caracterización ecológica y dasométrica del haya (*Fagus sylvatica* L.) en Galicia. En F. Puertas & M. Rivas (Eds.), *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso/II Congreso Forestal Español-IRATI 97*, Tomo IV (pp. 423–428). Gráficas Pamplona.

Rivas Martínez, S., (1987). *Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España, 1: 400.000*. ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Rodríguez Guitián, M. A., Amigo, J., Real, C., & Romero, R. (2009). Revisión de la sintaxonomía de los hayedos del occidente de la Cordillera Cantábrica (Noroeste Ibérico) mediante análisis multivariante. *Lazaroa* 30, 191–218.

Silva-Pando, F. J., Díaz-Maroto, I. J., Prunell, M., & Alonso, M. (1992). Caracterización ecológica y estructural de los hayedos en Galicia (NO de la Península Ibérica). *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales: Fuera de Serie* 1, 2, 155–166.

Villar, L. (Coord.-Ed.), Aseginolaza, C., Gómez, D., Montserrat, G., Romo, A. M., & Uribe-Echebarría, P. (1999). *Los hayedos prepirenaicos aragoneses y su conservación*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.

Wagner, S., Collet, C., Madsen, P., Nakashizuka, T., Nyland, R. D., & Sagheb-Talebi, K. (2010). Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management* 259(11), 2172–2182. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029

Species Distribution Models capture delayed climate effects on tree defoliation across European forests

Hernández-Lambraño, Ricardo Enrique[1], González-Moreno, Pablo[1], Navarro-Cerillo, Rafael M[a1] y Sánchez-Agudo, José Ángel[2]

[1] Department of Forestry Engineering, Andalusian Institute for Earth System Research (IISTA), University of Cordoba, Campus de Rabanales, Crta. IV, km. 396, E-14071, Córdoba, Spain.
[2] Department of Botany and Plant Physiology, University of Salamanca, Campus Miguel de Unamuno, Licenciado Méndez Nieto s/n, Salamanca 37007, Spain.
enriquericardo.hl@gmail.com

Abstract. This study evaluates whether temporal variation in climatic suitability derived from species distribution models (SDMs) contains ecologically meaningful information about population exposure to climate variability. Climatic suitability, interpreted as a proxy for climatic favourability based on species–climate relationships, was reconstructed as a time series and related to forest defoliation dynamics. The results show that prolonged periods of low suitability are associated with higher defoliation levels, with contrasting patterns between biogeographic groups: stronger and short-lived responses in Eurosiberian species, and more persistent effects in Mediterranean species. These findings suggest that temporal dynamics of suitability capture signals consistent with ecological responses to climate variability.

Keywords: Species distribution models, climatic suitability, ecological memory, forest defoliation, climatic legacies.

Resumen. Este estudio evalúa si la variación temporal de la idoneidad climática derivada de modelos de distribución de especies (SDMs) contiene información ecológicamente relevante sobre la exposición de las poblaciones a la variabilidad climática. La idoneidad climática, entendida como un proxy de favorabilidad climática basado en relaciones especie–clima, se reconstruyó como una serie temporal y se relacionó con la defoliación forestal. Los resultados muestran que periodos prolongados de baja idoneidad se asocian con mayores niveles de defoliación, con diferencias entre grupos biogeográficos: respuestas más intensas y de corta duración en especies eurosiberianas, frente a efectos más persistentes en especies mediterráneas. Estos resultados sugieren que la dinámica temporal de la idoneidad captura señales consistentes con respuestas ecológicas a la variabilidad climática.

Palabras clave: Modelos de distribución de especies, memoria ecológica, idoneidad climática, defoliación forestal, legados climáticos.

Resumo. Este estudo avalia se a variação temporal da adequabilidade climática derivada de modelos de distribuição de espécies (SDMs) contém informação ecologicamente relevante sobre a exposição das populações à variabilidade climática. A adequabilidade climática, entendida como um proxy de favorabilidade climática baseado em relações espécie–clima, foi reconstruída como uma série temporal e relacionada com a desfolha florestal. Os resultados mostram que períodos prolongados de baixa adequabilidade estão associados a maiores níveis de desfolha, com diferenças entre grupos biogeográficos: respostas mais intensas e de curta duração em espécies eurosiberianas e efeitos mais persistentes em espécies mediterrânicas. Estes resultados sugerem que a dinâmica temporal da adequabilidade capta sinais consistentes com respostas ecológicas à variabilidade climática.

Palavras-chave: Modelos de distribuição de espécies, memória ecológica, adequabilidade climática, desfolha florestal, legados climáticos.

1 Introduction

Understanding how ecosystems respond to climate variability requires linking past environmental conditions with current biological responses (Turko & Rossi, 2022). While delayed and cumulative effects of climate—commonly referred to as climatic legacies—are increasingly recognized as key drivers of ecosystem dynamics (Anderegg et al., 2013; Kannenberg et al., 2020; Ogle et al., 2015), quantifying these effects remains challenging.

Species distribution models (SDMs) are widely used to characterize species' climatic niches and their spatial patterns (Soberón, 2007). From a biogeographical perspective, SDM-derived climatic suitability reflects the degree of correspondence between environmental conditions and species' inferred niches (Csergő et al., 2017; Pulliam, 2000). When projected through time, temporal variation in climatic suitability may capture changes in climatic favourability, potentially approximating population exposure to climate variability. However, whether these temporal dynamics

contain ecologically meaningful signals remains largely unexplored. In particular, it is unclear to what extent lagged variation in climatic suitability is associated with observed ecosystem responses.

European forests provide an ideal system to address this question, given widespread increases in climate-driven decline and mortality under intensifying drought and warming (Senf et al., 2020). Here, we evaluate whether temporal variation in SDM-derived climatic suitability is associated with forest defoliation dynamics, and whether the magnitude and persistence of these associations differ between Eurosiberian and Mediterranean species.

2 Materials and methods

2.1 Study area

The study was conducted across the Iberian Peninsula (Fig. 1), a biogeographic transition zone between Eurosiberian and Mediterranean domains characterized by strong climatic gradients and complex topography (Hernández-Lambraño et al., 2018). Ten forest tree species representing both groups were analysed, including temperate species sensitive to drought and Mediterranean taxa adapted to seasonal water deficits (San-Miguel-Ayanz et al., 2016).

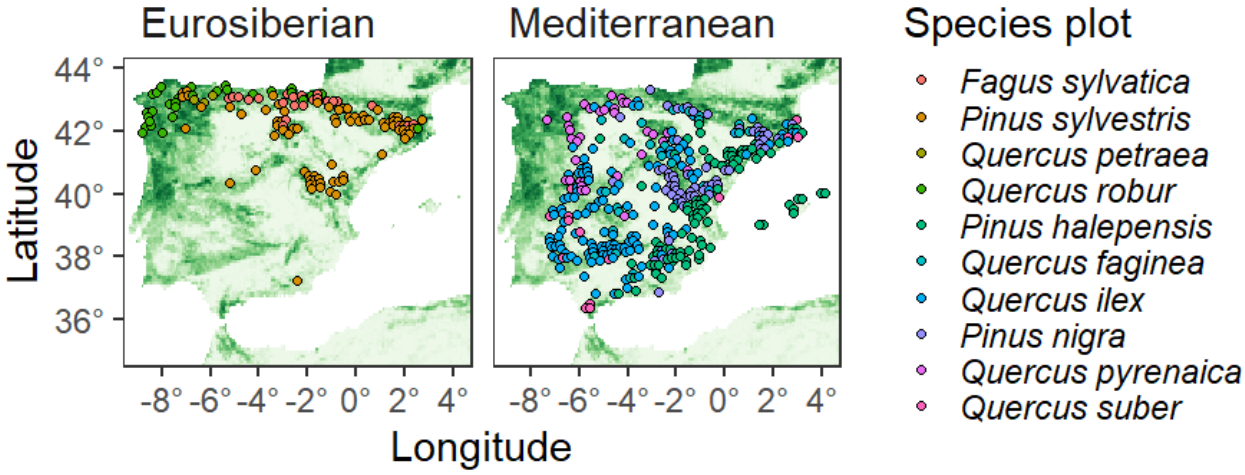


Fig. 1. Plots from the Spanish Forest Damage Monitoring Network (Level I) for the analysed species in the Iberian Peninsula.

2.2 Data

Species occurrence data were obtained from the EU-Forest dataset at 1 km resolution (Mauri et al., 2017) and spatially filtered using a minimum distance of 5 km to reduce spatial autocorrelation and match the resolution of the climatic predictors (Hernández-Lambraño et al., 2024).

Monthly temperature, precipitation, and potential evapotranspiration layers were downloaded from CHELSA v2.1 at 1 km resolution (Karger et al., 2017), and aggregated into annual growing-season (April–September) means for the period 1987–2019 (Körner et al., 2023).

Tree defoliation data (1987–2019) were obtained from the Spanish Forest Damage Monitoring Network (Level I; Fig. 1).

2.3 Climatic suitability modelling

Climatic suitability was estimated using MaxEnt (Phillips et al., 2017). Models were calibrated using a fixed parameterization (LQP features, regularization = 1) to ensure comparability across projections (Merow et al., 2013). Suitability was projected annually under year-specific climatic conditions while maintaining constant occurrence data, allowing temporal variation to reflect interannual climate variability (Perez-Navarro et al., 2021). Model performance was evaluated using repeated cross-validation (AUC; ΔAUC), and final outputs were expressed using the cloglog transformation.

2.4 Ecological memory analysis

Climatic legacy effects were quantified using Stochastic Antecedent Models within a Bayesian framework (Itter et al., 2019), relating annual defoliation to lagged climatic suitability (0–5 years). This approach allowed estimation of the magnitude and persistence of lagged climatic effects across species.

3 Results

3.1 Geographic patterns of climatic suitability

Mean AUC values varied among species, ranging from 0.66 (*Quercus robur*) and 0.68 (*Pinus sylvestris*) to values above 0.80 in *Q. faginea*. Intermediate performance was observed for most taxa (0.69–0.78), with low standard deviations across cross-validation replicates, indicating stable model performance across runs. Eurosiberian species were primarily driven by evapotranspiration or temperature, with stable and well-defined response curves, whereas Mediterranean species exhibited more heterogeneous variable contributions and higher interannual variability. Spatial projections

revealed a clear biogeographic segregation, with minimal overlap between both groups.

3.2 Temporal dynamics of defoliation and climatic suitability

Ecological memory models revealed a predominantly negative association between lagged climatic suitability and defoliation (Fig. 2). This relationship was stronger and more consistent in Eurosiberian species, except for *Pinus sylvestris*, which showed a weak and non-significant response. Mediterranean species displayed more heterogeneous responses, with generally weaker effects and non-significant relationships in some cases (e.g., *Q. ilex*).

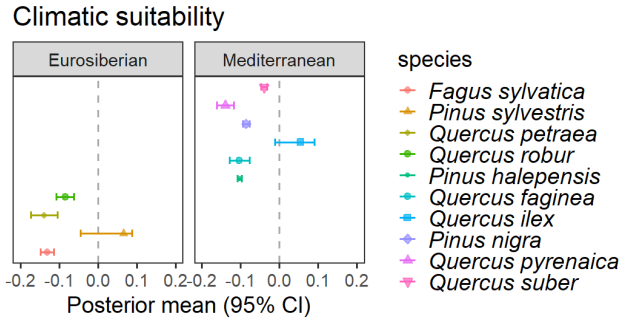


Fig. 2. Posterior mean coefficients and 95% credible intervals describing the relationship between annual defoliation and SDM-derived climatic suitability.

Temporal weight distributions differed markedly between groups (Fig. 3). Most Eurosiberian species exhibited short-term responses concentrated within the first 0–3 years, whereas Mediterranean species showed more persistent effects extending up to 3–5 years, indicating longer-lasting climatic legacies.

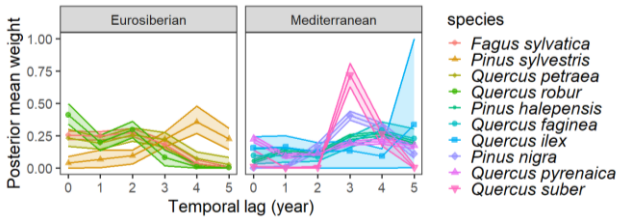


Fig. 3. Posterior mean antecedent weights (w) across temporal lags (0–5 years), quantifying the strength and persistence of climatic legacies as expressed through ecological memory.

4 Discussion

SDM outputs were consistent with known climatic gradients structuring European forests (Svenning & Skov, 2004), and variable contributions and response curves reflected well-established ecological strategies. Eurosiberian species showed strong dependence on evapotranspiration and temperature, consistent with their sensitivity to drought (Leuschner & Ellenberg, 2017), whereas Mediterranean species exhibited greater heterogeneity and variability, reflecting adaptation to seasonal climates (Hidalgo-Triana et al., 2023). Spatial projections revealed clear biogeographic segregation and highlighted ecotonal areas as potential zones of increased vulnerability (Allen et al., 2010).

Ecological memory analyses indicated that past low climatic suitability is associated with higher defoliation, supporting links between temporal niche constraints and species responses to abiotic stress (Csergő et al., 2017). Eurosiberian species exhibited short but intense memory effects, whereas Mediterranean species showed more persistent delayed responses, consistent with contrasting adaptive strategies (Jump et al., 2009; Kannenberg et al., 2019). Not all species conformed to this general pattern, with *P. sylvestris* and *Q. ilex* showing weak or non-significant relationships, potentially reflecting stronger physiological buffering or a reduced coupling between climatic suitability and canopy condition in these taxa.

Despite methodological limitations (e.g., temporal stationarity, projection artefacts), the coherence of these patterns supports the robustness of this framework to link climatic variability, niche structure, and forest vulnerability.

5 Conclusions

This study shows that SDM-derived climatic suitability can be used as a temporally explicit proxy for climatic favourability to analyse forest defoliation through ecological memory frameworks. Contrasting patterns between Eurosiberian and Mediterranean species reveal divergent biogeographic strategies, with short-term responses in the former and more persistent legacy effects in the latter. These results demonstrate that temporal trajectories of suitability, rather than instantaneous values, are key to understanding forest condition dynamics. By linking spatial niche metrics with temporal processes, this approach extends the utility of SDMs beyond traditional applications and provides a robust framework to assess forest vulnerability under climate change.

6 References

Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.-H., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, *259*(4), 660-684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001

Anderegg, W. R. L., Plavcová, L., Anderegg, L. D. L., Hacke, U. G., Berry, J. A., & Field, C. B. (2013). Drought's legacy: Multiyear hydraulic deterioration underlies widespread aspen forest die-off and portends increased future risk. *Global Change Biology*, *19*(4), 1188-1196. https://doi.org/10.1111/gcb.12100

Csergő, A. M., Salguero-Gómez, R., Broennimann, O., Coutts, S. R., Guisan, A., Angert, A. L., Welk, E., Stott, I., Enquist, B. J., McGill, B., Svenning, J.-C., Violle, C., & Buckley, Y. M. (2017). Less favourable climates constrain demographic strategies in plants. *Ecology Letters*, *20*(8), 969-980. https://doi.org/10.1111/ele.12794

Hernández-Lambraño, R. E., González-Moreno, P., & Sánchez-Agudo, J. Á. (2018). Environmental factors associated with the spatial distribution of invasive plant pathogens in the Iberian Peninsula: The case of Phytophthora cinnamomi Rands. *Forest Ecology and Management*, *419-420*, 101-109. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.026

Hernández-Lambraño, R. E., Parra, J. L., Román, J. F. C., & Sánchez-Agudo, J. Á. (2024). Less suitable climatic conditions and pests increase tree defoliation in Spanish Iberian Peninsula forests. *Forest Ecology and Management*, *566*, 122048. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122048

Hidalgo-Triana, N., Solakis, A., Casimiro-Soriguer, F., Choe, H., Navarro, T., Pérez-Latorre, A. V., & Thorne, J. H. (2023). The high climate vulnerability of western Mediterranean forests. *Science of The Total Environment*, *895*, 164983. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164983

Itter, M. S., Vanhatalo, J., & Finley, A. O. (2019). EcoMem: An R package for quantifying ecological memory. *Environmental Modelling & Software*, *119*, 305-308. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.06.004

Jump, A. S., Mátyás, C., & Peñuelas, J. (2009). The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution*, *24*(12), 694-701. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.007

Kannenberg, S. A., Maxwell, J. T., Pederson, N., D'Orangeville, L., Ficklin, D. L., & Phillips, R. P. (2019). Drought legacies are dependent on water table depth, wood anatomy and drought timing across the eastern US. *Ecology Letters*, *22*(1), 119-127. https://doi.org/10.1111/ele.13173

Kannenberg, S. A., Schwalm, C. R., & Anderegg, W. R. L. (2020). Ghosts of the past: How drought legacy effects shape forest functioning and carbon cycling. *Ecology Letters*, *23*(5), 891-901. https://doi.org/10.1111/ele.13485

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*(1), 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

Körner, C., Möhl, P., & Hiltbrunner, E. (2023). Four ways to define the growing season. *Ecology Letters*, *26*(8), 1277-1292. https://doi.org/10.1111/ele.14260

Leuschner, C., & Ellenberg, H. (2017). Environmental and Historical Influences on the Vegetation of Central Europe. En C. Leuschner & H. Ellenberg (Eds.), *Ecology of Central European Forests: Vegetation Ecology of Central Europe, Volume I* (pp. 3-21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-43042-3_1

Mauri, A., Strona, G., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Scientific Data*, *4*(1), 160123. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.123

Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36*(10), 1058-1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

Ogle, K., Barber, J. J., Barron-Gafford, G. A., Bentley, L. P., Young, J. M., Huxman, T. E., Loik, M. E., & Tissue, D. T. (2015). Quantifying ecological memory in plant and ecosystem processes. *Ecology Letters*, *18*(3), 221-235. https://doi.org/10.1111/ele.12399

Perez-Navarro, M. A., Broennimann, O., Esteve, M. A., Moya-Perez, J. M., Carreño, M. F., Guisan, A., & Lloret, F. (2021). Temporal variability is key to modelling the climatic niche. *Diversity and Distributions*, *27*(3), 473-484. https://doi.org/10.1111/ddi.13207

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, *40*(7), 887-893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Pulliam, H. r. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, *3*(4), 349-361. https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00143.x

San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., & Mauri, A. (Eds.). (2016). *European Atlas of Forest Tree Species*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2788/038466

Senf, C., Buras, A., Zang, C. S., Rammig, A., & Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, *11*(1), 6200. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1

Soberón, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, *10*(12), 1115-1123. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x

Svenning, J.-C., & Skov, F. (2004). Limited filling of the potential range in European tree species. *Ecology Letters*, *7*(7), 565-573. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00614.x

Turko, A. J., & Rossi, G. S. (2022). Habitat choice promotes and constrains phenotypic plasticity. *Biology Letters*, *18*(1), 20210468. https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0468

Convergencia sucesional de la vegetación forestal tras tres décadas de evolución post-incendio en el Macizo de Cadiretes

Moreno de las Heras, Mariano[1], García-Braga, Eduardo[1], Barriocanal, Carles[1], Alfaro-Zepeda, Sebastián[1], Farguell, Joaquim[1] y Úbeda, Xavier[1]

[1] Grup de Recerca Ambiental Mediterrània (GRAM), Departamento de Geografía, Universitat de Barcelona, Carrer de Montalegre, 6, 08001, Barcelona, España.
mariano.moreno@ub.edu

Resumen. En el actual escenario de cambio climático y abandono de usos del suelo, los ecosistemas forestales mediterráneos se enfrentan a regímenes de fuego cada vez más complejos, en los que la intensidad y frecuencia del fuego actúan como factores clave en la reorganización del paisaje y de los patrones sucesionales. Este estudio analiza la recuperación de la vegetación en un área forestal de *Pinus pinaster* de aproximadamente 42 ha en el Macizo de Cadiretes (Girona, NE de España) a lo largo de tres décadas (1994-2022), tras un incendio forestal. El objetivo fue evaluar si la severidad del incendio determina la estructura futura de la comunidad o si, por el contrario, el sistema muestra suficiente resiliencia como para converger hacia un estado homogéneo. Se compararon parcelas bajo tres escenarios: alta severidad, baja severidad y un control no quemado que pasó de gestión forestal activa al abandono tras el incendio. Mediante técnicas de ordenación multivariante y análisis de diversidad taxonómica y recambio de especies, basados en inventarios florísticos repetidos entre 1995 y 2022 en transectos, se observó que inicialmente las zonas quemadas presentaban composiciones de matorral diferenciadas entre sí y respecto al control. Sin embargo, tras 28 años, la composición florística tiende a homogenizarse independientemente de la intensidad de la perturbación inicial. Aunque en las primeras fases post-incendio las tasas de recambio fueron más elevadas, reflejando una dinámica más activa, con el tiempo la riqueza y la equitatividad se estabilizaron. Asimismo, se detecta un incremento generalizado de la cobertura arbustiva y arbórea en todos los escenarios, indicando un avance progresivo hacia estadios más maduros. El área control también experimentó cambios significativos, evolucionando hacia una mayor complejidad estructural como consecuencia del abandono de gestión, hasta presentar en la actualidad una configuración comparable a la de las zonas regeneradas tras el fuego. En conjunto, los resultados evidencian una alta resiliencia del ecosistema forestal estudiado. Aunque la severidad del incendio actúa como motor de cambio a corto plazo, a lo largo de tres décadas los procesos de sucesión natural y el abandono de la gestión conducen a la homogenización del paisaje hacia una comunidad madura.

Palabras clave: sucesión ecológica, resiliencia, incendios forestales, severidad del fuego, abandono forestal.

Resumo. No atual cenário de mudanças climáticas e abandono dos usos do solo, os ecossistemas florestais mediterrâneos enfrentam regimes de fogo cada vez mais complexos, nos quais a intensidade e a frequência do fogo atuam como fatores-chave na reorganização da paisagem e dos padrões sucessionais. Este estudo analisa a recuperação da vegetação em uma área florestal de *Pinus pinaster* de aproximadamente 42 ha no Maciço de Cadiretes (Girona, NE da Espanha) ao longo de três décadas (1994-2022), após um incêndio florestal. O objetivo foi avaliar se a severidade do incêndio determina a estrutura futura da comunidade ou se, pelo contrário, o sistema apresenta resiliência suficiente para convergir para um estado homogêneo. Para isso, foram comparadas parcelas sob três cenários: alta severidade, baixa severidade e um controle não queimado que passou de uma gestão florestal ativa ao abandono após o incêndio. Por meio de técnicas de ordenação multivariada e análise da diversidade taxonômica e do recambio de espécies, com base em inventários florísticos repetidos entre 1995 e 2022 em transectos, observou-se que, inicialmente, as áreas queimadas apresentavam composições de matagal diferenciadas entre si e em relação ao controle. No entanto, após 28 anos, a composição florística tende a se homogenizar independentemente da intensidade da perturbação inicial. Embora nas fases iniciais pós-incêndio as taxas de recambio tenham sido mais elevadas, refletindo uma dinâmica mais ativa, com o tempo a riqueza e a equitabilidade se estabilizaram. Além disso, observa-se um aumento generalizado da cobertura arbustiva e arbórea em todos os cenários, indicando um avanço progressivo para estágios mais maduros. A área de controle também apresentou mudanças significativas, evoluindo para uma maior complexidade estrutural como consequência do abandono da gestão. Em conjunto, os resultados evidenciam uma alta resiliência do ecossistema florestal estudado. Embora a severidade do incêndio atue como motor de mudança no curto prazo, ao longo de três décadas os processos de sucessão natural e o abandono da gestão conduzem à homogeneização da paisagem em direção a uma comunidade madura.

Palavras-chave: sucessão ecológica, resiliência, incêndios florestais, severidade do fogo, abandono florestal.

Abstract. In the current context of climate change and land-use abandonment, Mediterranean forest ecosystems are facing increasingly complex fire regimes, in which fire intensity and frequency act as key drivers of landscape reorganization and successional patterns. This study analyzes vegetation recovery in a *Pinus pinaster* forest area of approximately 42 ha in the Cadiretes Massif (Girona, NE Spain) over three decades (1994–2022) following a wildfire. The objective was to

assess whether fire severity determines the future structure of the community or whether the system shows sufficient resilience to converge towards a homogeneous state. To this end, plots were compared under three scenarios: high severity, low severity, and an unburned control that shifted from active forest management to abandonment after the fire. Using multivariate ordination techniques and analyses of taxonomic diversity and species turnover based on repeated floristic inventories (1995–2022) along transects, results showed that burned areas initially displayed distinct shrub compositions both among themselves and relative to the control. However, after 28 years, species composition tends to homogenize regardless of the initial disturbance intensity. Although early post-fire stages showed higher turnover rates, reflecting more dynamic conditions, species richness and evenness stabilized over time. In addition, a general increase in shrub and tree cover was observed across all scenarios, indicating a progressive shift towards more mature stages. The control area also experienced significant changes, evolving towards greater structural complexity due to management abandonment. Overall, the results indicate high resilience of the studied forest ecosystem. While fire severity acts as a short-term driver of change, over three decades natural succession and management abandonment lead to landscape homogenization towards a mature community.

Keywords: ecological succession, resilience, wildfires, fire severity, forest abandonment.

1 Introducción

En el actual contexto de cambio climático y abandono de la gestión rural, los ecosistemas mediterráneos experimentan una transición hacia regímenes de fuego de mayor severidad (Pausas y Keeley, 2009). Bajo condiciones extremas, los incendios, especialmente aquellos de alta intensidad o los que han actuado en áreas quemadas repetidamente, pueden superar los umbrales de resiliencia del sistema, desencadenando procesos de degradación persistente y sustituciones de comunidades forestales por matorrales degradados que dificulten una recuperación estructural a largo plazo (González de Vega et al., 2016). Evaluar estas trayectorias de cambios tras décadas de regeneración natural y sucesión ecológica es crítico para poder entender en qué situaciones los ecosistemas afectados han cruzado un punto de no retorno o mantienen su capacidad de recuperación.

El objetivo de este estudio es analizar la trayectoria de recuperación de la vegetación en el Macizo de Cadiretes durante tres décadas (1994-2022) tras un incendio forestal, bajo tres situaciones diferentes de evolución: alta severidad de incendio, baja severidad de incendio y un control no afectado por el fuego, con abandono de manejo forestal.

2 Materiales y métodos

El estudio se localiza en el Macizo de Cadiretes (Girona, NE de España; Fig. 1), en una zona de aproximadamente 42 ha afectada por un incendio forestal en julio de 1994, que quemó un total de 2.500 ha forestales. El área, originalmente una plantación de *Pinus pinaster* con presencia de *Quercus suber*, ardió bajo condiciones climáticas extremas (T > 37 °C, HR < 20%). El paisaje actual en las áreas no quemadas en el incendio de 1994 es fruto del abandono de la gestión forestal a principios del siglo XXI, lo que ha favorecido la densificación del sotobosque y la acumulación de biomasa.

Se establecieron tres zonas experimentales basadas en la severidad inicial del fuego (Úbeda et al., 2006; Francos et al., 2018): Alta Severidad, con combustión total de las copas de los árboles y presencia inicial en suelo de cenizas blancas; Baja Severidad, con supervivencia parcial de copas; y un Control no quemado. En el caso de baja severidad, una parte abundante de las acículas de los pinos no ardió y cayeron posteriormente al suelo, protegiéndolo de la erosión. En cada zona se instalaron tres transectos permanentes de 20 m, donde se registró la composición y frecuencia de especies vegetales y la cobertura por grupos funcionales (arboles, matorrales y herbáceas) cada 20 cm. La serie temporal abarca 28 años de regeneración natural con muestreos de primavera en 1995, 1996, 2004 y 2022.

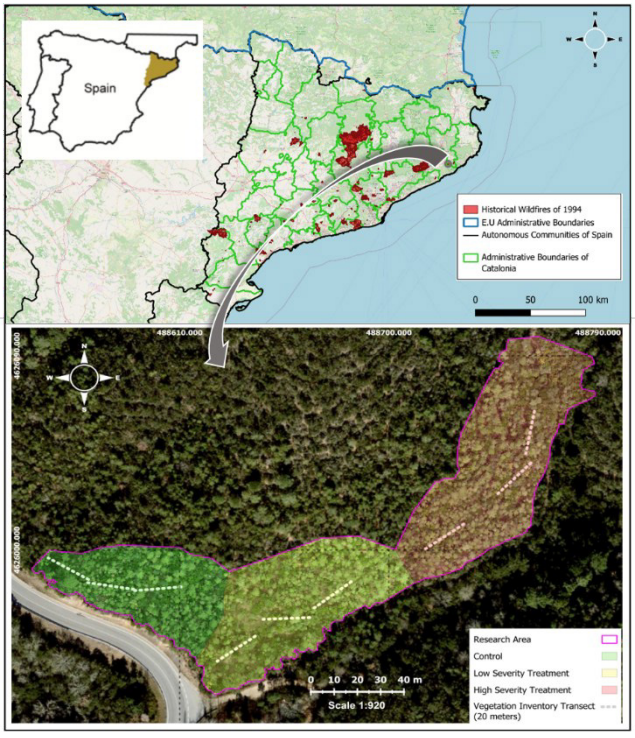


Fig. 1. Área de estudio y organización de transectos

Para explorar las trayectorias sucesionales, se emplearon técnicas de ordenación y clasificación multivariante mediante Escalamiento Multidimensional No Métrico (EMNM) y análisis Cluster basado en distancias Sorensen de la composición florística. Se calcularon índices de biodiversidad (Riqueza y Equitatividad); sus cambios, así como los cambios en abundancia de los grupos funcionales se analizaron mediante Modelos Lineales Mixtos y test *post-hoc* Tukey. Se incluyó la interacción entre año y severidad como

efectos fijos, y la parcela como factor aleatorio para controlar los efectos de medidas repetidas.

3 Resultados y discusión

3.1 Dinámica de la composición florística

El análisis de ordenación EMNM y clasificación Cluster (Fig. 2) revela una trayectoria de cambios sucesionales clara, con convergencia composicional a largo plazo. El Eje 1, que explica el 71% de la varianza, actúa como un gradiente temporal de maduración, mientras que el Eje 2 (16% de la varianza) captura la variabilidad asociada a la severidad inicial del incendio.

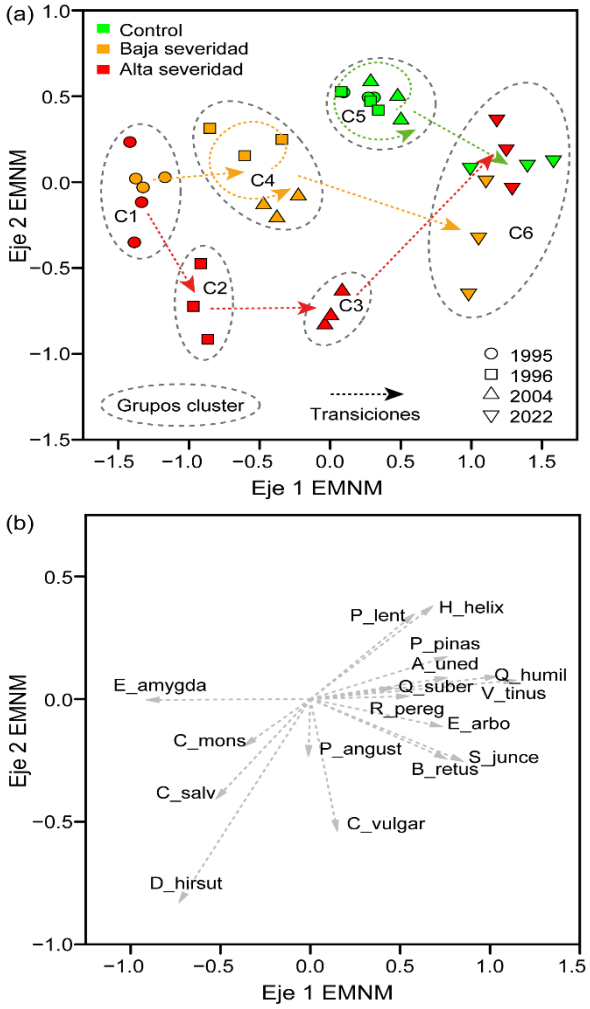


Fig. 2. Patrones multivariantes de evolución temporal de la composición florística: (a) proyección multivariante de casos (transectos), (b) proyección multivariante de especies. Notación de especies: A_uned: *Arbutus unedo*; B_retus: *Brachypodium retusum*; C_mons: *Cistus monspeliensis*; C_salv: *C. salviifolius*; C_vulgar: *Calluna vulgaris*; D_hirsut: *Dorycnium hirsutum*; E_amygda: *Euphorbia amygdaloides*; E_arbo: *Erica arborea*; P_angus: *Phillyrea angustifolia*; P_lent: *Pistacia lentiscus*; P_pinas: *Pinus pinaster*; R_pereg: *Rubia* peregrina; Q_humil: *Quercus humilis*; Q_suber: *Q. suber*; S_junce: *Spartium junceum*; V_tinus: *Viburnum tinus*.

En la fase inicial post-incendio (1995-1996), la composición florística de las áreas quemadas (comunidades clúster C1 y C2) se localizan en el cuadrante izquierdo del EMNM. Esta etapa está dominada por especies de matorral pioneras y herbáceas ruderales como *Cistus salviifolius* y *Cistus monspeliensis*, *Euphorbia amygdaloides* y *Dorycnium hirsutum*. En este periodo, los transectos de alta severidad (AS) muestran una dispersión vertical acusada, sugiriendo que la intensidad del fuego actuó como un filtro abiótico severo.

Tras una década (2004), las áreas afectadas por el fuego migran hacia el centro del espacio multivariante (comunidades clúster C3 y C4). Se observa la entrada de especies leñosas estructurales como *Pinus pinaster* y *Quercus suber*, mayor en los transectos de baja severidad (BS) de fuego que en AS. Los transectos de AS presentan aquí una composición florística aún muy distante de los transectos control (C), con presencia aún de matorrales propios de áreas abiertas (e.g., *Calluna vulgaris*).

A los 28 años (2022), todos los escenarios (AS, BS y C) convergen en un clúster (comunidad clúster C6) en el cuadrante derecho. La comunidad actual está dominada no solo por las especies leñosas estructurales citadas anteriormente, sino también por otras especies de matorral y forestal de estadios sucesionales avanzados como *Erica arborea*, *Viburnum tinus*, *Arbutus unedo* y *Quercus humilis*.

Es de destacar que los transectos C no mostraron cambios apreciables de composición florística hasta después de 2004 (transición entre las comunidades clúster C5 y C6), coincidiendo con el momento en el que se produjo el abandono de la gestión forestal activa en el área control.

3.2 Evolución temporal de la biodiversidad

La riqueza específica muestra respuestas diferenciadas para las áreas quemadas y el área control lo que sugiere un aumento del dinamismo de la biodiversidad tras la perturbación generada por el incendio (Tabla 1). Así, en el momento inmediato post-incendio, los niveles de riqueza de las áreas quemadas eran inferiores a los observados en el área control ($F_{2, 6} = 7{,}35$; $p < 0{,}05$). No obstante, se observó una recuperación notable con el tiempo ($F_{3, 18} = 26{,}36$; $p < 0{,}01$) en las áreas de baja y alta severidad, que pasaron de ~8 especies en 1995 a 12-14 en 2022, equiparándose estadísticamente a los niveles del área control.

La interacción Año×Severidad fue significativa ($F_{6, 18} = 9{,}90$; $p < 0{,}01$), indicando que mientras en los transectos de las áreas de baja y alta severidad se produjo un aumento progresivo de la riqueza específica en los primeros 10 años de evolución, para el área control los niveles de riqueza observados se mantuvieron sin cambios apreciables a lo largo de los 28 años de evolución (~13 especies).

La equitatividad presenta un patrón inverso en las áreas afectadas por el incendio de 1994 (Tabla 1). Así, las áreas quemadas, parten de un pico inicial de equitatividad (J aprox. 0,4 en 1995) superior significativamente ($F_{2, 6} = 20{,}16$; $p < 0{,}01$) al de las áreas control, lo que sugiere la formación de comunidades pioneras con menor competencia por el espacio en los espacios quemados. Sin embargo,

conforme avanza la sucesión, la equitatividad se reduce ($F_{3, 18} = 31.29$; $p < 0.01$) hasta J aprox. 0,3, similar al del área control. Este descenso responde a un aumento de la dominancia de algunas especies (principalmente *Pinus pinaster* y matorrales como *Erica arborea*) que tienden a capturar la mayor parte del espacio y los recursos, desplazando la estructura de las áreas quemadas hacia un estado de mayor jerarquía competitiva, similar al del área control.

Los niveles de equitatividad permanecen invariables en el tiempo en transectos del área control, lo que contrasta con la evolución dinámica de dominancias en las áreas quemadas (interacción Año×Severidad, $F_{6, 18} = 8.38$; $p < 0.01$).

Tabla 1. Media y desviación (entre paréntesis) de índices de biodiversidad y estructura de la vegetación

Área	Año	S Riqueza	J Equitatividad	Arboles (%)	Matorral (%)
Control (sin fuego)	1995	12,7 (1,5)	0,31 (0,01)	26 (4)	22 (3)
	1996	13,7 (0,6)	0,31 (0,01)	26 (5)	22 (4)
	2004	12,7 (0,6)	0,31 (0,01)	29 (5)	26 (5)
	2022	12,0 (1,0)	0,31 (0,01)	63 (18)	75 (10)
Baja Severidad	1995	8,7 (0,6)	0,38 (0,02)	3 (2)	23 (4)
	1996	10,7 (0,6)	0,33 (0,02)	16 (9)	28 (3)
	2004	14,3 (0,6)	0,30 (0,01)	17 (3)	46 (8)
	2022	14,0 (1,0)	0,34 (0,01)	32 (17)	73 (9)
Alta Severidad	1995	8,0 (1,7)	0,38 (0,01)	3 (3)	22 (6)
	1996	10,7 (1,2)	0,35 (0,02)	4 (1)	43 (12)
	2004	14,3 (0,6)	0,30 (0,01)	9 (1)	66 (6)
	2022	11,3 (1,2)	0,32 (0,02)	59 (12)	71 (6)

3.3 Dinámica estructural: formas de vida y recubrimiento

El dosel arbóreo (Tabla 1) mostró un fuerte incremento en el tiempo en todos los casos ($F_{3, 18} = 67,44$; $p < 0,01$), pero diferenciado y altamente dependiente de la situación inicial ($F_{2, 6} = 6,58$; $p < 0,01$). Las áreas quemadas parten de una situación inicial en 1995 casi desprovista de cobertura arbórea (~3% cubierta), en las que los incrementos durante los primeros 10 años fueron algo más lentos en la zona de alta que de baja severidad, pero ambos casos llegaron a amplios niveles de desarrollo pasados 28 años, al final del periodo estudiado (30-60% cubierta arbórea). Las posibles razones del ritmo aparentemente más lento de regeneración durante los primeros años en el área de alta severidad de incendio pueden deberse a mayores daños en la vegetación, que pudieron limitar el rebrote epicórmico y/o basal de especies clave presentes (e.g., *Q. suber* o *A. unedo*), o de la necesidad de superar el periodo de maduración juvenil (10-15 años) de las especies arbóreas semilleras.

En el caso de la parcela control, los niveles iniciales, de un mayor desarrollo del dosel forestal (~25%), permanecieron inalterables hasta el abandono del manejo forestal (en torno al año 2004), a partir de cuándo se produce una fuerte expansión hasta niveles de 60% de cubierta arbórea. Así, aunque el nivel de desarrollo del estrato arbóreo fue claramente mayor en el control que en las áreas quemadas durante los 10 primeros años de evolución ($F_{2, 6} = 18,44$; $p < 0,01$), estas diferencias tendieron a desaparecer pasados 28 años de evolución sucesional.

Respecto al matorral, se observó una respuesta de regeneración y expansión en el tiempo vigorosa ($F_{3,18} = 109,93$; $p < 0,01$). En todas las zonas, la cobertura arbustiva aumentó, pasando de valores cercanos al 25% en 1995 a un desarrollo de entre el 75% y el 85% en 2022 (Tabla 1).

Es relevante notar la interacción Año x Severidad ($F_{6, 18} = 7,79$; $p < 0,01$): el fuego en las áreas quemadas, especialmente con alta severidad de daños, parece haber actuado como un catalizador para la rápida colonización y expansión de matorrales pirófitos (e.g., inicialmente *Cistus spp.* y después *Erica arborea*). El área control también muestra una tendencia al alza en la cobertura de matorral, alcanzando niveles similares a las zonas quemadas al final del periodo de estudio, aunque este fuerte incremento solo se produce después de 2004 tras el abandono del manejo forestal activo.

4 Conclusiones

Tras tres décadas de observación, el ecosistema forestal analizado muestra una elevada resiliencia, donde la severidad de los daños provocados por el incendio de 1994 deja de ser un factor dominante en la composición florística y estructura de la vegetación. La convergencia hacia un estado maduro y homogéneo en todos los escenarios explorados (control, baja y alta severidad) evidencia que, una vez superado el impacto de la perturbación provocada por el incendio, y en ausencia de gestión forestal activa, la sucesión natural conduce a largo plazo al desarrollo de una complejidad estructural relativamente homogénea en el sistema.

5 Referencias

Francos, M., Úbeda, X., Pereira, P., Alcañiz, M. (2018). Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). The *Science of the Total Environment*, 615, 664–671. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.311

González de Vega, S., de las Heras, J., Moya, D. (2016). Resilience of Mediterranean terrestrial ecosystems and fire severity in semiarid areas: Responses of Aleppo pine forests in the short, mid and long term. *Science of The Total Environment*, 573, 1171-1177. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.115

Pausas, J. G., Keeley, J. E. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), 593–601. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10

Úbeda, X., Outeiro, R. L., Sala, M. (2006). Vegetation regrowth after a forest fires of varying intensity in a Mediterranean environment. *Land Degradation and Development*, 17, 429-440. https://doi 10.1002/ldr.748

Quema prescrita como herramienta para la disminución de combustible y sus efectos en la vegetación: el caso del macizo de Montgrí

Alfaro-Zepeda, Sebastián[1]; Martinovic, Tijana[2]; García-Braga, Eduardo[1]; Moreno de las Heras, Mariano[1]; Barriocanal, Carles[1]; Farguell, Joaquim[1] y Úbeda, Xavier[1]

[1] Departament de Geografia. Universitat de Barcelona, Montalegre, 6, 08001, Barcelona, España
[2] Laboratory of Environmental Microbiology, Institute of Microbiology of the Czech Academy of Science, Prague, Czechia.
salfarze7@doct.ub.edu

Resumen. Este estudio evalúa el impacto de las quemas prescritas en el macizo de Montgrí (Cataluña) sobre la evolución de la vegetación y las comunidades microbiológicas del suelo. Las quemas, ejecutadas por los bomberos GRAF para reducir el combustible en masas de *Pinus halepensis* y *Quercus coccifera*, se analizaron mediante transectos y análisis moleculares entre 2022 y 2025, comparando parcelas quemadas y control. Los resultados indican que el fuego reduce significativamente la riqueza vegetal en el primer año post-quema. El análisis de especies indicadoras reveló una segregación florística clara: el control mantiene especies como *Rosmarinus officinalis*, mientras que las áreas quemadas son colonizadas por especialistas como *Cistus salviifolius*. En el ámbito microbiológico, se observó una respuesta diferencial entre reinos. La comunidad fúngica mostró una alta sensibilidad, con cambios significativos en su composición (diversidad beta) influenciados por el fuego y la variabilidad interanual. Los hongos ectomicorrícicos disminuyeron tras el incendio, compensados parcialmente por el aumento de saprótrofos. En contraste, la comunidad bacteriana exhibió una notable resiliencia, manteniendo su riqueza, diversidad y estructura taxonómica estables. A nivel funcional, la estabilidad de la biomasa total (PLFA) y de las actividades enzimáticas (β -glucosidasa y fosfatasa ácida) sugiere que las quemas de baja intensidad no comprometen el metabolismo biogeoquímico del suelo. La variabilidad interanual, ligada a factores climáticos, tuvo un impacto mayor en el microbiota que la quema misma. En conclusión, la quema prescrita se valida como una estrategia de gestión sostenible y eficaz. Al fragmentar el combustible sin provocar degradación funcional ni pérdida de resiliencia en el ecosistema edáfico, se logra un equilibrio óptimo entre la seguridad forestal y la integridad ecológica de los bosques mediterráneos.

Palabras clave: Fuego prescrito, Ecosistemas pirofíticos, Dinámica sucesional, Ecología del fuego, Biomasa microbiana.

Resumo. Este estudo avalia o impacto das queimadas prescritas no maciço de Montgrí (Catalunha) sobre a evolução da vegetação e as comunidades microbiológicas do solo. As queimadas, executadas pelos bombeiros GRAF para reduzir o combustível em massas de *Pinus halepensis e Quercus coccifera,* foram analisadas através de transectos e análises moleculares entre 2022 e 2025, comparando parcelas queimadas e de controlo. Os resultados indicam que o fogo reduz significativamente a riqueza vegetal e a diversidade (Shannon) no primeiro e terceiro ano pós-queima. A análise de espécies indicadoras revelou uma segregação florística clara: o controlo mantém espécies como *Rosmarinus officinalis*, enquanto as áreas queimadas são colonizadas por especialistas como *Cistus salviifolius.* No âmbito microbiológico, observou-se uma resposta diferencial entre reinos. A comunidade fúngica mostrou uma elevada sensibilidade, com mudanças significativas na sua composição (diversidade beta) influenciadas pelo fogo e pela variabilidade interanual. Os fungos ectomicorrízicos diminuíram após o incêndio, compensados parcialmente pelo aumento de saprótrofos. Em contraste, a comunidade bacteriana exibiu uma resiliência notável, mantendo a sua riqueza, diversidade e estrutura taxonómica estáveis. Ao nível funcional, a estabilidade da biomassa total (PLFA) e das atividades enzimáticas (β-glucosidase e fosfatase ácida) sugere que as queimadas de baixa intensidade não comprometem o metabolismo biogeoquímico do solo. A variabilidade interanual, ligada a fatores climáticos, teve um impacto maior na microbiota do que a própria queimada. Em conclusão, a queimada prescrita valida-se como uma estratégia de gestão sustentável e eficaz. Ao fragmentar o combustível sem provocar degradação funcional nem perda de resiliência no ecossistema edáfico, alcança-se um equilíbrio ideal entre a segurança florestal e a integridade ecológica das florestas mediterrânicas.

Palavras-chave: Fogo prescrito, Ecossistemas proféticos, Dinâmica sucessional, Ecologia do fogo, Biomassa microbiana.

Abstract. This study evaluates the impact of prescribed burning in the Montgrí massif (Catalonia) on vegetation evolution and soil microbial communities. The burns, conducted by GRAF firefighters to reduce fuel in *Pinus halepensis* and *Quercus coccifera* stands, were analysed using transects and molecular analysis between 2022 and 2025, comparing burned and control plots. Results indicate that fire significantly reduces plant richness and diversity (Shannon) in the first and third years post-burn. Indicator species analysis revealed a clear floristic segregation: the control maintains species like *Rosmarinus officinalis*, while burned areas are colonized by specialists such as *Cistus salviifolius*. In the microbiological field, a differential response between kingdoms was observed. The fungal community showed high sensitivity, with significant changes in composition (beta diversity) influenced by fire and interannual variability. Ectomycorrhizal fungi decreased after the fire, partially offset by an increase in saprotrophs. In contrast, the bacterial community exhibited remarkable resilience, maintaining stable richness, diversity, and taxonomic structure. At a functional level, the stability of total biomass (PLFA) and enzymatic activities (β-glucosidase and acid phosphatase) suggests that low-intensity burns do not compromise the soil's biogeochemical metabolism. Interannual variability, linked to climatic factors, had a greater impact on the microbiota than the burn itself. In conclusion, prescribed burning is validated as a sustainable and effective management strategy. By fragmenting fuel without causing functional degradation or loss of resilience in the edaphic ecosystem, an optimal balance is achieved between forest safety and the ecological integrity of Mediterranean forests.

Keywords: Prescribed fire, Pyrophytic ecosystems, Successional dynamics, Fire ecology, Microbial biomass.

1 Introducción

Los incendios forestales constituyen la principal perturbación en los ecosistemas mediterráneos, planteando un desafío para su gestión sostenible. La quema prescrita se emplea como herramienta para reducir la biomasa combustible y disminuir el riesgo de incendios de alta intensidad. En el macizo del Montgrí, estas prácticas se aplican desde 2006 por el Grup d'Actuacions Forestals (GRAF) con el objetivo de limitar la continuidad vertical del combustible entre el estrato arbustivo, dominado por *Quercus coccifera*, y el arbolado de *Pinus halepensis*. Este estudio evalúa los efectos de la quema prescrita sobre las propiedades del suelo, su microbiología asociada y la respuesta de la vegetación.

2 Métodos

El presente estudio se realizó en el macizo del Montgrí (Fig. 1), un sistema montañoso litoral de clima mediterráneo caracterizado por veranos secos y calurosos y precipitaciones irregulares en la cual se realizó una quema prescrita el día 1 de marzo del 2022. La vegetación dominante está constituida por matorrales esclerófilos y pinares abiertos, con suelos desarrollados sobre sustratos calcáreos.

Con el propósito de evaluar la evolución de la vegetación, se establecieron dos parcelas experimentales (PF y C) en las cuales se instalaron transectos lineales de 20 m de longitud en 3 de las 5 parcelas y se registraron los contactos cada 20 cm.

Las muestras se recolectaron en tres campañas posteriores a la quema prescrita, realizadas entre 2022 y 2025. Las comunidades microbianas del suelo se caracterizaron mediante secuenciación masiva de amplicones, utilizando la región ITS2 para hongos y el gen 16S rRNA para bacterias.

La riqueza de especies, el índice de Shannon y la equitatividad se calcularon mediante métodos estándar de diversidad. Además, se aplicaron análisis NMDS y RDA para evaluar los cambios en la composición de las comunidades. Las diferencias significativas entre tratamientos y años se analizaron mediante ANOVA y comparaciones post hoc obtenidas con la función emmeans() del paquete emmeans (Lenth, 2024), tanto para la vegetación como para la microbiología.

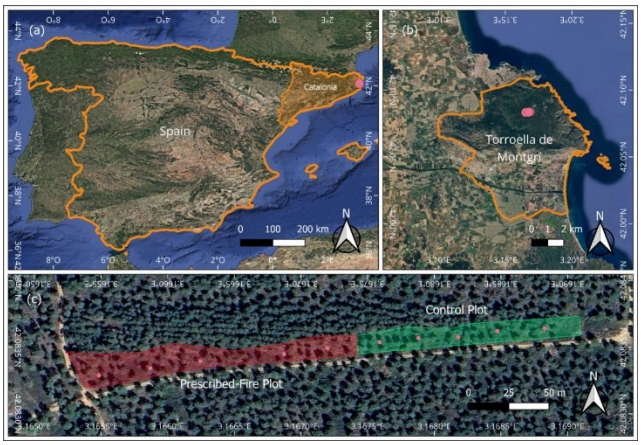


Fig. 1. Área de estudio: (a) ubicación en España; (b) ubicación en el municipio de Torroella de Montgrí; y (c) distribución de parcelas y subparcelas (los puntos rosas en (c) indican las coordenadas centrales de las subparcelas de 20 × 20 m). Tomado de Alfaro-Zepeda et al. (2026).

3 Resultados

3.1 Inventarios de vegetación

Los resultados del ANOVA indicaron efectos significativos del fuego, el año y el sistema sobre la riqueza de especies. Las parcelas con quema prescrita mostraron una reducción de la riqueza en el primer y tercer año de estudio. Asimismo, el índice de Shannon presentó diferencias significativas en todos los factores y sus interacciones, replicando el patrón de variación de la riqueza (Fig. 2).

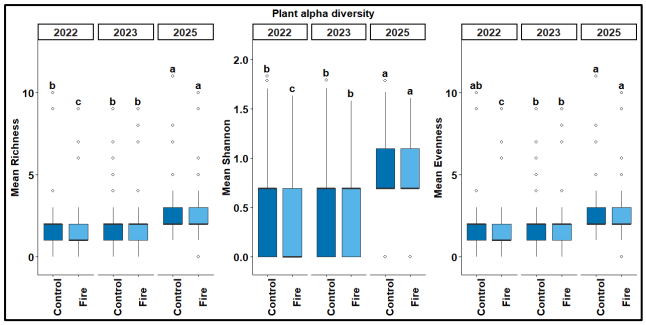


Fig. 2. Diversidad alfa de plantas. Riqueza de especies, índice de Shannon y equitatividad (de izquierda a derecha) evaluados en sitios control sin quema (*Control*, azul oscuro) y sitios sometidos a quema prescrita (*Fire*, azul claro) durante los periodos de muestreo 2022, 2023 y 2025.

El análisis de especies indicadoras reveló que 10 de las 19 especies registradas presentan una asociación significativa con los tratamientos evaluados ($p<0.05$). En el grupo Control, se identificaron 6 especies indicadoras, destacando *Cistus monspeliensis* (stat = 0.340) y *Rosmarinus officinalis* (stat = 0.252) con altos valores de especificidad (A>0.96). Por otro lado, el tratamiento de Quema Prescrita (PF) fue caracterizado por 4 especies, lideradas por *Cistus salviifolius* (A=1.00; stat = 0.358), lo que indica su presencia exclusiva en este tratamiento, seguida de *Genista sp.* y *Cistus albidus*. Estos resultados sugieren una segregación clara en la composición florística post-fuego, donde el género *Cistus* muestra una respuesta diferencial según el régimen de perturbación.

3.2 Microbiología

El análisis microbiano reveló patrones contrastantes: la comunidad fúngica mostró cambios significativos en riqueza, influenciada por el año ($p<0.001$) y el fuego ($R^2=0.075$, $p=0.01$), mientras que la bacteriana exhibió una alta estabilidad y resiliencia ante ambos factores (Fig. 3).

Taxonómicamente, los hongos estuvieron dominados por *Ascomycota*, observándose una reducción de ectomicorrizas tras la quema y un aumento de saprótrofos, frente a una estructura bacteriana (*Proteobacteria* y *Actinobacteriota*) constante entre tratamientos. Respecto a la biomasa (PLFA) y la funcionalidad, el fuego no alteró significativamente los niveles totales ni la actividad de enzimas clave como la β-glucosidasa y fosfatasa ácida. La variabilidad interanual predominó sobre el efecto de la quema, sugiriendo que factores climáticos estacionales tienen un mayor peso en la productividad y que las quemas prescritas no comprometen la capacidad metabólica del suelo a largo plazo.

4 Discusión

Las quemas prescritas en el Montgrí actúan como una perturbación moderada que altera temporalmente la estructura vegetal y fúngica sin comprometer la estabilidad edáfica. La reducción de riqueza vegetal post-fuego concuerda con la eliminación de especies termolábiles y la selección de estrategias de persistencia o reclutamiento (Trabaud, 1994). La segregación de especies indicadoras, como en el género *Cistus*, refuerza la reconfiguración de nichos sin pérdida permanente de diversidad.

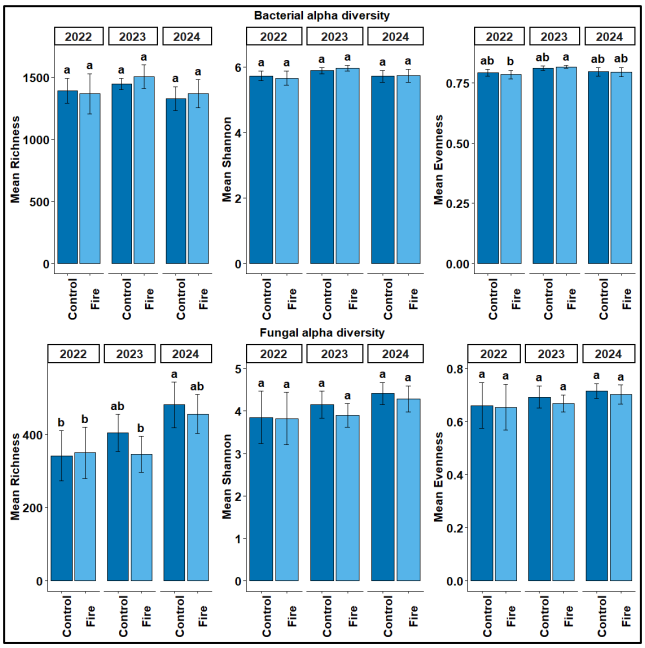


Fig. 3. Diversidad alfa microbiana. Diversidad alfa bacteriana (panel superior) y diversidad alfa fúngica (panel inferior), incluyendo riqueza de especies, índice de Shannon y equitatividad (de izquierda a derecha), evaluadas en sitios control sin quema (*Control*, azul oscuro) y sitios sometidos a quema prescrita (*Fire*, azul claro) durante los periodos de muestreo 2022, 2023 y 2024.

En el microbioma, destaca la estabilidad bacteriana debido a su redundancia funcional (Martín-Pinto et al., 2023), frente a la vulnerabilidad de hongos ectomicorrícicos a la temperatura (Buscardo et al., 2015). No obstante, el aumento de saprótrofos asegura el procesamiento de materia orgánica. La estabilidad de biomasa (PLFA) y actividades enzimáticas demuestra el suelo permanece operativo. La variabilidad interanual climática ejerce un control más potente que la quema misma (Pausas & Keeley, 2014), validando esta gestión como una herramienta segura y de impacto transitorio.

5 Conclusiones.

El estudio de las quemas prescritas en el macizo de Montgrí concluye que esta herramienta es compatible con la conservación de la biodiversidad y la funcionalidad del suelo en ecosistemas de *Pinus halepensis* y *Quercus coccifera*. Pese a la reducción inicial de riqueza vegetal, la rápida colonización de especies adaptadas y la estabilidad microbiológica reflejan un sistema resiliente al fuego.

Esto se demuestra en las respuestas microbiológicas, puesto que, aunque los hongos hayan demostrado tener una

respuesta ante la perturbación del incendio, la recuperación de hongos ectomicorrícicos al tercer año y la persistencia de la actividad enzimática confirman la ausencia de degradación funcional. La quema no altera significativamente la biomasa microbiana ni la salud edáfica.

Desde la gestión, los resultados validan la quema prescrita para prevenir grandes incendios al equilibrar la reducción de combustible con la integridad ecológica. Se recomienda monitoreo a largo plazo para evaluar la recurrencia frente al cambio climático.

6 Referencias

Alfaro-Zepeda, S., Moreno de las Heras, M., Peñalver-Alcalá, A., García-Braga, E., Farguell, J., & Úbeda, X. (2026). Effects of prescribed fire on soil physicochemical properties in a Mediterranean *Pinus halepensis* plantation: A case study in the Montgrí Massif. *Geoderma, 467*, 117730. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2026.117730

Buscardo, E., Rodríguez-Echeverría, S., Freitas, H., De Angelis, P., Pereira, J. S., & Muller, L. A. H. (2015). Contrasting soil fungal communities in Mediterranean pine forests subjected to different wildfire frequencies. *Fungal Diversity, 70*, 85–99. https://doi.org/10.1007/s13225-014-0294-4Lenth, R. V. (2024). *emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means* (R package version 1.10.0). https://CRAN.R-project.org/package=emmeans

Martín-Pinto, P., Dejene, T., Benucci, G. M. N., Mediavilla, O., Hernández-Rodríguez, M., Geml, J., Baldrian, P., Sanz-Benito, I., Olaizola, J., Bonito, G., & Oria-de-Rueda, J. A. (2023). Co-responses of bacterial and fungal communities to fire management treatments in Mediterranean pyrophytic ecosystems. *Science of The Total Environment, 875*, 162676. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162676

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2014). Evolutionary ecology of Mediterranean-type ecosystems in a changing world. *Global Ecology and Biogeography, 23*(12), 1253–1262. https://doi.org/10.1111/geb.12243

Trabaud, L. (1994). Postfire plant community dynamics in the Mediterranean Basin. In J. M. Moreno & W. C. Oechel (Eds.), *The role of fire in Mediterranean-type ecosystems* (Vol. 107, pp. 1–15). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8395-6_1

Efectos del pastoreo post-incendio en la vegetación y las propiedades microbiológicas del suelo: el caso de Cap de Creus

Alfaro-Zepeda, Sebastián[1]; Martinovic, Tijana[2]; Moreno de las Heras, Mariano[1]; Barriocanal, Carles[1]; García-Braga, Eduardo[1]; Farguell, Joaquim[1] y Úbeda Xavier[1]

[1] Departament de Geografia. Universitat de Barcelona, Montalegre, 6, 08001, Barcelona, España
[2] Laboratory of Environmental Microbiology, Institute of Microbiology of the Czech Academy of Science, Prague, Czechia.
salfarze7@doct.ub.edu

Resumen. En la última década, la recurrencia de incendios forestales y la gestión de la ganadería extensiva se han consolidado como factores determinantes en la configuración ecológica y funcional de los paisajes mediterráneos. El presente estudio evalúa de forma exhaustiva los efectos sinérgicos de un gran incendio y el pastoreo controlado sobre la estructura de la vegetación y las propiedades biológicas del suelo en el parque natural de Cap de Creus (Girona). Mediante un diseño experimental robusto que abarcó el periodo 2022–2024, se analizaron cuatro escenarios tras un evento de fuego ocurrido en 2021: zonas quemadas, zonas no quemadas, y sus variantes con y sin presencia de ganado bovino. La metodología integró inventarios florísticos detallados junto con análisis avanzados de secuenciación del microbioma edáfico para capturar la respuesta ecosistémica multidimensional ante estas perturbaciones. Los resultados indican que el fuego actúa como el factor disruptivo dominante a corto plazo, reduciendo drásticamente la riqueza y diversidad de las comunidades de hongos y bacterias. No obstante, el factor temporal emergió como el principal motor explicativo de los cambios, evidenciando una recuperación progresiva de la complejidad biológica hacia el año 2024. En el ámbito de la vegetación, se identificó una interacción significativa entre el fuego, el pastoreo y el año; la herbivoría introdujo una perturbación intermedia que, lejos de ser perjudicial, fomentó la heterogeneidad de nichos ecológicos. Taxonómicamente, el pastoreo incrementó significativamente la riqueza bacteriana, actuando como un catalizador de nutrientes orgánicos que favorece a grupos microbianos oportunistas y funcionales. Asimismo, la estequiometría del suelo, específicamente la relación carbono/nitrógeno, se consolidó como un predictor crítico de la estructura comunitaria y de la actividad enzimática de la β-glucosidasa y fosfatasa ácida. Se concluye que la resiliencia del ecosistema mediterráneo depende de una gestión flexible y del monitoreo constante de la salud del suelo. El pastoreo post-incendio, manejado bajo criterios técnicos, puede orientar la trayectoria sucesional hacia estados de mayor estabilidad funcional y biodiversidad, integrando indicadores microbiológicos en las políticas de restauración forestal.

Palabras clave: interacción fuego-pastoreo, ecosistemas mediterráneos, gestión de incendios forestales, calidad biológica del suelo, piroecología.

Resumo. Na última década, a recorrência de incêndios florestais e a gestão da pecuária extensiva consolidaram-se como fatores determinantes na configuração ecológica e funcional das paisagens mediterrâneas. O presente estudo avalia de forma exaustiva os efeitos sinérgicos de um grande incêndio e do pastejo controlado sobre a estrutura da vegetação e as propriedades biológicas do solo no parque natural de Cap de Creus (Girona). Através de um desenho experimental robusto que abrangeu o período 2022–2024, foram analisados quatro cenários após um incêndio ocorrido em 2021: zonas queimadas, zonas não queimadas, e as suas variantes com e sem a presença de gado bovino. A metodologia integrou inventários florísticos detalhados e análises avançadas de sequenciação do microbioma edáfico para capturar a resposta ecossistêmica multidimensional perante estas perturbações. Os resultados indicam que o fogo atua como o fator disruptivo dominante a curto prazo, reduzindo drasticamente a riqueza e a diversidade das comunidades de fungos e bactérias. No entanto, o fator temporal emergiu como o principal motor explicativo da variância, evidenciando uma recuperação progressiva da complexidade biológica até ao ano de 2024. No âmbito da vegetação, observou-se uma interação significativa entre o fogo, o pastejo e o tempo; a herbivoría introduziu uma perturbação intermédia que fomentou a heterogeneidade de nichos ecológicos. Taxonomicamente, o pastejo aumentou significativamente a riqueza bacteriana, atuando como um catalisador de nutrientes orgânicos que favorece grupos microbianos oportunistas e funcionais. Além disso, a estequiometria do solo, especificamente a relação carbono/azoto, consolidou-se como um preditor crítico da estrutura comunitária e da atividade enzimática da β-glucosidase e da fosfatase ácida. Conclui-se que a resiliência do ecossistema mediterrâneo depende de uma gestão flexível e da monitorização constante da saúde do solo. O pastejo pós-incêndio, gerido sob critérios técnicos, pode orientar a trajetória sucessional para estados de maior estabilidade funcional e biodiversidade, sublinhando a necessidade de integrar indicadores microbiológicos nas políticas de restauração para garantir uma recuperação holística das paisagens florestais perturbadas.

Palavras-chave: interação fogo-pastoreio, ecossistemas mediterrânicos, gestão de incêndios florestais, qualidade biológica do solo, piroecologia.

Abstract. Over the last decade, the recurrence of wildfires and the management of extensive livestock farming have become determining factors in the ecological and functional configuration of Mediterranean landscapes. This study comprehensively evaluates the synergistic effects of a major fire and controlled grazing on vegetation structure and biological soil properties in the Cap de Creus natural park (Girona). Using a robust experimental design covering the 2022–2024 period, four scenarios were analysed following a 2021 fire event: burnt areas, unburnt areas, and their variants with and without the presence of cattle. The methodology integrated detailed floristic inventories alongside advanced soil microbiome sequencing analyses to capture the multidimensional ecosystem response to these disturbances.The results indicate that fire acts as the dominant disruptive factor in the short term, drastically reducing the richness and diversity of fungal and bacterial communities. However, the temporal factor emerged as the primary explanatory driver of variance, showing a progressive recovery of biological complexity by 2024. Regarding vegetation, a significant interaction was identified between fire, grazing, and time; herbivory introduced an intermediate disturbance that fostered ecological niche heterogeneity. Taxonomically, grazing significantly increased bacterial richness, acting as a catalyst for organic nutrients that benefit opportunistic and functional microbial groups. Furthermore, soil stoichiometry, specifically the carbon/nitrogen ratio, was established as a critical predictor of community structure and the enzymatic activity of β-glucosidase and acid phosphatase. It is concluded that the resilience of the Mediterranean ecosystem depends on flexible management and constant monitoring of soil health. Post-fire grazing, managed under technical criteria, can guide the successional trajectory toward states of greater functional stability and biodiversity. These findings underscore the necessity of integrating microbiological indicators into restoration policies to ensure a holistic recovery of disturbed forest landscapes.

Keywords: fire-grazing interaction, mediterranean ecosystems, forest fire management, soil biological quality, pyroecology.

1 Introducción

En la última década, la ganadería extensiva se ha consolidado como un factor determinante en la configuración ecológica de los paisajes mediterráneos. Su integración en la gestión de espacios protegidos plantea interrogantes críticos sobre cómo la herbivoría modula la resiliencia del ecosistema y la sucesión vegetal tras perturbaciones severas como los incendios forestales (Pausas y Keeley, 2019). El pastoreo actúa como una perturbación intermedia que puede alterar significativamente las interacciones entre las comunidades vegetales y el microbioma edáfico, afectando directamente la estabilidad funcional y la recuperación del suelo (Candel-Pérez et al., 2024).

Bajo esta premisa, el presente estudio evalúa cómo el manejo ganadero y el fuego condicionan las trayectorias biológicas en el Cap de Creus. El enfoque se centra en un análisis integral de la biodiversidad y la salud ecosistémica, examinando la respuesta de las comunidades bióticas ante la presión combinada de la herbivoría y el fuego.

2 Métodos.

La investigación se desarrolló en el parque natural de Cap de Creus (Girona), un área caracterizada por una elevada recurrencia de incendios forestales (Fig. 1), donde se han implementado estrategias de manejo ganadero extensivo. En particular, se ha favorecido el desplazamiento de ganado bovino a través de zonas quemadas y no quemadas con elevada acumulación de biomasa. El estudio analiza los efectos de dos perturbaciones principales —incendio y pastoreo— en cuatro tipos de zonas: quemada (B), no quemada (U), quemada con ganado (BC) y no quemada con ganado (UC), durante un período de tres años (2022–2024) posteriores a un incendio ocurrido en 2021.

La diversidad alfa fue evaluada mediante riqueza específica, índice de Shannon y equitatividad de Pielou, siguiendo metodologías ampliamente utilizadas en ecología de comunidades. Asimismo, se aplicaron análisis de redundancia (RDA), NMDS, PCoA y dispersión beta (betadisper) para analizar y visualizar los cambios en la estructura de las comunidades vegetales y microbianas entre tratamientos y años de estudio.

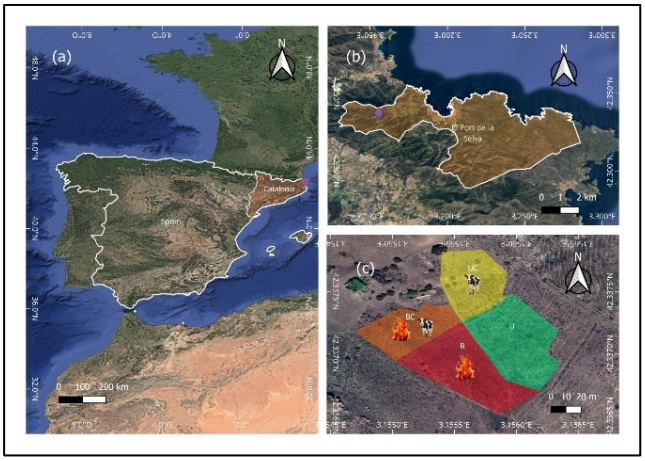


Fig. 1. Mapas de ubicación del área de estudio: (a) localización regional en España; (b) detalle del emplazamiento en el ámbito municipal; y (c) esquema del diseño experimental.

3 Resultados

3.1 Inventarios de Vegetación

La riqueza y la diversidad de especies estuvieron significativamente influenciadas por el fuego, el pastoreo y el año, siendo la dinámica temporal el principal factor explicativo de la variación observada entre parcelas con distintas combinaciones de tratamiento (quemado y pastoreo). En el modelo de riqueza, tanto el fuego como el pastoreo mostraron efectos significativos, pero estos estuvieron modulados por interacciones con el año, incluyendo una interacción triple significativa, lo que indica que sus efectos varían en el tiempo y dependen de su combinación en cada tipo de parcela (quemadas/pastoreadas, quemadas/no pastoreadas, no quemadas/pastoreadas y control). De forma similar, la diversidad (índice de Shannon) fue afectada por el fuego y, en menor medida, por el pastoreo, presentando también interacciones significativas con el año. Aunque la interacción fuego-pastoreo no fue significativa por sí sola en la diversidad, sí lo fue al considerar su evolución temporal (Fig. 2). En conjunto, estos resultados evidencian que los efectos de los tratamientos no son constantes entre parcelas, sino dependientes del contexto temporal.

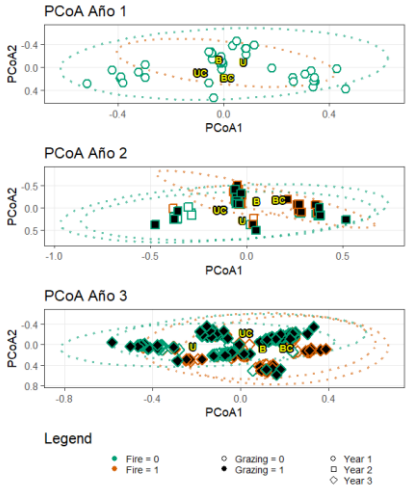


Fig. 2. Análisis de Coordenadas Principales (PCoA) de las comunidades en los distintos tratamientos. Las elipses/puntos representan los tratamientos: control (verde, sin incendio) y áreas afectadas (naranja, con incendio). Se indican los nombres de los tratamientos en sus respectivos centroides para ilustrar la trayectoria de la variación anual.

El análisis de especies indicadoras mostró un número reducido de taxones asociados exclusivamente a un único tipo de parcela. En parcelas quemadas, destacaron *Erica arborea*, *Cistus salvifolius*, *Daphne gnidium*, *Aster* sp. y *Crepis* sp., mientras que en parcelas no quemadas se identificaron *Dactylis glomerata*, *Quercus ilex, Briza maxima, Bromus* sp. y *Rosmarinus officinalis*. No obstante, una proporción considerable de especies se asoció a combinaciones de tratamientos, como *Cistus monspeliensis, Genista* sp. y *Arrhenatherum* sp. en parcelas quemadas con distintas condiciones, o *Cistus albidus, Ulex parviflorus, Lavandula stoechas, Trifolium* sp. y *Avena* sp. en parcelas no quemadas con y sin pastoreo. Asimismo, especies como *Rubus* sp., *Rhamnus* sp., *Calicotome* sp. y *Cardus* sp. mostraron baja especificidad al aparecer en múltiples tipos de parcela. En conjunto, estos resultados reflejan una diferenciación parcial de la composición florística entre parcelas, con un notable solapamiento de especies y una fuerte influencia de gradientes ambientales y temporales.

3.2 Microbiología

El análisis de las comunidades microbianas reveló que el incendio forestal y el pastoreo post-perturbación actúan como determinantes críticos de la estructura y función del microbioma en el Cap de Creus. El fuego ejerció un impacto negativo significativo en la riqueza y diversidad de Shannon tanto en hongos como en bacterias ($p < 0.001$). En el caso bacteriano, el pastoreo incrementó significativamente la riqueza de especies ($p = 0.031$), lo que sugiere un efecto de enriquecimiento por la actividad del ganado. A nivel temporal, se observó una trayectoria sucesional clara, con un aumento de la riqueza bacteriana hacia el año 2024 en comparación con los niveles basales de 2022 ($p < 0.001$). Taxonómicamente, las comunidades fúngicas estuvieron dominadas por grupos de saprótrofos y hongos ectomicorrícicos, mientras que el perfil bacteriano fue liderado por los filos *Acidobacteriota, Actinobacteriota* y *Proteobacteria*.

Las ordenaciones mediante NMDS y los resultados de PERMANOVA confirmaron cambios estructurales profundos en la composición de las comunidades. En los hongos, el tratamiento de fuego explicó el 12.4% de la varianza total ($R^2 = 0.124$, $p = 0.001$). Para las bacterias, el modelo de interacción entre ambas perturbaciones y el año mostró el mayor ajuste ($R^2 = 0.317$, $p = 0.001$), evidenciando una respuesta dinámica y compleja ante la presión combinada del fuego y la herbivoría (Fig. 3).

La biomasa microbiana total (PLFA) se redujo de manera consistente en las parcelas quemadas, registrándose un aumento en la relación bacterias:hongos tras el incendio. Asimismo, la estequiometría del suelo, específicamente la relación C/N, se identificó como un factor de control significativo para la estructura de ambas comunidades ($p < 0.05$). Finalmente, las actividades enzimáticas relacionadas con los ciclos del carbono y el fósforo, como la β-glucosidasa y la fosfatasa ácida, presentaron fluctuaciones interanuales que reflejan una recuperación metabólica condicionada por la regeneración de la cubierta vegetal y la gestión del pastoreo.

4 Discusión

Los resultados obtenidos subrayan que el ecosistema del Cap de Creus se encuentra en un estado de transición activa, donde la recuperación biológica está dictada por una interacción compleja entre perturbaciones y dinámicas temporales. El incendio forestal se identifica como el factor disruptivo dominante, provocando una reconfiguración drástica de

la estructura vegetal y microbiana. La reducción significativa en la riqueza de hongos y bacterias tras el fuego ($p < 0.001$) coincide con lo observado en otros ecosistemas mediterráneos, donde el estrés térmico y la volatilización de nutrientes alteran la estabilidad del suelo (Tedersoo et al., 2014). En particular, la pérdida de hongos ectomicorrícicos frente al predominio de saprótrofos refleja una ruptura de las simbiosis radiculares esenciales, lo cual condiciona la capacidad de recolonización de especies leñosas (Fox et al., 2022).

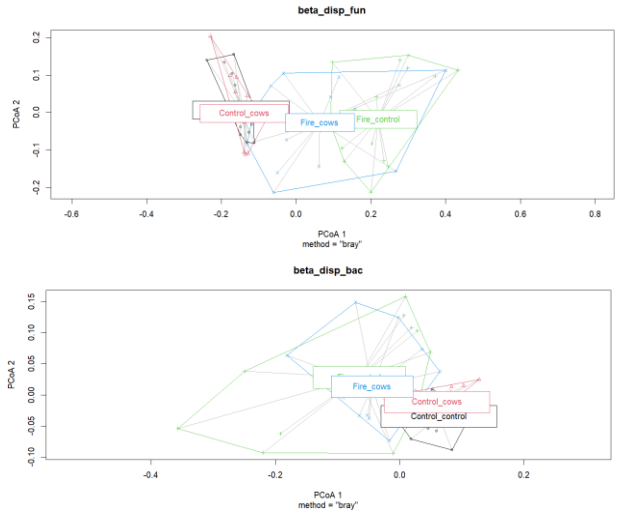


Fig. 3. Análisis de dispersión beta (PERMDISP) de las comunidades fúngicas (panel superior) y bacterianas (panel inferior) basado en distancias de Bray-Curtis. Los gráficos muestran la variabilidad de la composición microbiana mediante la distancia a los centroides para cuatro condiciones: (i) incendio sin pastoreo (verde); (ii) incendio con pastoreo (azul); (iii) pastoreo sin incendio (rojo); y (iv) control sin perturbaciones (negro).

El papel del pastoreo post-perturbación emerge como un modulador crítico de la diversidad. En los inventarios de vegetación, la interacción triple entre fuego, pastoreo y año indica que los efectos de la herbivoría no son uniformes, sino que dependen del estado sucesional del sitio (Pausas y Keeley, 2019). Mientras que el fuego favorece a especies pirófitas como *Cistus monspeliensis*, el pastoreo introduce una perturbación intermedia que, en el suelo, se traduce en un incremento de la riqueza bacteriana ($p = 0.031$). Este fenómeno sugiere que el ganado actúa como un catalizador de nichos mediante el aporte de materia orgánica lábil, favoreciendo a grupos bacterianos oportunistas.

La dinámica temporal es el factor que mejor explica la variación observada ($R^2 = 0.317$ para bacterias). El aumento progresivo de la riqueza hacia 2024 sugiere una recuperación de la complejidad biológica vinculada a la restauración de la estequiometría del suelo. La relación C/N se consolidó como un predictor clave de la estructura comunitaria, lo que implica que la funcionalidad del ecosistema depende de la estabilización de los ciclos biogeoquímicos (Fox et al., 2022). Asimismo, las fluctuaciones en la actividad de la β-glucosidasa y la fosfatasa ácida indican que la recuperación metabólica es pulsátil y está sincronizada con la regeneración de la cubierta vegetal. En conclusión, la resiliencia del Cap de Creus no es una respuesta lineal, sino un proceso multidimensional donde la gestión del pastoreo puede orientar la trayectoria sucesional hacia estados de mayor estabilidad funcional.

5 Conclusiones

El estudio integral de la vegetación y el microbioma edáfico en el Cap de Creus permite concluir que la resiliencia de los ecosistemas mediterráneos está supeditada a la interacción de múltiples factores de manejo. El fuego genera un impacto estructural profundo que persiste en el tiempo, reduciendo la diversidad biológica inicial. Sin embargo, el análisis evidencia que el pastoreo post-incendio puede actuar como una herramienta de manejo capaz de modular la diversidad. Al incrementar la riqueza bacteriana y diversificar las trayectorias de la vegetación, el pastoreo moderado fomenta la heterogeneidad de nichos, fundamental para la estabilidad del ecosistema.

Un hallazgo fundamental es la fuerte señal temporal y estequiométrica observada. La transición entre 2022 y 2024 muestra una recuperación progresiva de la biomasa microbiana y una reconfiguración vegetal que indica una fase de reorganización ecológica activa. La estrecha vinculación entre la química del suelo (C/N) y la estructura microbiana resalta que cualquier estrategia de restauración debe priorizar la salud del suelo como base para la recuperación de la biodiversidad aérea. Finalmente, los resultados subrayan que la gestión de áreas protegidas requiere políticas flexibles; la integración de la microbiología en el monitoreo ambiental proporciona una capa de información crítica que permite una visión más holística y robusta de la salud de los paisajes mediterráneos perturbados.

6 Referencias

Candel-Pérez, D., Lucas-Borja, M. E., Plaza-Álvarez, P. A., Carmona Yáñez, M. D., Soria, R., Ortega, R., Miralles, I., Miralha, L., & Zema, D. A. (2024). Effects of grazing on soil properties in mediterranean forests (Central-Eastern Spain). *Journal of Environmental Management*, 354, 120316. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120316.

Fox, S., Sikes, B. A., Brown, S. P., Cripps, C. L., Glassman, S. I., Hughes, K., … Jumpponen, A. (2022). Fire as a driver of fungal diversity — A synthesis of current knowledge. *Mycologia*, 114(2), 215–241. https://doi-org.sire.ub.edu/10.1080/00275514.2021.2024422

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289–295. https://doi.org/10.1002/fee.2044

Tedersoo, L., Bahram, M., Põlme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... & Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213), 1256688. https://doi.org/10.1126/science.1256688

Caracterización de la sucesión vegetal desde cultivos abandonados hasta bosques periurbanos en la conurbación de Valencia (España)

Laguna, Emilio[1, 2], Guara, Miguel[3] y Ferrer-Gallego, Pedro Pablo[4,5]

[1] Jardín Etnobotánico de Aras de los Olmos, Plaza Polígono 11 R S, 46179 Aras de los Olmos, Valencia, España
[2] Universitat d'Alacant, Estació Científica Font Roja-Natura, Ctra. Font Roja s/n, 03801 Alcoi, Alicante, España
[3] Universitat de València. Depto. de Biología y Geología, Avda. Vicent Andrés Estellés s/n, 46100 Burjassot, Valencia, España.
[4] Generalitat Valenciana, Centre per a la Investigació i Experimentació Forestal, Avda. Comarques del País Valencià 114, 46930 Quart de Poblet, Valencia, España.
[5] Generalitat Valenciana, VAERSA, Avda. Corts Valencianes 20, 46015 Valencia, España.
emilio.laguna@outlook.es

Resumen. Se comparan las 3 fases evolutivas definidas para la sucesión vegetal tras el abandono de cultivo de cítricos en Valencia capital y su conurbación: cultivos remanentes con cobertura lianoide (A), etapa de dominancia fisiognómica de los portainjertos de cítricos (B) y neobosques de árboles exóticos (C). En todas las fases hay especies exóticas invasoras para ambientes mediterráneos. La etapa A presenta diferencias significativas en el número de especies (x=13,4) respecto a B (31,2) y C (33,8). No hay diferencias en la cobertura total, pero sí entre los grupos de especies (cultivadas, portainjertos, herbáceas, leñosas y árboles). El número total de especies reuniendo las 3 etapas fue 74. La etapa A muestra valores significativamente superiores a B y C en el índice de dominancia D, e inferiores en el de Simpson (1-D) y el de diversidad de Shannon (H). Los valores del índice de equitabilidad de Pielou (J) no difieren significativamente. Las etapas B y C poseen, por tanto, mayor diversidad.

Palabras clave: Neoecosistemas, Árboles exóticos, Abandono de cultivos, Sucesión vegetal, Valencia.

Resumo. Comparam-se as três fases evolutivas definidas para a sucessão vegetal após o abandono do cultivo de citrinos na cidade de Valência e na sua área metropolitana: culturas remanescentes com cobertura de trepadeiras (A), fase de dominância fisionómica dos porta-enxertos de cítricos (B) e neoflorestas de árvores exóticas (C). Em todas as fases existem espécies exóticas invasoras para ambientes mediterrânicos. A fase A apresenta diferenças significativas no número de espécies (x=13,4) em relação às fases B (31,2) e C (33,8). Não há diferenças na cobertura total, mas sim entre grupos de espécies (cultivadas, porta-enxertos, herbáceas, lenhosas e árvores). O número total de espécies em todas as 3 fases foi de 74. A fase A apresenta valores significativa-mente superiores aos de B e C no índice de dominância D, e inferiores no índice de Simpson (1-D) e no índice de diversidade de Shannon (H). Os valores do índice de equitabilidade de Pielou (J) não diferem significativamente. As fases B e C apresentam, portanto, maior diversidade.

Palavras-chave: Neoecossistemass, Árvores exóticas, Colheitas abandonadas, Sucessão vegetal, Valência.

Abstract. This study compares three evolutionary phases of vegetation succession following the abandonment of citrus cultivation in the city of Valencia and its surrounding area: remnant crops with vine-like cover (A), a stage physiognomically dominated by citrus rootstocks (B), and new stands of exotic trees (C). In all phases there are invasive exotic species for Mediterranean environments. Stage A shows significantly lower species richness (x=13.4) than B (31.2) and C (33.8). There are no differences in total cover, but there are differences among species groups (cultivated, rootstocks, herbaceous, woody, and trees). The total number of species across all 3 stages was 74. Stage A shows significantly higher values than B and C for the dominance index D, and lower values for Simpson's index (1-D) and Shannon's diversity index (H). The values for Pielou's evenness index (J) are not significantly different. Stages B and C therefore have greater diversity.

Keywords: Neo-ecosystems, Exotic trees, Crop abandonment, Plant succession, Valencia.

1 Introducción

En noviembre de 2024, durante la I Conferencia Brasileña de Biogeografía y Cambio Climático, XII Congreso Español de Biogeografía, y III Congreso Iberoamericano de Biogegrafía, celebrados en Sao Paulo (Brasil), se presentaron los primeros resultados para la caracterización de un nuevo tipo de bosques antrópicos periurbanos, generados por la colonización de terrenos agrícolas abandonados, anteriormente ocupados por cultivos de cítricos en el entorno de Valencia (España), y que estaban dominados por especies alóctonas invasoras (Laguna *et al*., 2025). Dichas especies tienen su origen en la flora ornamental utilizada tradicionalmente en ajardinamientos

urbanos, y en menor medida proceden del asilvestramiento de plantas agrícolas cultivadas. Este nuevo tipo de comunidades vegetales entra en el concepto de "neoecosistemas", y dentro de este, en el de "neobosques".

En los trabajos citados se definieron apriorísticamente, siguiendo un criterio fisionímjco-estructural, hasta tres etapas a partir del abandono de los cultivos de naranjo (*Citrus sinensis*) y mandarino (*C. reticulata* subsp. *deliciosa*) en la conurbación de Valencia. En una primera fase –(A) a los efectos de este trabajo-, perviven aún los cultivos, con una cobertura lianoide notable de *Araujia sericifera*. En la segunda fase (B), mueren las partes aéreas de las plantas cultivadas y ocupan su lugar los portainjertos (×*Citroncirus webberi*, *Citrus reshnii* y *C. aurantium*), a la vez que se inicia la colonización de diversas especies arbóreas alóctonas y de formas asilvestradas de nativas cultivadas (p. ej., *Olea europaea* subsp. *europaea* y *Laurus nobilis*). La tercera fase (C) consta de neobosques dominados fundamentalmente por *Morus alba*, *Ligustrum lucidum*, *Washingtonia robusta*, *Acer negundo*, *Melia azedarach*, *Phoenix canariensis*, etc. (Laguna *et al*., 2025).

Para continuar en el conocimiento de estas comunidades vegetales, el presente trabajo aborda su caracterización a través de diversos índices de diversidad, y el estudio de la contribución de los cinco grupos citados de especies a cada una de las tres fases sucesionales detectadas.

2 Materiales y métodos.

Se tomaron 5 inventarios fitosociológicos sigmatistas (Braun-Blanquet, 1979) de una superficie de 200 m^2 representativos de cada una de las tres fases indicadas (A, B y C) en Valencia capital y en la comarca de L'Horta Sud, en concreto en los municipios de Aldaia, Albal, Catarroja y Torrent (Laguna *et al*. (2025). El conjunto de especies observadas en los 15 inventarios se clasificó en cinco grupos: cultivadas, portainjertos, arbóreas, arbustivas/lianas, y herbáceas. Los táxones se determinaron con las claves de Mateo & Crespo (2014). A efectos de los cítricos se ha usado la nomenclatura de Mateo *et al*. (2024).

Los valores de abundancia-dominancia (+ a 5) de las especies fueron convertidos en sus equivalentes de cobertura media multiplicados por 10 (valores de 1 a 875), lo que equivale a los "individuos" de cobertura de las especies en tantos por mil, a efectos estadísticos (Laguna *et al*., 2016), con objeto de calcular los índices de diversidad fitosociológica. Denominamos "cobertura solapada" a la suma de las coberturas medias de todas las especies así calculadas para cada inventario.

Se ha analizado la importancia de los cinco grupos de especies indicados (Legendre & Legendre, 2012; Gotelli & Ellison, 2013) entre las 3 etapas indicadas, mediante una prueba de chi-cuadrado de independencia (Agresti, 2002) calculándose los residuos estandarizados (Legendre & Legendre, 2012) y ajustando los valores de probabilidad mediante el método de Bonferroni (Agresti, 2002). Igualmente, se ha aplicado el valor indicador de las especies (Dufrêne & Legendre, 1997; De Cáceres & Legendre, 2009), que combina la fidelidad -frecuencia de ocurrencia dentro del grupo de inventarios- y la especificidad -abundancia relativa dentro del grupo de inventarios- para ayudar a caracterizar en lo posible las tres fases de la sucesión observadas. Finalmente, se han calculado los valores de cada inventario para los índices de diversidad: Dominancia (D), Simpson (1-D), Diversidad de Shannon (H) y Equitabilidad de Pielou (J) -véase Magurran, (2004).

Los cálculos preliminares de los índices mencionados se han realizado con el programa PAST v. 4.17 (Hammer *et al.*, 2001), con el apoyo de los complementos de análisis de Microsoft Excel 2021. Otros tests estadísticos -normalidad: tests de Shapiro-Wilk o Jarque-Bera; homogeneidad de las varianzas: Levene- y las comparaciones entre los sectores -ANOVA y test de la t de Welch para dos muestras- se han realizado utilizando los paquetes de R (R Core Team, 2025) "car" (Fox & Weisberg, 2019), "onewaytests" (Dag *et al*., 2018), "readxl" (Wickham & Bryan, 2025), "tidyverse" (Wickham *et al.*, 2019), "tseries" (Trapletti & Hornik, 2024) y "vegan" (Oksanen *et al*., 2025), ejecutados en el entorno de RStudio (Posit Team, 2026) –https://posit.co/download/rstudio-desktop/–.

3 Resultados y discusión.

La composición de los 15 inventarios puede consultarse en https://www.uv.es/elalum/CEB2026/Periurbanos.xlx. Entre todos los inventarios se han detectado 74 especies: 2 cultivadas, 3 portainjertos, 21 árboles, 7 arbustivas-lianas y 41 herbáceas. La riqueza específica de los 15 inventarios se ha indicado en la Tabla 1. Oscila entre 10 y 38, con un promedio de 26,1 especies por inventario.

Tabla 1. Riqueza en especies de cada una de las fases sucesionales y valores para la suma de los 15 inventarios. N: Número de inventarios; Min: Mínimo; Max: Máximo; x: promedio; sd: Desviación estándar.

	Min.	Max.	x ± sd
Fase A (N = 5)	10	17	13,4 ± 2,9
Fase B (N = 5)	27	38	31,2 ± 4,4
Fase C (N = 5)	31	37	33,8 ± 2,3
Total (N = 15)	10	38	26,1 ± 9,9

El test de ANOVA detecta diferencias significativas entre las tres fases ($F_{2, 12}$ = 55,7, p = 8,45e-07). La fase A presenta una menor riqueza de especies que las fases B y C (p < 0,0001), siendo sus diferencias de 17,8 y 20,4 especies, respectivamente. Entre las fases B y C existe una diferencia de 2,6 especies por inventario que no es significativa (p = 0,456).

El número de individuos o cobertura solapada en el conjunto de inventarios oscila entre 967 y 2.673 con un promedio de 1.992,7 por inventario, según se detalla en la Tabla 2. Valores próximos a 1.000 indican que se tiende a cubrir todo el suelo con vegetación. Los valores en torno a

2.000 suelen indicar que hay 2 estratos con cobertura próxima al 100% de la superficie.

Tabla 2. Valores de la cobertura solapada por inventario de cada una de las fases sucesionales, y para la suma de todas ellas. N: Número de inventarios; Min: Mínimo; Max: Máximo; x: promedio; sd: Desviación estándar.

	Min.	Max..	x ± sd
Fase A (N = 5)	1.355	2.609	1.992,8 ± 547,2
Fase B (N = 5)	967	2.521	1.642,6 ± 614,0
Fase C (N = 5)	2.020	2.673	2.360,6 ± 266,0
Total (N = 15)	967	2.673	1.992,7 ± 557,0

Los valores son aparentemente inferiores en la fase B, lo que puede deberse a la reducción de la presencia de especies heliófilas tras el prolongado período de fuerte competencia lumínica que ejerce *Araujia sericifera* y otras especies lianoides en la fase A. El test de ANOVA no detecta diferencias en el número de individuos entre las tres fases de inventarios ($F_{2, 12} = 2{,}719$, $p = 0{,}106$) cuando se analizan conjuntamente. Sin embargo, sí se detectan diferencias entre estas fases al considerar los grupos de especies ($\chi 2 = 14344$; g.l. = 8; $p = 2.2e^{-16}$). Estas diferencias se aprecian particularmente en la Fig. 1.

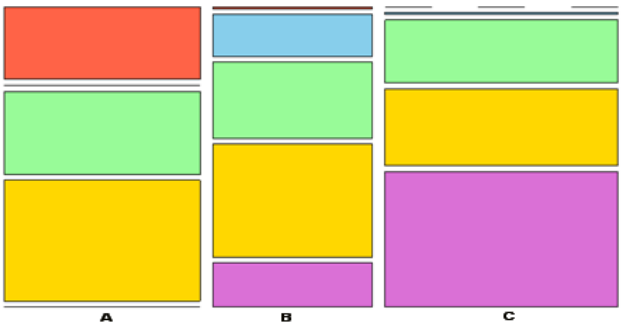


Fig. 1. Mosaico de la composición del tipo de especies por grupos de inventarios (A, B y C). Rojo: Cultivadas; Azul: Portainjertos; Verde: Herbáceas; Naranja: Arbustos/lianas; Violeta: Árboles.

La contribución porcentual a las diferencias entre los grupos de inventarios se debe a las especies cultivadas, todavía presentes en la fase A, a los portainjertos en B y a las arbóreas en C (Fig. 1). Estas contribuciones se detectan especialmente en los residuos estandarizados del análisis χ^2 de la Tabla 3. En dicha tabla, los valores de los residuos superiores a +2 indican contribuciones mayores que las esperadas, y los inferiores a -2, menores.

Los tres tipos de especies citados son más abundantes de lo esperado en los grupos ya señalados. En la fase A las especies herbáceas y arbustivas son más abundantes de lo esperado, como sucede también en la fase B. En la fase C, todos los tipos de especies, salvo las arbóreas, presentan menos abundancia de lo que se esperaría (Tabla 3). Esto implica un progresivo empobrecimiento de la representatividad de esos estratos, al aumentar la riqueza y cobertura del dosel superior, donde entran en creciente competencia las especies que lo componen.

Tabla 3. Contribuciones al χ^2 (residuos estandarizados) de las 3 fases sucesionales.

	A	B	C
Cultivadas	74,340	-30,604	-43,840
Portainjertos	-25,553	56,165	-26,472
Herbáceas	9,371	2,522	-11,332
Arbustos/Lianas	18,161	9,221	-25,906
Árboles	-67,992	-19,334	83,165

La Tabla 4 presenta los valores obtenidos de los índices de diversidad utilizados para comparar las 3 etapas sucesionales. Los índices de dominancia (D) y de Simpson (1-D) han destacado diferencias entre los inventarios del grupo A (fase inicial) y del grupo C (fase terciaria). Para estos mismos índices, los inventarios de los grupos B y C son equivalentes. En el caso del índice de Shannon (H), el grupo A de inventarios es distinto de los grupos B y C, que no muestran diferencias significativas. Finalmente, para el índice de equitatividad (J), los tres grupos de inventarios son equivalentes.

Tabla 4. Valores obtenidos en los índices de diversidad para las 3 fases sucesionales (A, B y C) y el total de inventarios. D: Índice de Dominancia; 1-D: Índice de Simpson; H: Diversidad de Shannon; J: Equitabilidad de Pielou.

	A (N=5)	B (N=5)	C (N=5)	Total (N=15)
D	0,23 ± 0,02	0,17 ± 0,06	0,15 ±0,05	0,18 ±0,16
1-D	0,77 ± 0,02	0,84 ± 0,06	0,86 ±0,05	0,83 ±0,16
H	1,59 ± 0,08	2,17 ± 0,34	2,26 ±0,28	2,00 ±0,39
J	0,62 ± 0,03	0,63 ± 0,09	0,64 ±0,08	0,63 ±0,07

El análisis del valor indicador de las especies, que combina su fidelidad y su especificidad a los inventarios, y a través de ellos a los grupos, no ha resultado significativo al considerar las tres fases del desarrollo de estos bosques periurbanos, por lo que ninguna especie caracterizaría en exclusiva ninguno de los grupos de inventarios. Ello no contradice que cada una de las etapas previamente definidas se caracterice por la abundancia-dominancia de especies dominantes concretas, ya esas mismas especies aparecen ya como juveniles en la fase o fases anteriores, o permanecen con menor cobertura en las posteriores, lo que hace que el efecto de su papel diferenciador quede diluido dentro del análisis del valor indicador. También es probable que la escasa riqueza de alguno de los grupos -cultivadas y portainjertos- influya en la ausencia de resultados positivos. Igualmente es probable que el bajo número de inventarios considerados para cada etapa (N=5) también influya en este resultado.

Además de todo lo anterior, cabe interpretar que estas formaciones se encuentran en una etapa de ajuste donde muchas especies podrían estar apareciendo o desapareciendo, muy condicionadas por factores externos,

como la llegada de propágulos de áreas próximas. El banco de semillas en el suelo se reajusta cada período de tiempo, pero no hacia una progresión-sustitución completa, al menos a corto plazo. Esto implica que la etapa C, aunque aparente ir alcanzando la madurez, debe evolucionar a largo plazo hacia una formación más estable.

4 Conclusiones

La Comunidad Valenciana sufre un importante proceso de abandono de tierras anteriormente dedicadas a la citricultura, especialmente en las inmediaciones de grandes núcleos urbanos. Aunque parte de estos terrenos puede no estar disponible a largo plazo para la colonización vegetal -muchos pueden ser en último término urbanizados-, otros han avanzado hasta etapas forestales dominadas por especies exóticas (Laguna *et al*., 2025). Los análisis realizados demuestran que existen diferencias entre las etapas sucesionales descritas en esos trabajos, siendo especialmente significativas las que hay entre la etapa inicial -A: cultivos aún remanentes de cítricos, con cobertura lianoide densa- y las otras dos: intermedia -B: dominancia de portainjertos y entrada de especies arbóreas exóticas- y final -C: neobosques de árboles no autóctonos-. Es muy probable que estas formaciones, cuya evolución se ha desarrollado en plazos muy cortos, deban estabilizarse en las próximas décadas, hasta alcanzar una composición florística y un banco de semillas más estables. Todo lo anterior, y lo ya citado sobre la influencia del número de inventarios en los resultados obtenidos, sugiere la conveniencia de profundizar en el futuro en el estudio de estas comunidades.

5 Referencias

Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis*. Wiley.

Braun-Blanquet, J. (1979): *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Editorial Blume.

Dag, O, Dolgun, A. & Konar, N. (2018). Onewaytests: An R Package for One-Way Tests in Independent Groups Designs. *The R Journal*, 10(1), 175-199. https://doi.org/10.32614/RJ-2018-022

De Cáceres, M. (2023). *indicspecies*: Relationship Between Species and Groups of Sites. R package.

De Cáceres, M. & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90, 3566–3574. https://doi.org/10.1890/08-1823.1

Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345–366. https://doi.org/ 10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2

Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*. 3rd ed. Sage Publishing. https://www.john-fox.ca/Companion/

Gotelli, N. & Ellison, A.M. (2013). *A Primer of Ecological Statistics*. Sinauer.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 9pp

Laguna, E., Ferrer-Gallego, P.P. & Guara, M. (2016). Propuesta de uso de índices de diversidad en inventarios fitosociológicos. En Gómez Zotano, J., Arias, J., Olmedo, J.A. & Serrano, J.L. (eds.): *Avances en Biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras* (pp. 240-248). Tundra Ediciones.

Laguna, E., Guara, M. & Ferrer-Gallego, P.P. (2025). Nuevos bosques dominados por especies exóticas: Ejemplos en la conurbación de Valencia (España). En Furlan, S.A., Díaz Sanz, M.C. & Lozano, P. (eds.): *Anais do Congresso Iberoamericano de Biogeografia - Conferência Brasileira de Biogeografia e Mudanças Climáticas - Congresso Espanhol de Biogeografia*. Associação Brasileira de Biogeografia, SIB y AGE - Even3 Publicações. https://static.even3.com/anais/896664.pdf

Legendre, P. & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology*. 3rd ed. Elsevier

Magurran, A.E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell.

Mangiafico, S. S. (2026). *rcompanion*: Functions to Support Extension Education Program Evaluation. https://CRAN.R-project.org/package=rcompanion/

Mateo, G. & Crespo, M.B. (2014). *Claves para la determinación de la flora valenciana*. Jolube.

Mateo, G., Crespo, M.B. & Laguna, E. (2024). *Flora Valentina V: Angiospermae (V): Rosaceae-Zygophyllaceae*. Jolube.

Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., … & Weedon, J. (2025). *Vegan: Community Ecology Package*. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan

Posit Team (2026). *RStudio*; (Version 2026.01.0 +392) [Software]. Posit. https://posit.co/download/rstudio-desktop/

R Core Team (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, https://www.R-project.org/

Trapletti, A. & Hornik, K. (2024). *_tseries:* Time Series Analysis and Computational Finance. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.tseries

Wickham, H. & Bryan, J. (2025). *readxl:* Read Excel Files. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.readxl

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L.D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T.L., Miller, E., Bache, S.M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D.P., Spinu, V., …& Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686

EJE 5: Biogeografía cultural y socioecológica

Fitogeografía de un bosque antropogénico desde la perspectiva de la biogeografía cultural: Floresta Nacional Mário Xavier (Río de Janeiro – Brasil)

Bueno Vargas, Karine [1, 2;] Fernandes Calazans, Pablo[1]; Lawall, Sarah[1]; Silva Montes, Jackson[1]; Angelo Furlan, Sueli[2] y Gomes Carvalho Bezerra, Renato[1]

[1] Departamento de Geografía, Grupo de Estudios en Biogeografía y Dinámicas del Paisaje, Laboratorio Integrado de Geografía Física Aplicada – LIGA, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Seropédica, Brasil.
[2] Laboratorio de Climatología y Biogeografía, Universidad de São Paulo – FFLCH, São Paulo, Brasil.
karinevargas@ufrrj.br

Resumen. La Floresta Nacional Mário Xavier (Flona MX), ubicada en el municipio de Seropédica, constituye la única unidad de conservación de la categoría Bosque Nacional en el estado de Rio de Janeiro (Brazil) y representa un ejemplo significativo de paisaje forestal históricamente construido. Su configuración actual resulta de la interacción entre prácticas humanas, políticas forestales y procesos ecológicos, especialmente vinculados a actividades de experimentación forestal y producción de plántulas entre las décadas de 1940 y 1980, antes de su creación como área protegida en 1986. Desde el enfoque de la Biogeografía Cultural, el paisaje es entendido como una expresión material de las relaciones socioculturales desarrolladas en el territorio a lo largo del tiempo. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo caracterizar y analizar la estructura y composición florística de la Flona MX, relacionando los patrones fitogeográficos con el historial de uso del suelo y las prácticas de manejo forestal. Se analizaron cuatro parcelas representativas de distintos contextos históricos de manejo, interpretadas como unidades de un paisaje forestal culturalmente producido. El inventario forestal se llevó a cabo en parcelas de 20 × 20 m, incluyendo árboles con circunferencia a la altura del pecho igual o superior a 15,7 cm. Se registraron 192 individuos pertenecientes a 22 familias botánicas y 49 especies. Los resultados fitosociológicos evidenciaron diferencias entre las parcelas asociadas a los distintos históricos de manejo. Las áreas con plantaciones homogéneas presentaron menor diversidad y estructura simplificada, mientras que las parcelas vinculadas a usos mixtos y producción de plántulas mostraron mayor riqueza florística, mayor complejidad estructural y presencia de especies frutales nativas, comunes en contextos domésticos, lo que indica la persistencia de huellas culturales en la vegetación. Aunque el predominio de especies pioneras sugiere un estadio sucesional inicial, la diversidad registrada y la coexistencia de especies adaptadas a ambientes antropizados y de alto valor ecológico evidencian una notable resiliencia socioecológica. Se concluye que la Flona MX constituye un bosque antropogénico cuya comprensión exige integrar dimensiones ecológicas e históricas, destacando la importancia de la Biogeografía Cultural en la interpretación y conservación de paisajes forestales transformados.

Palabras clave: Biogeografía cultural; paisaje forestal; bosque antropogénico; fitogeografía; historia ambiental.

Resumo. A Floresta Nacional Mário Xavier (Flona MX), localizada no município de Seropédica, constitui a única unidade de conservação da categoria Floresta Nacional no estado do Rio de Janeiro (Brasil) e representa um exemplo significativo de paisagem florestal historicamente construída. Sua configuração atual resulta da interação entre práticas humanas, políticas florestais e processos ecológicos, especialmente relacionados às atividades de experimentação florestal e produção de mudas entre as décadas de 1940 e 1980, antes de sua criação como área protegida em 1986. A partir da perspectiva da Biogeografia Cultural, o estudo compreende a paisagem como uma expressão material das relações socioculturais estabelecidas no território ao longo do tempo. Nesse sentido, o objetivo foi caracterizar e analisar a estrutura e a composição florística da Flona MX, articulando os padrões fitogeográficos com o histórico de uso do solo e as práticas de manejo florestal. Foram analisadas quatro parcelas representativas de diferentes contextos históricos de manejo, interpretadas como unidades de um mosaico florestal culturalmente produzido. O inventário foi realizado em parcelas de 20 × 20 m, incluindo indivíduos arbóreos com circunferência à altura do peito igual ou superior a 15,7 cm. Ao todo, foram registrados 192 indivíduos, distribuídos em 22 famílias botânicas e 49 espécies. Os resultados fitossociológicos evidenciaram diferenças entre as parcelas associadas aos distintos históricos de manejo. Áreas com plantios homogêneos apresentaram menor diversidade e estrutura simplificada, enquanto parcelas relacionadas a usos mistos e à produção de mudas demonstraram maior riqueza florística, maior complexidade estrutural e presença de espécies frutíferas nativas, comuns em quintais e sistemas domésticos, revelando a permanência de marcas culturais na vegetação. Embora o predomínio de espécies pioneiras indique um estágio sucessional inicial, a diversidade observada e a coexistência de espécies adaptadas a ambientes antropizados e de elevado valor ecológico evidenciam uma significativa resiliência socioecológica. Conclui-se que a Flona MX se configura como uma floresta antropogênica, cuja compreensão requer a integração entre processos ecológicos e históricos, ressaltando a relevância da Biogeografia Cultural para a interpretação e conservação de paisagens florestais transformadas.

Palavras-chave: Biogeografia cultural, paisagem florestal, floresta antropogênica, fitogeografia, história ambiental.

Abstract. The Floresta Nacional Mário Xavier (Flona MX), located in the municipality of Seropédica, is the only protected area classified as a National Forest in the state of Rio de Janeiro (Brazil) and represents a significant example of a historically constructed forest landscape. Its current configuration results from the interaction between human practices, forest policies, and ecological processes, particularly those related to forest experimentation and seedling production between the 1940s and 1980s, prior to its designation as a protected area in 1986. From the perspective of Cultural Biogeography, the study understands the landscape as a material expression of sociocultural relationships established in the territory over time. In this context, the objective was to characterize and analyze the structure and floristic composition of Flona MX, linking phytogeographic patterns with land-use history and forest management practices. Four sampling plots representing different historical management contexts were analyzed, interpreted as units of a culturally produced forest landscape. The forest inventory was conducted in 20 × 20 m plots, including tree individuals with a circumference at breast height equal to or greater than 15.7 cm. A total of 192 individuals were recorded, distributed across 22 botanical families and 49 species. Phytosociological analysis revealed contrasts among plots associated with different management histories. Areas with homogeneous plantations showed lower diversity and simplified structure, while plots linked to mixed uses and seedling production exhibited greater floristic richness, higher structural complexity, and the presence of native fruit species commonly found in domestic environments, indicating the persistence of cultural imprints in the vegetation. Although the predominance of pioneer species suggests an early successional stage, the observed diversity and the coexistence of species adapted to anthropogenic environments and those of high ecological value demonstrate notable socio-ecological resilience. It is concluded that Flona MX constitutes an anthropogenic forest whose understanding requires the integration of ecological and historical processes, highlighting the importance of Cultural Biogeography for interpreting and conserving transformed forest landscapes.

Keywords: Cultural biogeography, forest landscape; anthropogenic forest; phytogeography, environmental history.

1 Introducción

La Floresta Nacional Mário Xavier, única Floresta Nacional del Estado de Río de Janeiro, presenta un historial de uso y ocupación diversificado, estando ubicada en el municipio de Seropédica, en la Baixada Fluminense, bajo el dominio del bioma Mata Atlántica. Sus áreas de uso agrícola en la década de 1940, seguidas por la deforestación del bosque ombrófilo de tierras bajas, pasaron por un proceso de regeneración forestal asociado a la producción de plántulas, seguido de experimentación silvicultural, hasta convertirse en un área protegida de uso sostenible en 1986 (Souza y Vargas, 2025).

Para Alves et al. (2025), a lo largo de los años, en función de las atribuciones asignadas al área, se implementaron principalmente actividades orientadas al cultivo y a la experimentación de especies nativas de la Mata Atlántica, así como de especies exóticas del género *Eucalyptus*.

El análisis biogeográfico de esta área evidencia que la regeneración forestal está fuertemente condicionada por legados culturales, prácticas de manejo y arreglos institucionales "sin manejo ancestral", caracterizándola como un bosque antropogénico (Alves et al., 2025). Para Chazdon (2016), este tipo de bosque se define como aquel dominado por especies o gremios ecológicos de especies claramente asociados a múltiples actividades humanas superpuestas.

Para Perring et al. (2013), los bosques urbanos bajo transformaciones antropogénicas son considerados como nuevos ecosistemas compuestos por comunidades bióticas introducidas. Además, estos remanentes son continuamente moldeados por múltiples presiones antrópicas, lo que refuerza su carácter histórico y socialmente construido, resultado de la interacción a largo plazo entre procesos ecológicos y prácticas humanas en la organización del paisaje. Se ha verificado que áreas en barbecho de antiguos cultivos y bosques secundarios post-agrícolas en regiones tropicales presentan una mayor abundancia de especies utilizadas por los seres humanos en comparación con bosques maduros (Chazdon, 2016).

Segundo Oliveira (2007, p. 13), los paisajes, cuando son percibidos como territorio y espacios vividos, pueden presentar un gran número de especies secundarias y fisionomías heterogéneas en toda la Mata Atlántica, características de la interacción entre sociedad y naturaleza y de su histórico de uso y ocupación.

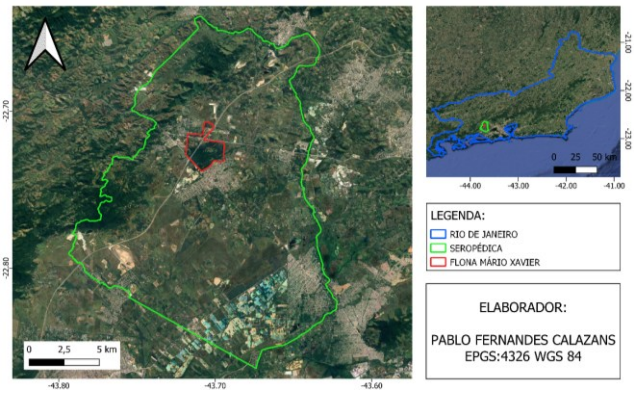


Fig. 1. Mapa de localización de la Flona Mário Xavier en el Estado de Río de Janeiro – Brasil.

2 Métodos o materiales y métodos

Para la realización del estudio, se adoptó un enfoque de inventario forestal en cuatro parcelas de muestreo, representativas de distintos contextos históricos de manejo, interpretadas como unidades de un paisaje forestal culturalmente producido. Las parcelas, con dimensiones de 20 × 20 m, incluyeron individuos arbóreos con circunferencia a la altura del pecho (CAP) ≥ 15,7 cm (equivalente a DAP ≥ 5 cm),

realizándose los trabajos de campo en el segundo semestre de 2025.

Se midieron variables dendrométricas, incluyendo la circunferencia a la altura del pecho, la altura total y las características del dosel de copa. La estructura diamétrica se analizó con base en la fórmula de Sturges. Además, se aplicó la metodología de Braun-Blanquet (1979) para la evaluación del grado de cobertura del suelo, la sociabilidad de las especies y la estratificación vertical de la vegetación.

3 Resultados

En el levantamiento fitogeográfico se registraron 189 individuos distribuidos en 23 familias, con una riqueza de 49 especies, observándose algunas familias muy abundantes en contraste con otras con uno o pocos individuos muestreados. La familia Fabaceae – Mimosoideae, con 49 individuos (25,5%), y la familia Erythroxylaceae, con 46 individuos (24%), concentraron el 49,5% del número total de individuos (Fig. 1).

De igual forma, al analizar las especies, *Erythroxylum pulchrum* (Arco de Pipa) presentó 46 individuos (23,96%), *Mimosa caesalpiniifolia* (Sabiá) 23 (11,98%), *Joannesia princeps* (Cutieira) 13 individuos (6,77%), *Gallesia integrifolia* (Sprengel) Harms (Pau d'alho) 12 individuos (6,25%) y *Gmelina arborea* (Guimelina) 8 individuos (4,17%), concentrando en conjunto el 53,13% del total de indivíduos (Tabla 1, Fig. 2).

Al comparar las especies entre las áreas, se observó que ningún individuo fue común a las cuatro parcelas, mientras que *Erythroxylum pulchrum* (Arco de Pipa) y *Joannesia princeps* (Cutieira) estuvieron presentes en tres parcelas (4,1%). Por su parte, *Anadenanthera colubrina* (Angico blanco), *Inga laurina* (Ingá mirim), *Mimosa caesalpiniifolia* (Sabiá), *Melia azedarach* (Cinamomo), *Samanea tubulosa* (Samanéia), *Ceiba speciosa* (Painera rosa), *Guarea guidonea* (Carrapeta) y *Trichilia catigua* (Catigua mirim) (16,3%) estuvieron presentes en dos de las cuatro áreas, mientras que 39 especies (79,6%) ocurrieron exclusivamente en una sola parcela.

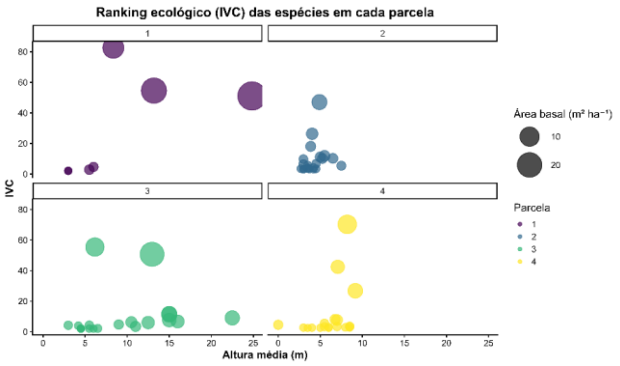


Fig. 2: Ranking de IVC x Altura média x Área Basal das espécies.

Tabla 1: Ranking del IVC con sumatoria mínima del 50% en cada parcela (**DR** – Densidad Relativa; **DOR** – Dominancia Relativa; **IVC** – Índice de Valor de Cobertura).

Parcela	Nome Científico	Nome Popular	DR	DOR	IVC
1	Erythroxylum pulchrum	Arco de pipa	62,75 %	19,86 %	41,30 %
1	Joannesia princeps Vell.	Cutieira	21,57 %	33,01 %	27,29 %
2	Samanea tubulosa (Benth.) Barneby & J.W.Grimes	Samanéia	12,20 %	34,87 %	23,53 %
2	Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong	Tamboril	14,63 %	11,72 %	13,18 %
2	Anadenanthera Colubrina	Angico Branco	12,20 %	5,91 %	9,05 %
2	Albizia niopoides (Spruce ex Benth.) Burkart	Farinha Seca	2,44 %	9,43 %	5,94 %
3	Mimosa caesalpiniifolia	Sabiá	40,74 %	16,78 %	28,76 %
3	Gmelina Arborea	Guimelina	14,81 %	35,87 %	25,34 %
4	Gallesia integrifolia (Sprengel) Harms	Pau d'alho	26,67 %	46,82	36,74
4	Erythroxylum pulchrum	Arco de pipa	28,89 %	15,03	21,96

4 Discusión

La P1 se encuentra en las proximidades de la sede de la Floresta Nacional Mário Xavier, caracterizada como un rodal de *Eucalyptus spp.* Según Santos (1999), en 1945 se introdujeron especies exóticas del género *Eucalyptus,* cuyas primeras plantaciones originaron nuevas plántulas que corresponden a los eucaliptos actualmente presentes en el área. Estos se encuentran en el final de su ciclo de vida, con individuos aislados vivos y algunos muertos. La P1 presentó la menor riqueza (7 especies) y una elevada dominancia de pocas especies, con una DR de *Erythroxylum pulchrum* de 62,74% y una DoR de *Eucalyptus L'Hér.* de 45,2%, lo que sugiere baja diversidad funcional. Asimismo, presentó la mayor área basal entre las parcelas debido a la presencia de *Eucalypt*us y una estructura vertical poco compleja.

La P2, también ubicada próxima a la sede de la Flona Mário Xavier, se inserta en un contexto de restauración forestal a partir del reforestamiento con especies de la Mata Atlántica, iniciado en octubre de 2019. Presentó la mayor riqueza de especies (21 especies), correspondiente a un área de compensación ambiental; sin embargo, estructuralmente fue la que presentó los menores valores, como la menor densidad por m², área basal total, media y mediana de DAP y altura, evidenciando baja complejidad. Un factor crítico fue

la presencia masiva de *Panicum maximum* (pasto guinea), que ocupa gran parte de la parcela.

La P3 se sitúa en el área central de la unidad de conservación, en las proximidades de la carretera principal y en la parte posterior del antiguo vivero desactivado, extendiéndose hacia un patio de la antigua villa operaria. El paisaje se inserta en una de las áreas de mayor biodiversidad de la Flona Mário Xavier, dado que las plántulas producidas en el vivero eran distribuidas y plantadas en el entorno, formando un rodal mixto de especies arbóreas nativas y exóticas. Con una riqueza de 20 especies, fue la parcela que presentó mayor heterogeneidad vertical y elevada área basal total, destacándose la presencia de especies frutales nativas como *Plinia peruviana* (jabuticaba), comunes en patios y huertos.

La P4 consiste en un rodal mixto plantado entre 1949 y 1950 con 49 especies de la flora brasileña (Alves, 2019), con registros de introducción de especies de forma aislada o en pequeños grupos como estrategia de enriquecimiento vegetativo (Santos, 1999), realizada por los propios trabajadores del Horto Florestal de Santa Cruz. En la parcela muestreada se registraron 46 individuos pertenecientes a 17 especies y 12 familias botánicas. Las familias Erythroxylaceae y Phytolaccaceae presentaron el mayor número de individuos, correspondiendo al 28,26 % (n=13) y al 26,09 % (n=12) del total muestreado, respectivamente. Entre las especies, *Erythroxylum pulchrum* (arco de pipa) y *Gallesia integrifolia* (palo de ajo) se destacaron por presentar las mayores abundancias, contribuyendo significativamente a la estructura de la comunidad vegetal analizada. Estructuralmente, presentó valores intermedios en todas las métricas y, en comparación, una estructura más compleja que la P2.

5 Conclusiones

La investigación destacó que cerca del 80% de las especies presentaron ocurrencia exclusiva en una única parcela, lo que indica baja similitud florística y alta especificidad entre las áreas muestreadas. La predominancia de especies pioneras sugiere un estadio sucesional inicial; sin embargo, la diversidad observada y la presencia de plántulas de especies secundarias indican un potencial de evolución hacia estadios más maduros. Las diferencias florísticas y estructurales entre las parcelas reflejan distintos históricos de uso y manejo, mientras que la coexistencia de especies adaptadas a ambientes antropizados y de mayor valor ecológico evidencia la resiliencia del ecosistema. Estos resultados refuerzan la importancia de la conservación de la biodiversidad en la Flona MX para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos y destacan la necesidad de comprender los mosaicos ambientales en las unidades de conservación, con el fin de subsidiar acciones más eficaces de restauración y conservación.

6 Referencias

Alves, A. G., & Vargas, K. B. (2019). Espacialização fitofisionômicas de espécies arbóreas da Floresta Nacional Mário Xavier, Seropédica-RJ. *Revista Continentes*, 8(15).

Alves, A. G., Vargas, K. B., Ribeiro, E. D. S., & Souza, G. M. (2025). Evolução da paisagem da Floresta Nacional Mário Xavier – Seropédica (RJ): Transformações ocorridas entre 1990 e 2020. *Revista Ciência Geográfica*, 29, 1843–1858.

Braun-Blanquet, J. (1979) Fitosociologia. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.ed.Blume,Madrid.

Chazdon, R. L. (2016). *Renascimento de florestas: Regeneração na era do desmatamento* (N. Amazonas & R. C. César, Trads.). Oficina de Textos.

Santos, L. A. F. (1999). *Floresta Nacional Mário Xavier: Uma proposta de planejamento ambiental* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Instituto de Florestas).

Souza, T. R. R. S., & Vargas, K. B. (2025). Sementes e mudas: A construção do Horto Florestal de Santa Cruz (RJ). Revista Pilares da História, 1, 1.

Oliveira, R. R. de (2007). Mata Atlântica, paleoterritórios e história ambiental. Ambiente & Sociedade. Campinas v. x, nº 2, jul-dez, p. 11-23.

Perring, M. P., Standish, R. J., & Hobbs, R. J. (2013). Novel urban ecosystems and ecosystem services. In R. J. Hobbs, E. S. Higgs, & C. M. Hall (Eds.), *Novel ecosystems: Intervening in the new ecological world order* (pp. 310–325).

Recursos biogeográfico-paisajísticos de la Cruz de Priena (Covadonga, Parque Nacional de Picos de Europa, Asturias)

Beato Bergua, Salvador[1], Poblete Piedrabuena, Miguel Ángel[1] y Marino Alfonso, José Luis[1]

[1]Departamento de Geografía, Universidad de Oviedo, C/ Francisco Rodríguez García, s/n. 33011 Oviedo, España
beatosalvador@uniovi.es

Resumen. Se analiza la relación entre paisaje, patrimonio y dinámica socioecológica en Covadonga (Parque Nacional de los Picos de Europa), empleando la Cruz de Priena como observatorio biogeográfico. Mediante revisión bibliográfica, análisis cartográfico y trabajo de campo se identifican los recursos biogeográficos y paisajísticos y se caracteriza la vegetación. El área presenta alta diversidad condicionada por litología, clima y acción antrópica histórica, configurando un mosaico eurosiberiano con hábitats de interés comunitario. La organización altitudinal, la disimetría de laderas y la sucesión vegetal explican el paisaje actual. Se destaca su valor para la interpretación ambiental y la sensibilización frente al cambio global.

Palabras clave: Paisaje vegetal, Dinámica socioecológica, Hábitats de interés comunitario, Interpretación ambiental, Picos de Europa.

Resumo. O estudo analisa a relação entre paisagem, patrimônio e dinâmica socioecológica em Covadonga (Parque Nacional dos Picos da Europa), utilizando a Cruz de Priena como observatório biogeográfico. Por meio de revisão bibliográfica, análise cartográfica e trabalho de campo, identificam-se unidades de paisagem e caracteriza-se a vegetação. A área apresenta elevada diversidade condicionada pela litologia, clima e ação antrópica histórica, configurando um mosaico eurosiberiano com habitats de interesse comunitário. A organização altitudinal, a dissimetria das vertentes e a sucessão vegetal explicam a paisagem atual. Destaca-se o seu valor para a interpretação ambiental e a sensibilização face às mudanças globais.

Palavras-chave: Paisagem vegetal, Dinâmica socioecológica, Habitats de interesse comunitário, Interpretação ambiental, Picos da Europa

Abstract. This study analyzes the relationship between landscape, heritage, and socioecological dynamics in Covadonga (Picos de Europa National Park), using the Cruz de Priena as a biogeographical observation point. Through literature review, cartographic analysis, and fieldwork, landscape units are identified and vegetation is characterized. The area shows high diversity shaped by lithology, climate, and historical human activity, forming a Eurosiberian mosaic with habitats of community interest. Altitudinal organization, slope asymmetry, and vegetation succession explain the current landscape. Its value for environmental interpretation and awareness of global change is highlighted.

Keywords : Vegetation landscape, Socioecological dynamics, Habitats of community interest, Environmental interpretation, Picos de Europa

1 Introducción

El Parque Nacional de los Picos de Europa fue declarado mediante Ley 16/1995, comprendiendo territorio de tres Comunidades Autónomas. Mucho antes, en 1916, se promulgaba la Ley de Parques Nacionales que inició en España las normativas para proteger el paisaje y la naturaleza, emulando el modelo conservacionista estadounidense. Desde entonces se ha ido desarrollando la legislación a nivel europeo, estatal y autonómico para un correcto manejo de su patrimonio natural y cultural. Al Principiado de Asturias le corresponde la gestión de 27.477 hectáreas del espacio protegido, para lo que se ha actualizado el Plan Rector de Uso y Gestión de su ámbito territorial (Gobierno del Principado de Asturias, 2026). En este documento se recoge el presupuesto económico y el interés sociopolítico para desarrollar estrategias de conservación a escala biogeográfica, la conservación de hábitats, flora y vegetación, así como la educación e interpretación ambiental en la que los recursos biogeográfico-paisajísticos del Parque Nacional son elementos fundamentales.

Entre sus componentes, Covadonga es un enclave de gran relevancia histórica, religiosa y paisajística. En el valle del río Reinazo se localiza el Real Sitio de Covadonga, la Santa Cueva, como núcleo simbólico, la Basílica de Santa María la Real de Covadonga y otros elementos monumentales y escultóricos como la estatua de Don Pelayo o la cruz metálica sobre el monte Priena. Esta última posee un gran valor simbólico y funciona como un destacado mirador paisajístico desde el que se obtienen amplias vistas del entorno de

Covadonga y de los macizos montañosos circundantes, reforzando así la conexión entre patrimonio cultural, legado histórico y medio natural. En efecto, Covadonga es un espacio complejo y simbólico que no puede entenderse sino como una construcción histórica en la que se superponen dimensiones geográficas, religiosas, culturales e identitarias. Su análisis requiere una deconstrucción que permita identificar las tensiones y procesos de ese imaginario en transformación con nuevas funciones como el turismo (Fernández et al., 2024).

En todo caso, la construcción de la imagen científica de los Picos de Europa comenzó en el siglo XIX, consolidándose con su declaración como parque nacional, impulsada por ciencia y exploración y generando conflictos con las poblaciones locales por las restricciones a usos tradicionales. El estudio del paisaje fue evolucionando en la segunda mitad del siglo pasado hacia enfoques integradores, como el de Bertrand (1974), que entendió este territorio como un sistema dinámico donde naturaleza y sociedad interactúan (Castañón y Frochoso, 2007). En este sentido, el objetivo de este trabajo es examinar la configuración paisajística en Covadonga, en el contexto de globalización socioeconómica y cambio global, atendiendo especialmente a los valores biogeográficos observables desde la Cruz de Priena.

2 Materiales y métodos

El método de trabajo ha consistido en el acopio de la información disponible sobre la vegetación del ámbito de estudio y el trabajo de campo y gabinete. Así, se han analizado estudios especializados como el de Rivas et al. (1984) o Luceño y Vargas (1995), regionales (INDUROT, 1994; Díaz, 2014) y relacionados con el espacio natural protegido (Gobierno del Principado de Asturias, 2022 y 2026), así como la cartografía del Instituto Geográfico Nacional y las ortofotografías del PNOA. Por otro lado, se ha recorrido el espacio de trabajo con especial atención a la ruta de ascenso a la Cruz de Priena, tomando información sobre las formaciones vegetales (composición, estructura, recubrimiento), las dinámicas geomorfológicas y edáficas, los usos y las posibilidades visuales de capturar los paisajes del valle del río Reinazo a través de fotografías. A partir de los datos, así como de las imágenes se identificaron unidades observables desde la Cruz de Priena, además de los distintos elementos patrimoniales de la vegetación o relacionados con esta. En este sentido, se ha tenido en consideración la información relativa a los Hábitats de Interés Comunitario por la pertenencia de este enclave a una Zona de especial Conservación de la Red Natura 2000.

2.1 El caso de estudio

La Cruz de Priena (725 m s. n. m.) es una modesta cumbre situada en el extremo noroccidental del Parque Nacional Picos de Europa (concejo de Cangas de Onís, Asturias), que sirve de mirador natural sobre el Santuario de Covadonga, Monte Auseva y los bastiones calcáreos del Macizo Occidental de los Picos de Europa, así como del valle de río Reinazo. Este curso fluvial es un afluente del río Güeña que discurre con dirección SE-NO enmarcado por las sierras de Covadonga al OSO y de Covalierda por el ENE, en cuyo extremo septentrional se halla la Cruz de Priena. El Reinazo se nutre de las aguas acogidas en el sistema kárstico subterráneo de Covadonga, macizo carbonatado que apenas supera los 1.000 m de altitud, que afloran en fuentes entre los 300 y los 450 m para desembocar finalmente por debajo de los 100 m tras un recorrido de unos 7 kilómetros.

Desde el punto de vista geológico, los materiales carbonatados del Carbonífero de la Sierra de Covadonga cabalgan hacia el N sobre las cuarcitas masivas ordovícicas de la Formación Barrios que afloran en posición anticlinal armando la Sierra de Covalierda. El ascenso a la Cruz de Priena se desarrolla así por una ladera cuarcítica orientada al S si bien a partir de los 600 m de altitud nos encontramos con una banda de la Formación Alba o de las calizas Griotte y, finalmente, con las calizas carboníferas de la Formación Barcaliente que constituyen la cumbre y todo el sector al norte de la unidad junto a los materiales de la Formación Gamonedo (lutitas, margas, conglomerados y calizas del Carbonífero Superior).



Fig. 1. Localización del área de estudio y la cuenca visual cercana desde la Cruz de Priena. Fuente: IGN.

Esta constitución litológica está afectada en la actualidad por un clima templado húmedo, con precipitaciones anuales por encima de los 1000 mm y una temperatura media anual en torno a los 13ºC de escasa oscilación térmica. Así, el área de estudio forma parte de la región Eurosiberiana, provincia Atlántica Europea, subprovincia Cántabro-atlántica, sector Serrano Cuerano y Suevense, caracterizado por las series de vegetación de las carbayedas con abedules (*Blechno spicanti-Quercetum roboris* S.) o con arces y fresnos (*Polysticho setiferi-Fraxinetum excelsioris* S.), las alisedas ribereñas orientales (*Hyperico androsaemi-Alnetum glutinosae* S.), los hayedos con mercurial (*Carici sylvaticae-Fagetum sylvaticae* S.), encinares cantábricos (*Lauro nobilis-Quercetum ilicis* S.) y saucedas blancas arborescentes (*Salicetum angustifolio-albae* S.).

En todo caso, el paisaje vegetal ha estado profundamente condicionado por la acción antrópica desde el Neolítico. Estas prácticas favorecieron la regresión de formaciones boscosas al tiempo que promovieron otras adaptadas a la

intervención humana. En el sistema agro-pastoril tradicional, caracterizado por el aprovechamiento integral de los recursos, el monte desempeñaba un papel esencial. En la actualidad, pese a cierta recuperación de la cubierta forestal debido a la disminución de la presión rural, persisten impactos significativos derivados de incendios, infraestructuras forestales y procesos asociados a los cambios de uso, que continúan alterando la estructura y composición del paisaje vegetal. El monte Priena fue declarado de utilidad pública (dentro del MUP n.º 092 "Montaña de Covadonga") y es accesible a través de una ruta de senderismo, muy visitada por su notable interés, que asciende desde las inmediaciones del santuario y se integra en el paisaje del Parque Nacional.

3 Resultados

3.1 El paisaje vegetal y su patrimonio

Las formaciones vegetales del valle del río Reinazo son las características de los pisos colino y montano del oriente de Asturias, fuertemente transformadas por las actividades antrópicas tradicionales y actuales. El curso fluvial está custodiado por un bosque galería característico con gran presencia del aliso (*Alnus glutinosa*). En el fondo del valle todavía persisten prados de siega y algunas plantaciones de castaño (*Castanea sativa*) junto a espacios en desuso que van dando paso a helechales y brezales-tojales. En el entorno del Santuario de Covadonga se desarrollan bosques de carbayo (*Quercus robur*), fresno (*Fraxinus excelsior*), arce (*Acer pseudoplatanus*), e incluso haya (*Fagus sylvatica*), así como de laurel (*Laurus nobilis*) con aladierno (*Rhamnus alaternus*), en relación con sustratos carbonatados. En la vertiente silícea de Covalierda la orientación solana (y, por tanto, la vocación ganadera tradicional), la dinámica de laderas y los incendios explican en buena medida la menor extensión de las formaciones arbóreas, representadas en buena medida por plantaciones de castaño, eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y roble americano (*Quercus rubra*), con algunos bosques de carbayo y abedul (*Betula pubescens* ssp. *celtiberica*) en la parte baja de la ladera. En todo caso, buena parte de este afloramiento cuarcítico se encuentra tapizado por un continuo brezal-tojal caracterizado por la presencia de *Ulex gallii, Ulex cantabricus Erica mackaiana*, *Erica cinerea, Erica ciliaris*, *Daboecia cantabrica* y *Pteridium aquilinum*,

Así pues, el ascenso a la Cruz de Priena nos lleva desde las alisedas del fondo del valle y los bosques de castaño y carbayo, a grandes espacios arbustivos en las fuertes pendientes con repoblaciones antiguas, de eucalipto y roble americano, y recientes, de especies autóctonas como el carbayo y el abedul. Llegando a la cumbre afloran materiales carbonatados que explican las formaciones arbustivas ricas en aulaga (*Genista hispanica* ssp. *occidentalis* y, en mucha menor medida, *Genista legionensis*) y tojos (*Ulex europaeus*), *Crataegus monogyna* y *Prunus spinosa*, entre otros arbustos y enredaderas que se alternan con algunas zonas de pasto herbáceo.

Desde la cumbre del monte Priena se puede ver una de las principales entradas al Parque Nacional, la de subida a los Lagos de Covadonga, así como el propio Santuario, integrados en un paisaje vegetal de gran valor patrimonial. Si nos atenemos a los hábitats de interés comunitario de esta conformación paisajística queda manifiesta no solo la riqueza sino la diversidad: en el fondo del valle Bosques aluviales de *Alnus glutinosa* y *Fraxinus excelsior* (91E0), Prados de heno de tierras bajas (6510), Bosques mixtos eutrofos de carbayo y fresno (9160); en la subida a la Cruz de Priena, Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas con *Erica ciliaris* y *Erica tetralix* (4020), Brezales oromediterráneos endémicos con aliaga (4090); y también observables desde este monte, Brezales secos europeos (4030) y Bosques de *Ilex aquifolium* (9380).



Fig. 2. Fotografía de la vista desde la Cruz de Priena hacia las cumbres de los Picos de Europa. En primer plano se observan las laderas silíceas arbustivas de Covalierda; más allá, sobre materiales carbonatados, diversos bosques y matorrales eutrofos.

3.2 Recursos biogeográfico-paisajísticos

La ruta para subir a la Cruz de Priena está bien señalizada desde uno de los primeros aparcamientos de Covadonga en la AS-262, cerca del kilómetro 6. Se trata de un camino con mucha pendiente pues se ascienden unos 525 m (entre los 200 y los 725 m s. n. m.) haciendo zigzag a lo largo de más de 5 km. El recorrido se inicia atravesando un bosque diverso de planocaducifolias en contacto con sendas plantaciones de eucalipto y roble americano. No obstante, buena parte de la senda transcurre por una formación arbustiva dominada fundamentalmente por tojos, entre la que se dispersan algunos individuos arbóreos de eucalipto, carbayo, fresno, etc. En la parte más elevada se desarrollan algunas plantaciones (de roble americano, sobre todo) y bosque de carbayo, abedul, fresno y acebo que dan paso a formaciones eutrofas asociadas al afloramiento calizo (aulagares, formaciones arbustivas y arborescentes basófilas). Sobre la ladera se ha actuado en reiteradas ocasiones durante el siglo XXI con repoblaciones forestales, la última después del incendio de febrero de 2021, tratando de restaurar la cubierta vegetal

con especies autóctonas (MITECO, 2021). Además de las transformaciones ocasionadas por las actividades antrópicas, generalmente para el usufructo ganadero y la restauración ecológica, la vertiente presenta una dinámica muy activa gravitacional, en el pasado animada por la arroyada y la nieve, que explican también la existencia de árboles fracturados o arrancados. Se trata de un espacio muy útil para la interpretación y explicación de dinámicas naturales y culturales relacionadas con la vegetación. Por otra parte, todo el recorrido y especialmente la cumbre constituye un mirador excepcional sobre el Santuario de Covadonga y los Picos de Europa, así como sobre el paisaje vegetal y su patrimonio. Desde esta perspectiva se puede observar la tradicional disimetría entre laderas solanas y de umbría, la permanencia de praderías en el fondo del valle y espacios con buen acceso, el avance de la sucesión vegetal sobre prados y pastos de peor accesibilidad, así como la organización altitudinal del paisaje vegetal en pisos biogeográficos (Fig. 3).

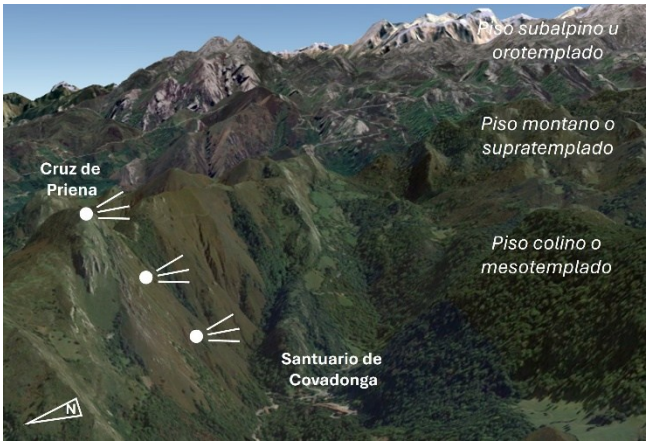


Fig. 3. Composición sobre captura de Google Earth de la entrada al Parque Nacional de los Picos de Europa por Covadonga. En la imagen se señalan las posibilidades de observación de los diferentes pisos biogeográficos y su composición paisajística.

4 Discusión

La Unión Europea reconoce espacios de alto valor ecológico incluyéndolos en la Red Natura 2000. En el área cuestionada se pueden analizar e interpretar estas formaciones vegetales que acogen importantes relaciones ecológicas (Rivas et al., 1984; Luceño y Vargas, 1995; Gobierno del Principado de Asturias, 2022 y 2026) y explicar el contexto histórico y cultural en el que se ha fraguado su protección (Castañón y Frochoso, 2007; Fernández et al., 2024), así como la importancia del paisaje picoeuropeano (Bertrand, 1974; Castañón y Frochoso, 2007); los riesgos de cambio o desaparición debidos a cambios de uso, intensificación turística, incendios o dinámicas naturales (geomorfológicas, climáticas o de la propia sucesión vegetal). El potencial pedagógico y divulgativo de la vegetación en el entorno de Covadonga y la Cruz de Priena es muy elevado sin necesidad de infraestructuras ni equipamientos añadidos, más si cabe por su emplazamiento en una de las entradas a un Parque Nacional que recibe más de 1,5 millones de visitantes al año, cifras parecidas a las del propio Santuario. El paisaje vegetal puede constituir uno de los ejes de sensibilización medioambiental y de reflexión sociocultural sobre el pasado, presente y futuro del patrimonio de la montaña asturiana.

5 Conclusiones

El monte Priena constituye un espacio de alto interés por su papel de mirador natural sobre el Santuario de Covadonga y el paisaje vegetal. El itinerario analizado permite observar la relación dinámica y paisajística entre procesos naturales y acción humana, así como diversos hábitats de gran interés para su conservación como los Brezales húmedos atlánticos de zonas templadas con *Erica ciliaris* y *Erica tetralix* (4020) y los de los códigos 9380, 9160, 91E0, 6510, 4090, 4030.

6 Referencias

Bertrand, G. (1974). *Essai sur la systématique du paysage : les montagnes cantabriques centrales (Nord-ouest de l'Espagne)*. These de doctorat d'Etat, Université de Toulouse Le Mirail.

Castañón Álvarez, J. C. & Frochoso Sánchez, M. (2007). La naturaleza del paisaje en el Parque Nacional de Picos de Europa. En *La conservación del paisaje en los parques nacionales* (pp. 177-212). Servicio de Publicaciones.

Fernández, J., Menéndez, A., Rebollar, L.M., Carbalido, E., Llamedo, C. y Cepeda, L. (2024). *Covadonga / Cuadonga*. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática.

Gobierno del Principado de Asturias (2022). Hábitats de Interés Comunitario 1:5.000. Consejería de Medio Rural y Cohesión Territorial. Disponible en Visor MedioAmbiente

Gobierno del Principado de Asturias (2026). Decreto 21/2026, de 16 de marzo, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Nacional de los Picos de Europa en el ámbito territorial del Principado de Asturias. Consejería de Movilidad, Medio Ambiente y Gestión De Emergencias.

INDUROT (1994). Cartografía temática ambiental. Mapa de vegetación. Escala 1:25.000. Oviedo: Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Gobierno del Principado de Asturias.

Luceño, M. y Vargas, P. (1995). *Guía botánica de los Picos de Europa*. Pirámide.

MITECO (2021). Actuación de emergencia para repoblar 100 hectáreas de la Montaña de Covadonga (Asturias) afectadas por el incendio forestal del pasado mes de febrero. Disponible en Nota de prensa.

Rivas, S., Diaz, T.E., Fernandez, J.A., Loidi, J. y Penas, A. (1984). *La vegetación de alta montaña Cantábrica. Los Picos de Europa*. Ed. Leonesa.

Servicios ecosistémicos de manglares. Reserva extractiva marina Cururupu, Maranhão, Brasil

Furlan, Sueli[1] y Macario, Laura[1]

[1] Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, Av. Prof. Lineu Prestes, 38, Butantã, São Paulo, SP, Brasil
lauraalmeida@usp.br

Resumo. Os manguezais são ecossistemas costeiros reconhecidos pela diversidade de serviços ecossistêmicos (SEs), com destaque para a captura de carbono azul em um contexto de mudanças climáticas. O local de estudo escolhido, foi a Reserva Extrativista Marinha de Cururupu (RESEX Marinha de Cururupu), localizada no litoral ocidental do Maranhão, que faz parte da maior faixa contínua de manguezais do planeta. A pesquisa baseou-se em levantamento bibliográfico, trabalhos de campo realizados em 2022 e 2024, com entrevistas semiestruturadas baseadas na classificação CICES, e estimativa indireta de carbono a partir de dados secundários. Foram identificados 24 serviços ecossistêmicos distintos nas comunidades de Lençóis, Guajerutiua, Peru e Caçacueira, predominando os serviços de provisão (pesca, coleta de caranguejo, madeira, plantas medicinais). A estimativa de carbono total atingiu 23.139.000 Mg C (428,5 Mg C/ha). Os manguezais da RESEX Marinha de Cururupu combinam alta capacidade de armazenamento de carbono com relevância sociocultural para comunidades tradicionais, evidenciando a necessidade de proteção integrada diante de tensores como o avanço de dunas e a elevação do nível do mar.

Palavras-chave: Manguezal; carbono azul; serviços ecossistêmicos; RESEX Cururupu; captura de carbono.

Resumen. Los manglares son ecosistemas costeros reconocidos por la diversidad de servicios ecosistémicos (SE), destacándose la captura de carbono azul en un contexto de cambio climático. El sitio de estudio elegido fue la Reserva Extractivista Marina de Cururupu (RESEX Marina de Cururupu), ubicada en el litoral occidental de Maranhão, que forma parte de la franja continua de manglares más grande del planeta. La investigación se basó en un levantamiento bibliográfico, trabajos de campo realizados en 2022 y 2024, con entrevistas semiestructuradas basadas en la clasificación CICES, y una estimación indirecta de carbono a partir de datos secundarios. Se identificaron 24 servicios ecosistémicos distintos en las comunidades de Lençóis, Guajerutiua, Peru y Caçacueira, predominando los servicios de aprovisionamiento (pesca, recolección de cangrejo, madera, plantas medicinales). La estimación de carbono total alcanzó 23.139.000 Mg C (428,5 Mg C/ha). Los manglares de la RESEX Marina de Cururupu combinan una alta capacidad de almacenamiento de carbono con relevancia sociocultural para las comunidades tradicionales, evidenciando la necesidad de protección integrada frente a tensiones como el avance de dunas y la elevación del nivel del mar.

Palabras clave: Manglar; carbono azul; servicios ecosistémicos; RESEX Cururupu; captura de carbono.

Abstract. Mangroves are coastal ecosystems recognized for their diversity of ecosystem services (ES), especially blue carbon capture in the context of climate change. The chosen study site was the Cururupu Marine Extractive Reserve (RESEX Marinha de Cururupu), located on the western coast of Maranhão, which is part of the largest continuous mangrove belt on the planet. The research was based on a literature review, fieldwork carried out in 2022 and 2024, with semi-structured interviews based on the CICES classification, and indirect carbon estimation using secondary data. Twenty-four distinct ecosystem services were identified in the communities of Lençóis, Guajerutiua, Peru, and Caçacueira, with provisioning services (fishing, crab gathering, timber, medicinal plants) prevailing. The estimated total carbon reached 23,139,000 Mg C (428.5 Mg C/ha). The mangroves of the RESEX Marinha de Cururupu combine high carbon storage capacity with sociocultural relevance for traditional communities, highlighting the need for integrated protection in the face of stressors such as dune advancement and sea-level rise.

Keywords: Mangrove; blue carbon; ecosystem services; Cururupu RESEX; carbon capture.

1 Introdução

Os manguezais são ecossistemas de transição entre ambientes marinhos e terrestres, ocorrendo em zonas tropicais e subtropicais. Apesar de representarem apenas 0,5% da área costeira dos oceanos, contribuem com cerca de 14% da captura de carbono nos oceanos (Alongi, 2012), sendo classificados como ecossistemas de carbono azul. Sua capacidade de armazenamento supera a de florestas tropicais terrestres quando comparadas a áreas equivalentes, devido às condições anaeróbicas dos solos e à constante sedimentação.

O Brasil possui a segunda maior extensão de manguezais do mundo (aproximadamente 8,5% do total global), com destaque para a Amazônia que abriga a maior faixa contínua do ecossistema. O Maranhão concentra cerca de 36% dos manguezais brasileiros, beneficiado por fatores como temperatura tropical (média 20-30°C), elevada pluviosidade (>2000 mm anuais) e amplitude de marés de até 7 metros, que amplia a área de contato com água salobra (ICMBio, 2018; Schaeffer-Novelli, 1995).

A RESEX Marinha de Cururupu, criada em 2004, possui aproximadamente 180 mil hectares, dos quais 54 mil hectares são de manguezais. Abriga 12 comunidades tradicionais que dependem diretamente dos serviços ecossistêmicos para subsistência, identidade cultural e bem-estar. Este artigo tem como objetivos: (1) identificar e classificar os principais serviços ecossistêmicos utilizados pelas comunidades da RESEX Cururupu com base no método CICES; (2) estimar o estoque de carbono azul armazenado nos manguezais da reserva; e (3) discutir os principais tensores de mudança que ameaçam esse ecossistema.

2 Metodologia

A pesquisa foi estruturada em três etapas:

1.Levantamento bibliográfico: utilizando como base de pesquisa o Google Scholar; Research Gate e o acervo presentes nas bibliotecas da Universidade de São Paulo.

2. Trabalho de campo: 2022 e 2024 – Projeto CNPq "Vulnerabilidades Socioambientais na Zona Costeira Maranhense: usos múltiplos, serviços ecossistêmicos e alterações climáticas".

2.1 Elaboração de entrevistas semiestruturadas com as comunidades locais. Foram visitadas as comunidades de Lençóis, Caçacueira, Peru e Guajerutiua, aplicando entrevistas semiestruturadas baseadas na classificação do Common International Classification of Ecosystem Services (CICES - Haines-Young & Potschin, 2018). Registraram-se observações de paisagem e registros fotográficos.

2.2 Sistematização e classificação do serviços ecossistêmicos

3. Estimativa indireta do estoque de carbono pelos manguezais da RESEX Marinha de Cururupu a partir de dados bibliográficos e área de mangue dentro da área de estudo.

3 Resultados

3.1 Serviços Ecossistêmicos na RESEX Cururupu

Foram identificados 24 serviços ecossistêmicos distintos nas quatro comunidades visitadas, distribuídos nas três categorias CICES, foram 11 serviços de provisão na Ilha de Lençóis; 5 de regulação e manutenção; e 4 de serviços culturais. Na ilha de Guajerutiua observou-se 6 serviços de provisão; 5 serviços de regulação; 3 serviços culturais. Na comunidade de Peru, foram 10 serviços de provisão; os mesmo 5 de regulação e 2 culturais. Por fim, na ilha de Caçacueira foram identificados 9 serviços de provisão; 5 de regulação; 5 serviços culturais. Totalizando 24 serviços ecossistêmicos distintos dentro da RESEX Marinha de Cururupu (Pesca; coleta de camarão e caranguejo; plantas medicinais; madeira para construção e lenha; pigmento das casca para tingir as redes de pesca; fibras e palha; água; energia solar; cultivo de plantas; areia para construção; coleta de frutas; recarga do lençol freático; desaceleração da erosão; polinização; filtragem da água; regulação climática; valorização da paisagem; artesanato com madeira, palha e cerâmica; festas tradicionais da ilha; identidade cultural; produção artesanal de embarcações; turismo, pesquisa acadêmica;).

3.2 Estimativa de Carbono Azul

Os estoques de carbono nos manguezais da RESEX Marinha de Cururupu foram estimados conforme Tabela 1, no qual os termos Aboveground significam a biomassa viva acima do solo (troncos, galhos), e Belowground equivalente a raízes, para o solo é considerado a matéria orgânica até 1 m de profundidade

Tabela 1. Estoques de carbono nos manguezais da RESEX Marinha de Cururupu. Fonte: Elaboração pela autora, com base em Rovai et al. (2022) e ICMBio (2016).

Carbono	Estoque médio (Mg C/ ha)	Estoque total (Mg C)
Aboveground	167	9.018.000
Belowground	83,5	4.509.000
Solo	178	9.612.000
Total	428,5	23.139.000

A estimativa do estoque total de CO_2 nos manguezais da RESEX é de 23.139.000 considerando até 1 metro de profundidade do solo. A distribuição percentual do carbono nos compartimentos foi: solo (41,64%), AGB (38,91%) e BGB (19,45%). O Maranhão lidera o ranking brasileiro de estoque de carbono em manguezais, respondendo por 36,56% do carbono ecossistêmico nacional (Rovai et al., 2022), a partir dos dados apresentados por Rovai et al. (2022), que equivale ao estoque médio por hectares, dessa forma, o cálculo usa essa média (solo: 178 Mg C/ha; aboveground: 167 Mg C/ha; belowground: 83,5 Mg C/ha). Totalizando 428,5 Mg C/ha, que quando multiplicado pela área total de manguezais da RESEX (54 mil hectares), corresponde a 23.139.000 Mg C/ha de carbono armazenado.

3.3 Tensores de Mudança Identificados

Durante os trabalhos de campo foram observados: Avanço de dunas sobre o manguezal nas margens do Rio Preguiças (litoral oriental) e na Ilha de Lençóis, causando soterramento de árvores. Coastal squeeze na Ilha de Lençóis: comunidades pressionadas simultaneamente pelo avanço de dunas e pela elevação das marés de sizígia, que já atingiram o interior de residências. Erosão de margens em áreas de rios

com intensa dinâmica sedimentar. Declínio da carpintaria naval artesanal relatado pelos moradores.

4 Discussões

Os resultados evidenciam que a RESEX Marinha de Cururupu desempenha um papel estratégico tanto na escala local (subsistência e cultura das comunidades tradicionais) quanto na escala global (mitigação das mudanças climáticas pelo carbono azul). Os serviços de provisão, especialmente a pesca artesanal e a coleta de crustáceos, sustentam a economia e segurança alimentar local, enquanto os serviços culturais reforçam o sentimento de pertencimento territorial. A alta capacidade de armazenamento de carbono (428,5 Mg C/ha) confirma os manguezais maranhenses como hotspots de carbono azul. Esse desempenho está associado às condições abióticas favoráveis: temperatura tropical, elevada pluviosidade, solos do tipo Gleissolos (saturados, com baixa oxigenação e altos teores de matéria orgânica) e amplitude de marés que facilita a sedimentação e a retenção de carbono (Sanders et al., 2016; Schaeffer-Novelli et al., 2015).

Os tensores naturais (avanço dunar, erosão, variações de maré) combinados com potenciais efeitos das mudanças climáticas (elevação do nível do mar) colocam em risco a integridade do ecossistema e o bem-estar das comunidades. O fenômeno de coastal squeeze observado na Ilha de Lençóis é particularmente preocupante, pois reduz o espaço para migração natural do manguezal e para a permanência das populações tradicionais.

5 Conclusão

Os manguezais da RESEX Cururupu fornecem um am-plo espectro de serviços ecossistêmicos (24 identifica-dos), sendo os de provisão os mais críticos para a sub-sistência das comunidades tradicionais, enquanto a captura e armazenamento é o mais relevante para a re-gulação climática, o que permite que esse serviço não seja apenas usufruído pela população local, mas é um benefício que se expande além do território da RESEX. A estimativa de estoque de carbono (23,14 milhões de Mg C) demonstra a relevância global dessa unidade de conservação para a regulação climática, posicionando o Maranhão como o estado com maior contribuição ao carbono azul brasileiro, no qual a RESEX Marinha de Cururupu seria responsável por 25,36% do estoque correspondente ao estado do Maranhão, que possui um estoque total de 91.260.000 toneladas.

A convergência de fatores naturais (clima, geomorfo-logia, hidrografia) e a presença de comunidades que tradicionalmente manejam os recursos sem desestrutu-rar o ambiente criam um modelo de conservação que integra proteção ambiental e direitos territoriais. Porém, tensores como o avanço das dunas e o coastal squeeze exigem monitoramento contínuo e políticas públicas que garantam a adaptação das populações afetadas.

6 Referências

Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. Carbon Management, 3(3), 313–322. https://doi.org/10.4155/cmt.12.20

Haines-Young, R., & Potschin, M. B. (2018). Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5.1). One Ecosystem, 3, e27108. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108

Hamilton, S. E., & Friess, D. A. (2018). Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. Nature Climate Change, 8(3), 240–244. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0090-4

ICMBio. (2016). Plano de Manejo da Reserva Extrativista de Cururupu. Brasília: ICMBio.

ICMBio. (2018). Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: ICMBio.

IPCC. (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Geneva: IPCC.

Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. R., & Gomes, L. E. O. (2018). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. Biology Letters, 14(9), 20180200. https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0200

Rovai, A. S., Twilley, R. R., Castañeda-Moya, E., Riul, P., Cifuentes-Jara, M., Manrow-Villalobos, M., Horta, P. A., Simonassi, J. C., Fonseca, A. L., & Pagliosa, P. R. (2022). Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance. Frontiers in Forests and Global Change, 8, 787533. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.787533

Sanders, C. J., Maher, D. T., Tait, D. R., Williams, D., Holloway, C., Sippo, J. Z., & Santos, I. R. (2016). Are global mangrove carbon stocks driven by rainfall? Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 121(10), 2600-2609. https://doi.org/10.1002/2016JG003510

Schaeffer-Novelli, Y. (1995). Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar. Caribbean Ecological Research.

Schaeffer-Novelli, Y., Soriano-Sierra, E. J., & Cintrón-Molero, G. (2015). Monitoramento do ecossistema de manguezal: características funcionais. In Protocolos para monitoramento de habitats bentônicos costeiros - Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros (REBENTOS) (pp. 45-62). São Paulo: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

La paradoja de la invasión biológica: *Agave* y *Opuntia* como elementos simbólicos e identitarios en el Mediterráneo europeo

Mertzimeki, Maria Magdalini[1,2], Bosch-Guiu, Arnau[3], Ibáñez, Neus[1], Nualart, Neus[1], Gómez-Bellver, Carlos[4] y López-Pujol, Jordi[1,5]

[1] Institut Botànic de Barcelona (IBB), CSIC-CMCNB, Pg. Migdia s.n., 08038, Barcelona, Spain
[2] Fac. of Environmental Sciences, Czech Univ. of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 00, Praha-Suchdol, Czech Republic
[3] Estación Experimental de Zonas Áridas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEZA-CSIC), 04120, Almería, Spain
[4] Aprèn Serveis Ambientals S.L., Botanical Garden of Barcelona, BGB (JBB-CNB), 08038, Barcelona, Spain
[5] Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Espíritu Santo (UEES), 091650, Samborondón, Ecuador
jlopez@ibb.csic.es

Resumen. La colonización europea de América propició la transferencia a Europa de un gran número de especies vegetales originarias del continente americano. Varias de ellas adquirieron rápidamente relevancia económica, sobre todo por su aprovechamiento alimentario o terapéutico. También se introdujeron plantas con fines ornamentales o industriales, como ocurrió con varias especies de los géneros *Agave* y *Opuntia*. Éstas llegaron a la región mediterránea en el siglo XVI y, en poco tiempo, se integraron de manera notable en el entorno, tanto mediante su cultivo extensivo como por su naturalización. En determinados territorios, la expansión de *Agave* y *Opuntia* fue tal que pasaron a comportarse como plantas altamente invasoras, convirtiéndose hoy en una grave amenaza para la biodiversidad local. En respuesta a esta problemática, se han desarrollado programas de manejo orientados a su control o eliminación; sin embargo, estas iniciativas a menudo encuentran resistencia social. De hecho, en años recientes han aparecido movimientos que promueven la "defensa" de estas plantas frente a su control y erradicación, ya que *Agave* y *Opuntia* son percibidas por amplios sectores de la población como elementos propios del territorio y, en muchos casos, incluso como algo que define su identidad. Desafortunadamente, los usos actuales de estas especies —ya sea como reclamos turísticos o como símbolos de conservación de la naturaleza— están cada vez más extendidos y entran en conflicto con los objetivos y acciones de la gestión ambiental.

Palabras clave: *Agave*, especies icónicas, naturalización, *Opuntia*, usos.

Resumo. A colonização europeia da América promoveu a transferência para a Europa de um grande número de espécies vegetais originárias do continente americano. Várias delas adquiriram rapidamente relevância económica, sobretudo devido ao seu aproveitamento alimentar ou terapêutico. Também foram introduzidas plantas com fins ornamentais ou industriais, como ocorreu com várias espécies dos géneros *Agave* e *Opuntia*. Estas chegaram à região mediterrânica no século XVI e, em pouco tempo, integraram-se de forma notável no meio envolvente, tanto através do seu cultivo extensivo como da sua naturalização. Em determinados territórios, a expansão de *Agave* e *Opuntia* foi tal que passaram a comportar-se como plantas altamente invasoras, tornando-se atualmente uma grave ameaça para a biodiversidade local. Em resposta a esta problemática, foram desenvolvidos programas de gestão orientados para o seu controlo ou erradicação; contudo, estas iniciativas enfrentam frequentemente resistência social. De facto, nos últimos anos surgiram movimentos que promovem a "defesa" destas plantas face às medidas de controlo e erradicação, uma vez que *Agave* e *Opuntia* são percecionadas por amplos setores da população como elementos próprios do território e, em muitos casos, até como algo que define a sua identidade. Infelizmente, os usos atuais destas espécies — quer como atrações turísticas quer como símbolos de conservação da natureza — estão cada vez mais disseminados e entram em conflito com os objetivos e ações da gestão ambiental.

Palavras-chave: *Agave*, espécies icónicas, naturalização, *Opuntia*, usos.

Abstract. European colonization of the Americas led to the transfer to Europe of a large number of plant species originating from the American continent. Several of them quickly acquired economic importance, mainly due to their use as food or medicinal resources. Plants were also introduced for ornamental or industrial purposes, as occurred with several species of the genera *Agave* and *Opuntia*. These arrived in the Mediterranean region in the 16th century and, in a short period of time, became significantly integrated into the environment, both through extensive cultivation and naturalization. In certain territories, the spread of *Agave* and *Opuntia* was such that they came to behave as highly invasive plants, now constituting a serious threat to local biodiversity. In response to this issue, management programs aimed at their control or eradication have been developed; however, these initiatives often face social resistance. Indeed, in recent years movements have emerged that promote the "defense" of these plants against control and eradication efforts, as *Agave* and *Opuntia* are perceived by large segments of the population as native elements of the territory and, in many cases, even as something that defines their identity. Unfortunately, the current uses of these species—whether as tourist

attractions or as symbols of nature conservation—are becoming increasingly widespread and come into conflict with the objectives and actions of environmental management.

Keywords: *Agave*, iconic species, naturalization, *Opuntia*, uses.

1 Introducción

Con la llegada de los europeos a América a finales del siglo XV, un gran número de especies vegetales nativas del continente fueron introducidas en Europa (hasta 6.000; Forman, 2003) como parte del profundo intercambio biológico y cultural conocido como el "intercambio colombino" (Nunn y Qian, 2010). Estas introducciones transformaron la agricultura, la medicina y la horticultura europeas, ya que muchas plantas americanas fueron incorporadas rápidamente a los sistemas económicos y sociales existentes. Varias especies adquirieron una importancia particular como cultivos alimentarios, como el maíz (*Zea mays*), la patata (*Solanum tuberosum*) o el tomate (*Solanum lycopersicum*), que pronto se convirtieron en elementos esenciales de la dieta europea; otras destacaron como recursos medicinales, como las especies de *Cinchona*, cuya corteza proporcionó un tratamiento eficaz contra la malaria y tuvo un impacto duradero en la medicina europea. Además de su valor alimentario y medicinal, muchas plantas americanas fueron introducidas con otros fines, entre ellos el cultivo ornamental (por ejemplo, las dalias, las fucsias o las petunias) o usos industriales y utilitarios (por ejemplo, *Prunus serotina* para la producción de madera de alta calidad; Starfinger et al., 2003).

2 *Agave* y *Opuntia*: plantas icónicas de las Américas

A pesar del papel sumamente relevante desempeñado por numerosas especies vegetales americanas dentro de los imperios coloniales europeos, ninguna ha alcanzado en la actualidad un estatus icónico y carismático comparable al de dos grupos de plantas suculentas: los géneros *Agave* y *Opuntia*. Ambos géneros comparten varias características fundamentales: son extraordinariamente diversos en especies, tienen a México como principal centro de diversidad y endemismo, y están histórica y culturalmente vinculados a las sociedades mexicanas (fueron domesticados en tiempos prehispánicos, poseen una fuerte relevancia etnobotánica y han mantenido durante siglos un destacado valor simbólico; Fig. 1). *Agave* y *Opuntia*, junto con el maíz y el junco (*Schoenoplectus acutus*), han sido descritos como las "cuatro fuentes de bienestar" de la vida rural mexicana (Donkin, 1977).



Fig. 1. A la izquierda, escudo actual de México, que incluye una representación de *Opuntia* (probablemente *O. streptacantha*). A la derecha, escudo de Malta (1975-1988), con lo que parece *O. ficus-indica*. Fuente: Wikipedia.

3 Introducción en Europa, primeros usos y primeros registros como escapadas (siglos XVI a XIX)

Los representantes de los géneros *Agave* y *Opuntia* fueron introducidos en Europa durante el siglo XVI principalmente como curiosidades exóticas procedentes de las tierras recién descubiertas. Debido a su llamativa morfología (p. ej., la floración de *Agave americana* atraía la atención de la realeza y la nobleza —se afirma que Luis XIII, rey de Francia, junto con el cardenal Richelieu, presenció la floración de un agave en Pézenas en 1641—), facilidad de propagación y elevada tolerancia ambiental, fueron especialmente apreciados en jardines botánicos y colecciones privadas durante la Edad Moderna (Michotte, 1931; Anderson, 2001). Sin embargo, con el paso del tiempo, estos taxones comenzaron a utilizarse no solo como plantas ornamentales, sino también con fines prácticos, como la producción de fibra, la formación de cercas vivas, la estabilización de suelos, la alimentación y, en el caso específico de *Opuntia*, como hospedadores de insectos productores de cochinilla para la obtención de tintes.

Los primeros usos como plantas no ornamentales de *Agave* los registra Clusius (1576) a finales del siglo XVI, cuando recoge el nombre vernáculo de *Agave americana* que utilizaban los valencianos ("hilo y aguja" o *fil i agulla*) —sus espinas terminales se utilizaban como ajugas y sus fibras como hilos o cuerdas; Fig. 2). En cambio, parece que los primeros usos no ornamentales de *Opuntia* fueron los de planta medicinal y deben situarse en Italia a mediados del siglo XVI (Laguna, 1555). Justamente es en Italia (especialmente en su mitad sur y en Sicilia) donde los usos de *Opuntia* alcanzaron una especial relevancia para la economía local, pues pronto (a finales del siglo XVII/principios del siglo XVIII) constituyeron una importante fuente de alimento

tanto para el ganado como para los humanos (Smith, 1968). Los intentos de cultivo de la cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus*) en *Opuntia ficus-indica* para la producción de tintes fracasaron tanto en Italia como en el resto de la Europa mediterránea a principios del siglo XIX, quedando las Islas Canarias como el principal productor mundial durante la segunda mitad del siglo XIX (Casas y Barbera, 2002).



Fig. 2. Grabado (incluido en Cavanilles, 1795) mostrando el uso de la pita para obtener fibras.
Fuente: https://hdl.handle.net/10171/24374

Con el tiempo, algunas de estas especies introducidas llegaron a naturalizarse plenamente en diversas regiones de Europa, especialmente en áreas mediterráneas con condiciones climáticas similares a las de sus áreas de distribución originales. Las primeras indicaciones de plantas de agave escapadas de cultivo son de finales del siglo XVII en Sicilia (Cupani, 1696), mientras que los primeros reportes de *Opuntia* como plantas escapadas no aparecen hasta finales del siglo XVIII para la España mediterránea (Gómez, 1784). Ambas plantas ya eran, sin embargo, muy comunes en los paisajes de muchas partes del Mediterráneo para mediados del siglo XIX tal y como se deduce de los comentarios de muchas floras regionales de la época.

4 Abandono progresivo de sus usos tradicionales, primeras invasiones documentadas y nacimiento de su rol como plantas icónicas (siglos XX y XXI)

La presencia prolongada tanto de *Agave* como *Opuntia* —ya sea como plantas cultivadas o silvestres— ha contribuido a modelar los paisajes culturales mediterráneos y las identidades locales. Así pues, y aunque en algunas áreas de la Europa mediterránea (como la península ibérica o el sur de Italia) sus usos tradicionales se mantuvieron hasta bien entrado el siglo XX, también aparece su uso como material promocional para el turismo, primero en la Francia de entreguerras y luego ya en otros lugares (Fig. 3).



Fig. 3. A la izquierda, cartel art decó del Patronato Nacional de Turismo de 1929, con *Agave americana* (fuente: https://www.ucm.es/laespanaglobal/album/). A la derecha, una muestra de cerámica decorada con motivos de *Opuntia*, el *souvenir* más vendido en la isla (fotografía: J. López-Pujol).

En ciertos casos, incluso se han convertido en invasoras agresivas y actualmente son objeto de planes de gestión destinados a su control o erradicación (Misuri et al., 2025). Sin embargo, el hecho de ser consideradas especies carismáticas o icónicas por amplios sectores de las sociedades mediterráneas, ha generado oposición pública a las campañas de erradicación e, incluso, en los últimos años ha impulsado iniciativas destinadas a "proteger" estas plantas frente a la intervención humana. El caso más paradigmático es la creación de las asociaciones almerienses "Salvemos las Pitas" y "SOS Pitas y Chumberas".



Fig. 4. A la izquierda, ejemplar de un libro sobre flora mediterránea, con *Opuntia* en la portada. Izquierda superior, material filatélico del Parque Natural del Cabo de Gata-Níjar, donde aparece *Agave* y *Opuntia* (en el sello y matasellos). Izquierda inferior, imagen de otro tipo de planta no nativa (en este caso *Carpobrotus*, proveniente de Sudáfrica) en un contenedor de reciclaje de vidrio, en Palavas-les-Flots (Hérault, Francia). Fotografías: A. Bosch-Guiu (izquierda); J. López-Pujol (resto).

La noción de estas plantas como algo propio es tan marcada que en algunos lugares incluso se convirtieron en símbolos de identidad regional o nacional de forma oficial (para el caso de Malta; Fig. 1) u oficiosa (Sicilia; Fig. 3). Este hecho

es, muy posiblemente, también responsable de su visión como símbolo de lo natural, con numerosos ejemplos de su uso como tal (Fig. 4).

5 Conclusiones

Los colonizadores europeos trajeron al Viejo Continente muchas plantas con usos económicos —con los géneros *Agave* y *Opuntia* conteniendo numerosos ejemplos—, algunas de las cuales pronto se naturalizaron e incluso se han vuelto invasoras. Sin embargo, los usos por los cuales fueron traídas generalmente se han perdido, siendo reemplazadas con nuevos usos, muchos de los cuales ligados a su percepción como símbolo identitario. Un debate acerca de si es posible compaginar estos usos con la protección del medioambiente (particularmente la flora nativa) se hace, pues, muy necesario.

6 Referencias

Anderson, E. F. (2001). *The cactus family*. Timber Press.

Casas, A., & Barbera, G. (2002). Mesoamerican domestication and diffusion. En P. S. Nobel (Ed.), *Cacti – Biology and uses* (pp. 143–162). University of California Press.

Cavanilles, A. J. (1795). *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia*. Imprenta Real.

Clusius, C. (1576). *Rariorum aliquot stirpium per Hispanias observatarum historia*. Ex officina Christophori Plantinus, Architypographi Regis.

Cupani F. (1696). *Hortvs Catholicvs Seù Illustrissimi, & Excellentisimi Principis Catholicae, Ducis Misilmeris, Comitis Vicaris, Baronis Prizis; nec non Magni Baronis Siculianae, &c*. Apud Franciscum Benzi

Donkin, R. A. (1977). Spanish red: An ethnogeographical study of cochineal and the opuntia cactus. *Transactions of the American Philosophical Society*, 67 (5), 1–84. https://doi.org/10.2307/1006195

Forman, J. (2003). The introduction of American plant species into Europe: issues and consequences. En L. E. Child, J. H. Brock, G. Brundu, K. Prach, P. Pysek, P. M. Wade & M. Williamson M. (Eds.), *Plant invasions: Ecological threats and management solutions* (pp. 17–39). Backhuys Publishers.

Gómez, C. (1784). *Continuación de la Flora Española. Tomo VI*. Joachin Ibarra.

Laguna, A de. (1555). *Pedacio Dioscorides Anazarbeo, acerca de la materia medicinal, y de los venenos mortiferos*. Iuan Latio.

Michotte, F. (1931). *Agaves et fourcroyas: culture et exploitation*. Société d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales.

Misuri, A., Mugnai, M., Dell'Olmo, L., Foggi, B., Benesperi, R., Viciani, D., Giunti, M., & Lazzaro, L. (2025), Monitoring Natura 2000 habitats to support *Opuntia stricta* containment on Capraia Island (Tuscan Archipelago, Italy). *Vegetation Ecology and Diversity*, 62, e176928. https://doi.org/10.3897/ved.176928

Nunn, N., & Qian, N. (2010). The Columbian Exchange: A history of disease, food, and ideas. *Journal of Economic Perspectives* 24(2), 163–188. https://doi.org/10.1257/jep.24.2.163

Smith, D. M. (1968). *A history of Sicily: Medieval Sicily, 800–1713*. Chatto & Windus.

Starfinger, U., Kowarik, I., Rode, M., & Schepker, H. (2003). From desirable ornamental plant to pest to accepted addition to the flora? – the perception of an alien tree species through the centuries. *Biological invasions*, 5, 323–335. https://doi.org/10.1023/B:BINV.0000005573.14800.07

Stamps that "Slither": Philately as a Tool for Linking Biogeography, Environmental Education, and Social Issues in the Americas

Azevedo Thiago Salomão de[1,2] y Guedes Thaís Barreto [1]

[1]Department of Biodiversity, Institute of Biosciences, UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brazil
[2]Secretary of Health, Municipality of Santa Barbara d'Oeste, São Paulo, Brazil
azevedots@gmail.com

Abstract: The representation of snakes in postage stamps across the Americas reflects cultural, ecological, and biogeographical processes that influence the communication of biodiversity. We analyzed philatelic emissions in terms of taxonomic composition, spatial distribution, and iconographic patterns. The dataset included emissions from 1960 to 2023, issued by 31 countries and compiled from specialized catalogues. Descriptive analyses and genus-level thematic maps were performed, complemented by an iconographic analysis. The results showed a concentration of records, with a predominance of Viperidae and Boidae. Spatial patterns were consistent with known biogeographical distributions, particularly in the Neotropical region, while iconographic themes emphasized natural environments, morphological traits, cultural symbolism, and educational content. Philately proved to be a relevant resource for environmental communication and the promotion of conservation.

Keywords: Postal stamps, philately, snakes, environmental communication, biogeographical patterns.

Resumen: La representación de serpientes en sellos postales en las Américas refleja procesos culturales, ecológicos y biogeográficos que influyen en la comunicación de la biodiversidad. Este estudio analizó emisiones filatélicas en cuanto a la composición taxonómica, la distribución espacial y los patrones iconográficos. El conjunto de datos incluyó emisiones del período 1960–2023, procedentes de 31 países, compiladas a partir de catálogos especializados. Se realizaron análisis descriptivos y mapas temáticos a nivel de género, complementados con un análisis iconográfico. Los resultados evidenciaron una concentración de registros, con predominio de Viperidae y Boidae. Los patrones espaciales fueron consistentes con distribuciones biogeográficas conocidas, especialmente en la región neotropical, mientras que los temas iconográficos destacaron ambientes naturales, características morfológicas, simbolismo cultural y contenido educativo. La filatelia se mostró como un recurso relevante para la comunicación ambiental y la promoción de la conservación.

Palabras Clave: Sellos postales, filatelia, serpientes, comunicación ambiental, patrones biogeográficos.

Resumo: A representação de serpentes em selos postais nas Américas reflete processos culturais, ecológicos e biogeográficos que influenciam a comunicação da biodiversidade. Analisamos emissões filatélicas quanto à composição taxonômica, distribuição espacial e padrões iconográficos. O conjunto de dados incluiu emissões do período de 1960 a 2023, provenientes de 31 países, compiladas a partir de catálogos especializados. Foram realizadas análises descritivas e mapas temáticos em nível de gênero, complementados por análise iconográfica. Os resultados evidenciaram concentração de registros, com predominância de Viperidae e Boidae. Os padrões espaciais foram consistentes com distribuições biogeográficas conhecidas, especialmente na região Neotropical, enquanto os temas iconográficos destacaram ambientes naturais, características morfológicas, simbolismo cultural e conteúdo educacional. A filatelia mostrou-se um recurso relevante para comunicação ambiental e promoção da conservação.

Palavras-Chave: Selos postais, filatelia, serpentes, comunicação ambiental, padrões biogeográficos.

1 Introduction

Snakes are key components of biodiversity, exhibiting extensive geographic ranges and high levels of diversity, particularly in the Neotropical region, where environmental and historical processes shape patterns of species richness and distribution (Guedes et al., 2018). As both predators and prey, they play essential ecological roles, contributing to the regulation of trophic dynamics and the maintenance of ecosystem stability (Shine & Bonnet, 2000).

Despite their ecological importance, snakes are frequently associated with fear, misunderstanding, and persecution, often rooted in deeply ingrained cognitive and cultural biases, which has contributed to their marginalization in conservation agendas and public policy (Vaughn et al., 2022; Peterson et al., 2022).

In this context, philately through the depiction of snakes on postage stamps, offers a unique opportunity to challenge stereotypes and promote awareness of their ecological and cultural significance. Although originally created as fiscal instruments, postage stamps have long been recognized as

cultural artifacts that reflect societal values and national identities (Reid, 1984). As state-issued visual media, they also serve as channels for communicating ideas about science and nature, with imagery that is deliberately selected rather than incidental (DeYoung, 1986).

Importantly, postage stamps can also be understood as spatially grounded cultural artifacts, as they are issued by specific countries and often depict native species, ecosystems, and regional landscapes. From this perspective, philatelic imagery represents a form of biogeographical expression, revealing how biodiversity is selectively portrayed across different territories and reflecting underlying biases in public perception (Nemésio et al., 2013). Thus, postage stamps could also mirror the complex relationship between society and nature across space (Child, 2008). When centered on wildlife, they can also contribute to the dissemination of scientific knowledge and environmental awareness. In the case of herpetofauna, such representations have been linked to broader efforts in conservation and public education (Das, 2014; Das & Gee, 2020).

Accordingly, this study adopts an interdisciplinary approach, using philately as a lens to examine how snakes are represented across the Americas in spatial, cultural, and biogeographical terms. In doing so, it evaluates the distribution, symbolism, and communicative potential of these depictions for environmental awareness and conservation.

2 Materials and methods

Postage stamps depicting snakes were identified through systematic consultation of internationally recognized philatelic catalogues (Scott, 2026; Stanley Gibbons Ltd., 2026), using herpetological search terms (e.g., "snake" and "serpiente") combined with a review of fauna-related thematic categories. Only stamps in which a snake constituted the primary or co-primary iconographic motif were included; those in which snakes appeared as secondary or incidental elements, or were associated with unrelated themes such as medicine, the Chinese zodiac, or military symbolism, were excluded. Absolute frequencies were calculated for families, genera, and issuing countries following standard approaches in biological statistics (Zar, 2010). Thematic maps were generated at the genus level, focusing on the most frequently represented families and on genera associated with medically important snakebites (Gutiérrez et al., 2017). Records were linked to their respective issuing countries, and choropleth maps were produced in QGIS using national boundary vector layers.

A thematic and iconographic analysis was then conducted based on each stamp's official theme, visual content, and textual information. Four mutually exclusive categories were defined: (i) natural environment, in which snakes were depicted within identifiable habitats; (ii) morphological traits, emphasizing anatomical features, coloration, or body patterns; (iii) cultural symbolism, in which snakes were associated with national identity, mythology, or folklore; and (iv) educational content, in which taxonomic, geographic, conservation, or public health information was explicitly presented. To reduce classification bias, ambiguous cases were evaluated against the official catalogue description of each stamp, and a standardized decision protocol was applied consistently throughout the dataset. Classifications relied exclusively on information provided by the stamp and its stated theme, thereby minimizing subjective interpretation.

3 Results

The analysis of philatelic data identified a total of 60 postage stamp emissions issued between 1960 and 2023 by 31 countries featuring snake representations, predominantly within the Neotropical region. Taxonomic assessment revealed the presence of 8 families, 32 genera, and 58 distinct species. Among families, Viperidae showed the highest relative frequency (32.2%), followed by Boidae (25.4%) and Colubridae (16.9%). Dipsadidae and Elapidae presented intermediate frequencies (10.2% and 8.5%, respectively), whereas Tropidophiidae (3.4%), Natricidae (2.5%), and Leptotyphlopidae (0.9%) were less frequently represented.

The distribution of genera exhibited a markedly uneven pattern, with a small number of taxa concentrating a substantial proportion of the records. The genus *Boa* was the most frequently represented (11.0%), followed by *Bothrops* and *Micrurus* (8.5% each), and *Crotalus* (7.6%). Other genera, such as *Bothriechis* (6.8%) and *Corallus* (5.9%), also showed relatively high frequencies. In contrast, the majority of genera displayed low representation, typically below 3% of the total records, indicating a long-tail distribution pattern. Genera such as *Arrhyton*, *Thamnophis*, *Spilotes*, *Alsophis*, and *Eunectes* presented intermediate frequencies (2.5%), while several others were represented by a single record (0.9%).

The genus-level thematic maps highlight clear biogeographical patterns in the spatial distribution of selected snake genera across the Americas (Fig. 1). Genera such as *Bothrops*, *Crotalus*, and *Micrurus* exhibit broad geographic distributions, occur-ring across large portions of South and Central America, re-flecting their wide ecological range. In contrast, genera such as *Lachesis*, *Corallus*, and *Eunectes* show more restricted distributions, primarily associated with tropical forest envi-ronments, particularly within the Amazon Basin.

Regional patterns are further highlighted in the Caribbean (Fig. 2), where a combination of insular endemism and localized occurrences can be observed. The genus *Chilabothrus* shows a clear concentration in the Greater Antilles, while other genera, such as *Atropoides*, *Bothriopsis*, and *Agkistrodon*, are represented by more limited and geographically specific records.

This pattern reflects the fragmented and insular nature of Caribbean biogeography, characterized by high levels of spatial heterogeneity and localized representation.



Fig. 1. Biogeographical representation of snake genera in postage stamps across Latin America

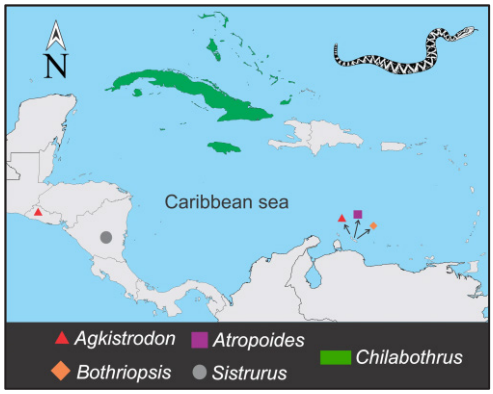


Fig. 2. Biogeographical representation of selected snake genera in the Caribbean based on philatelic records

Through the observation of postage stamp emissions, the iconographic themes reveal a predominance of snakes portrayed in natural environments, along with detailed depictions of individual species highlighting morphological characteristics such as coloration and body patterns. Cultural elements are also present, particularly in stamps that associate snakes with national identity and traditional symbols. Additional themes include educational depictions incorporating taxonomic or geographic information, as well as biodiversity-focused series in which snakes appear alongside other fauna and flora. In insular regions, especially in the Caribbean, the iconography frequently highlights endemic or geographically restricted genera, often aiming to emphasize the importance of their conservation.

4 Discussion

The analysis revealed a broad representation of snake-themed stamps issued across the Americas. Although philatelic themes are defined independently by each country according to cultural, historical, educational, and commemorative priorities, the represented genera showed spatial patterns broadly consistent with the known biogeography of American snakes. Species strongly associated with regional biodiversity were frequently portrayed, often through detailed illustrations highlighting local herpetofauna, as exemplified by the stamps issued by Suriname in 1991 featuring native snake species (Fig.3 left).



Fig. 3. A set of 12 snake stamps issued by Suriname (left). Source: Author personal collection; and a souvenir sheet the centenary of the Butantan Institute (right). Source: Author's personal collection.

A recurring link between snakes and cultural heritage was evident, particularly in the depiction of the rattlesnake in Mexico, which is closely tied to indigenous traditions. Additionally, the presence of *Bothriechis schlegelii* on Central American stamps reflects habitat diversity and underscores regional fauna. In regions with limited historical documentation, older stamps may provide complementary evidence of how local biodiversity was perceived and represented at the time of issuance.

From an educational perspective, the inclusion of taxonomic, geographic, and conservation-related information enhances the pedagogical value of stamps, particularly in thematic issues focused on medically important species and public health, as exemplified by the stamps commemorating the centenary of the Butantan Institute, issued by Brazil in 2001 (Fig.4 right).

These materials can support scientific literacy, stimulate curiosity, and encourage critical reflection on biodiversity and conservation challenges. In several South American countries, conservation- and science-oriented stamp series further reinforce the role of philately as a tool for science communication and public engagement.

Although the use of postage stamps has declined with the rise of digital communication and the reduced role of traditional postal services, their symbolic functions have been progressively redefined. Beyond their original utilitarian purpose, stamps now operate as visual records of political events, cultural expressions, and biodiversity, contributing to the preservation of collective memory and national identity (Zei, 1997).

In this context, philately has been repositioned as a form of cultural expression and historical documentation, enabling its integration into educational and museological settings. Thematic issues addressing environmental, scientific, and cultural topics provide opportunities for interdisciplinary learning and engagement, particularly among younger audiences (Yardley, 2015).

The incorporation of digital technologies has further contributed to the continuity of philatelic practice. Online catalogues, virtual collections, and interactive formats, such as QR codes, augmented reality and NFT-based stamps, have expanded access and modernized traditional approaches (Hirwade & Nawlakhe, 2012).

Despite these developments, engaging younger generations remains a challenge, largely due to the declining presence of physical correspondence and limited institutional initiatives (Čačić et al., 2023; Menezes & Salcedo, 2022). Ensuring the continued relevance of philately will depend on integrated efforts by educational institutions, cultural organizations, and postal services, promoting its recognition as both tangible and intangible cultural heritage (UPU, 2022).

In this perspective, philately offers a distinctive lens through which to interpret and value the snakes of the Americas, functioning simultaneously as a visual archive of biodiversity, a biogeographical record of species distribution, and a symbolic medium that supports conservation awareness.

5 Conclusions

Our findings indicate that the representation of snakes in postage stamps across the Americas reflects structured ecological, cultural, and biogeographical patterns. The predominance of certain taxa and their spatial distribution appear to be associated with regional identity, biodiversity, and public perception. Philatelic imagery not only documents species diversity but also serves as an effective medium for environmental education and science communication. By integrating artistic, cultural, and scientific dimensions, postage stamps emerge as valuable tools for promoting conservation awareness and preserving biogeographical memory.

Despite the challenges posed by the digital era, philately remains a relevant and innovative platform for engaging society with biodiversity and reinforcing the importance of wildlife conservation.

6 References

Čačić, N., Ninović, M., & Šarac, D. (2023). Future development trends in the postal market: An overview. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, *13*(1), 28–39. https://doi.org/10.7708/ijtte2023.13(1).03

Child, J. L. (2008). *Miniature messages: The semiotics and politics of Latin American postage stamps*. Duke University Press.

Das, I. (2014). Herpetological material in philately issued from Malaysia. *Russian Journal of Herpetology*, *21*(1), 13–39.

Das, I., & Gee, G. V. A. (2020). Herpetological postage stamps issued from the Philippines. *Philippine Journal of Systematic Biology*, *14*(2), 1–14. https://doi.org/10.26757/pjsb2020b14009

DeYoung, G. (1986). Postage stamps and the popular iconography of science. *Journal of American Culture*, *9*(3), 1–14. https://doi.org/10.1111/j.1542-734X.1986.0903_1.x

Guedes, T., Sawaya, R. J., Zizka, A., Laffan, S., Faurby, S., Pyron, R. A., Bérnils, R. S., Jansen, M., Passos, P., Prudente, A. L. C., Cisneros-Heredia, D. F., Braz, H. B., Nogueira, C. C., & Antonelli, A. (2018). Patterns, biases and prospects in the distribution and diversity of Neotropical snakes. *Global Ecology and Biogeography*, *27*(1), 14–21. https://doi.org/10.1111/geb.12679

Gutiérrez, J. M., Calvete, J. J., Habib, A. G., Harrison, R. A., Williams, D. J., & Warrell, D. A. (2017). Snakebite envenoming. *Nature Reviews Disease Primers*, *3*, Article 17063. https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.63

Hirwade, M. A., & Nawlakhe, U. A. (2012). Postage stamps and digital philately: Worldwide and Indian scenario. *The International Information & Library Review*, *44*(1), 28–39. https://doi.org/10.1080/10572317.2012.10762912

Menezes, P. V. D., & Salcedo, D. (2022). A produção de selos postais no Brasil: Um estudo de gestão e fluxo de informação. *ConCI: Convergências em Ciência da Informação*, *5*, 1–21. https://doi.org/10.33467/conci.v5i.16982

Nemésio, A., Seixas, D. P., & Vasconcelos, H. L. (2013). The public perception of animal diversity: What do postage stamps tell us? *Frontiers in Ecology and the Environment*, *11*(1), 9–10. https://doi.org/10.1890/13.WB.001

Peterson, M. N., Stevenson, K. T., & Carrier, S. J. (2022). Factors associated with human tolerance of snakes in the southeastern United States. *Frontiers in Conservation Science*, *3*, Article 1016514. https://doi.org/10.3389/fcosc.2022.1016514

Reid, D. M. (1984). The symbolism of postage stamps: A source for the historian. *Journal of Contemporary History*, *19*(2), 223–239. https://doi.org/10.1177/002200948401900204

Scott Stamp LLC. (2026). *Scott standard postage stamp catalogue* (Vols. 1–6) [Catálogo digital]. Scott Stamp LLC. https://www.scottstamp.com

Shine, R., & Bonnet, X. (2000). Snakes: A new "model organism" in ecological research? *Trends in Ecology & Evolution*, *15*(6), 221–222.

Stanley Gibbons Ltd. (2026). *Stamps of the world* (Vols. 1–6) [Catálogo digital]. Stanley Gibbons Ltd. https://www.stanleygibbons.com/discover/digital-catalogues

Universal Postal Union. (2022). *Fantastic philately: How posts have kept an historical product interesting in the modern age*. https://www.upu.int/en/News/2022/12/Fantastic-philately-How-Posts-have-kept-an-historical-product-interesting-in-the-modern-age

Vaughn, A. K., Nils Peterson, M., Casola, W. R., Stevenson, K. T., & Pacifici, L. B. (2022). Using the implicit association test to evaluate subconscious attitudes toward snakes. *Anthrozoös*, *35*(2), 293–306. https://doi.org/10.1080/08927936.2021.1986261

Yardley, C. B. (2015). *The representation of science and scientists on postage stamps: A science communication study*. ANU Press. https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/33142

Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Pearson.

Zei, V. (2014). Stamps and the politics of national representation. *Journal of Balkan and Near Eastern Studies*, *16*(1), 65–84. https://doi.org/10.1080/13183222.1997.11008641

Inicio de la caracterización del singular bosque de almeces (*Celtis australis* L.) de Alpuente (Valencia)

Laguna, Emilio[1,2], Guara, Miguel[3], Peña, Aurelio[4], Núñez, Antonio[1] y Espinosa, Virginia[1]

[1] Jardín Etnobotánico de Aras de los Olmos, Plaza Polígono 11 R S, 46179 Aras de los Olmos, Valencia, España
[2] Universitat d'Alacant, Estació Científica Font Roja-Natura, Ctra. Font Roja s/n, 03801 Alcoi, Alicante, España
[3] Universitat de València. Depto. de Biología y Geología, Avda. Vicent Andrés Estellés s/n, 46100 Burjassot, Valencia, España...
[4] Asociación Cultural Amigos de Alpuente. Avda. San Blas 98, 46178 Alpuente, Valencia, España
emilio.laguna@outlook.es

Resumen. Se analiza la composición vegetal de la almeceda que ocupa el fondo difícilmente accesible del Barranco de la Hoz (Alpuente, Valencia, España), de 1,9 ha, sometida a pastoreo permanente de ganado cabrío, que se concentra más en su mitad W. Se observa que la estructura aparente responde a una antigua explotación multisecular de almeces, con posible eliminación de competencia de otras especies, cesada hace 40-50 años, en ambiente fuertemente nitrificado y con escaso dosel arbustivo, debido a la acción del ganado. Los valores obtenidos para los índices de diversidad fueron D (Dominancia) = 0,25 ± 0,09; 1-D (Simpson) = 0,75 ± 0,09; H (Shannon)=1,90 ± 0,32 y J (Pielou)=0,53 ± 0,078. La mayor presión del ganado en el sector occidental de la almeceda justifica un menor número de especies (29,0 ± 3,1) respecto a la mitad oriental (44,2 ± 5,5) y condiciona notablemente al nivel arbustivo, sin ninguna especie en la mitad occidental y con solo 2,4 ± 0,9 especies en la oriental. Las diferencias son igualmente relevantes en la riqueza de especies arbóreas (2,2 ± 1,6 vs. 5,2 ± 3,1) y herbáceas (23,8 ± 2,8 vs. 33,4 ± 4,5).

Palabras clave: *Celtis australis*, almeceda, índices de diversidad, aprovechamiento forestal, Valencia.

Resumo. Se analisar a composição vegetal da floresta de lódãos que ocupa o fundo difícilmente acessível do Barranco de la Hoz (Alpuente, València, Espanha), de 1,9 ha, submetido a pastoreio de gado caprino, que se concentra mais na sua metade W. Observa-se que a estrutura aparente responde a uma antiga explotação multisecular de lódãos, com possível eliminação da concorrência de outras espécies, cesada há 40-50 anos, num ambiente fortemente nitrificado e com escaso dossel arbustivo, devido à ação do gado. Os valores obtidos para os índices de diversidade foram: D (Dominância) = 0,25 ± 0,09; 1-D (Simpson) = 0,75 ± 0,09; H (Shannon)=1,90 ± 0,32 e J (Pielou)=0,53 ± 0,08. A maior pressão do gado no sector ocidental de lodãozal justifica um menor número de espécies (29,0 ± 3,1) do que na metade oriental (44,2 ± 5,5), e condiciona significativamente o nível arbustivo, não havendo qualquer espécie na metade ocidental e apenas 2,4 ± 0,9 espécies na metade oriental. As diferenças são igualmente relevantes na riqueza de espécies arbóreas (2,2 ± 1,6 vs. 5,2 ± 3,1) e de espécies herbáceas (23,8 ± 2,8 vs. 33,4 ± 4,5).

Palavras-chave: *Celtis australis*, floresta de lódãos, índices de diversidade, aproveitamento florestal, Valência.

Abstract. The plant composition of the 1.9 ha hackberry grove occupying the difficult-to-access bottom of La Hoz ravine (Alpuente, Valencia, Spain) was analyzed. This grove has been subject to permanent goat grazing, with livestock concentrated in its western half. The apparent structure reflects centuries-old hackberry cultivation, possibly resulting from the removal of competing species. This grazing ceased 40-50 years ago in a highly nitrified environment with a sparse shrub canopy. The diversity indices obtained were D (Dominance) = 0.246 ± 0.091; 1-D (Simpson) = 0.75 ± 0.09; H (Shannon) = 1.90 ± 0.32; and J (Pielou) = 0.53 ± 0.08. The greater livestock pressure in eastern sector of the hackberry grove justifies a lower number of species (29,0 ± 3,1) than in its western half (44,2 ± 5,5), and significantly conditions the shrub level, with no species in the western half and only 2.4 ± 0.9 species in the eastern half. The differences are equally relevant in the richness of tree species (2.2 ± 1.6 vs. 5.2 ± 3.1) and herbaceous species (23.8 ± 2.8 vs. 33.4 ± 4.5).

Keywords: *Celtis australis*, hackberry forest, diversity indices, forestry exploitation, Valencia.

1 Introducción

En la zona valenciana se conocen pocos grupos de almeces (*Celtis australis* L.) en hábitats naturales. Solo uno aparenta ser un bosque donde la especie sea dominante, lo que permite hablar de una almeceda genuina. Se encuentra en el paraje de La Hoz en Alpuente (Valencia), en el fondo del Barranco del Reguero (Fig. 1). Se trata de un cañón de unos 40-45 m de profundidad, excavado entre paredes calizas. La almeceda se localiza en las cuadrículas UTM de 1×1 km 30SXK6916, datum ETRS89, ocupando una estrecha banda de N a S en el extremo oriental de dicha cuadrícula, con límites aproximados entre las coordenadas x=669960 y=4416665 al N y x=669910 y=4416301 al S. El bosque

abarca unas 1,9 ha, en altitudes que oscilan entre 875 m.s.n.m. en su extremo S y 905 m.s.n.m. en el N, y extendiéndose en aproximadamente 300 m. a ambos lados del fondo del barranco Puede considerarse que es un bosque subrupícola, ya que está jalonado por grandes clastos calizos, entre los que crecen los almeces.

Este bosque no ha podido ser estudiado previamente debido a su inaccesibilidad. En los extremos en que se inicia y finaliza ese tramo del barranco, el paso está bloqueado por masas impenetrables de zarzas (*Rubus ulmifolius*). Solo hay un acceso desde la parte superior del acantilado de la cara occidental del cañón que está cerrado por un cercado, debido a que la zona se dedica a la cría de ganado caprino en estado de semilibertad desde hace 3 décadas. Dicho ganado -actualmente en torno a 12-15 ejemplares- aparenta tener más actividad en la mitad occidental del barranco al tener su zona de estabulación. En 2004, gracias a las facilidades dadas por el propietario del terreno a la Asociación Cultural Amigos de Alpuente, se accedió al fondo del barranco para iniciar la caracterización de la almeceda. En el presente trabajo se resumen los resultados obtenidos, tanto en datos globales como comparando las mitades occidental y oriental del bosquete.



Fig. 1. Ortofoto (izquierda, año 2024) y mapa (derecha) abarcando la zona estudiada (almeceda, en color verde oscuro en la ortofoto en el fondo de barranco). Modificado del visor cartográfico de la Generalitat Valenciana (https://visor.gva.es/visor/).

2 Materiales y métodos

A lo largo del paraje de la Hoz, se tomaron 10 inventarios sigmatistas (Braun-Blanquet, 1979) de una superficie de 200 m^2 a lo largo de un transecto en U en dirección Oeste – Este, que se dividieron en dos sectores con cinco inventarios cada uno: mitad occidental (notación E, orientación al Este, inventarios A a E) y oriental (notación W, inventarios F a J) (Fig. 2). El conjunto de especies observadas se ordenó en cuatro estratos -arbóreo, arbustivo, lianoide y herbáceo-, que se determinaron con las claves de Mateo & Crespo (2014) y los binómenes se actualizaron con la base de datos POWO (2026).



Fig. 2. Localización de los inventarios (A a J). Modificado sobre ortofoto de 2024 del visor cartográfico citado.

Los valores de abundancia-dominancia se convirtieron en sus equivalentes de cobertura media multiplicados por 10, lo que equivale a los "individuos" de cobertura de las especies en tantos por mil, a efectos estadísticos (Laguna *et al*., 2016), con objeto de calcular índices de diversidad: Dominancia (D), Simpson (1-D), Diversidad de Shannon (H) y Equitabilidad de Pielou (J) -véase Magurran, (2004)-. Los cálculos preliminares se han realizado con el programa PAST v. 4.17 (Hammer *et al.*, 2001), con el apoyo de los complementos de análisis de Microsoft Excel 2021. Otros tests estadísticos -normalidad: tests de Shapiro-Wilk o Jarque-Bera; homogeneidad de las varianzas: Levene- y las comparaciones entre los sectores -ANOVA y test de la t de Welch para dos muestras- se han realizado con los paquetes de R (R Core Team, 2025) "car" (Fox & Weisberg, 2019), "onewaytests" (Dag *et al*., 2018), "readxl" (Wickham & Bryan, 2025), "tidyverse" (Wickham *et al.*, 2019), "tseries" (Trapletti & Hornik, 2024), "vegan" (Oksanen *et al*., 2025), ejecutados en el entorno de RStudio (Posit Team, 2026) – https://posit.co/download/rstudio-desktop/–.

3 Resultados y discusión

La almeceda se caracteriza por la dominancia aparente de los estratos arbóreo y herbáceo, con escasa presencia arbustiva, y donde los almeces presentan troncos de diámetros similares (aprox. 10-20 cm), a menudo naciendo varios de un mismo pie, signo de árboles afectados por una explotación mediante resalveo o trasmocho basal (Fig. 3).

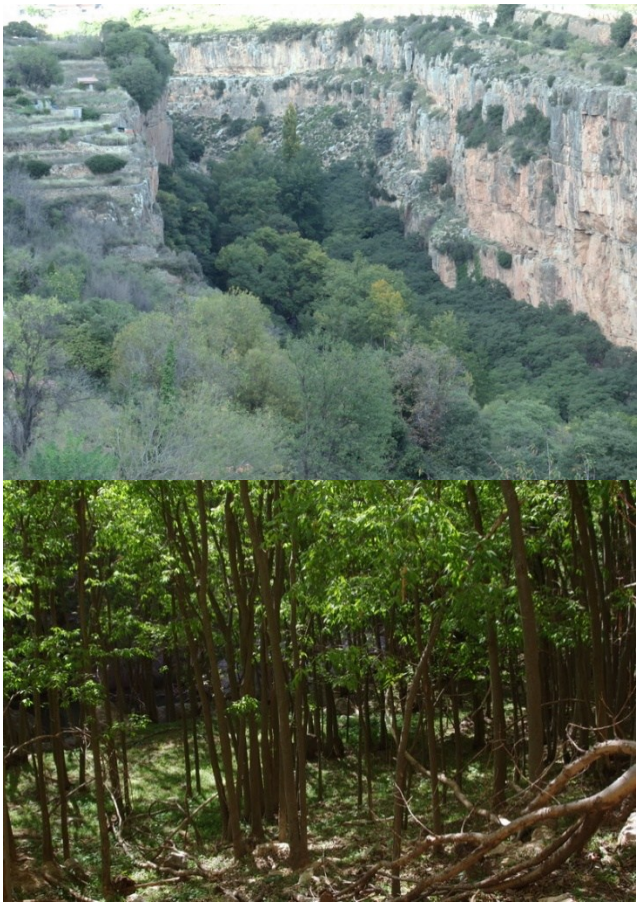


Fig. 3. Aspecto exterior (arriba) e interior (abajo) de la almeceda del paraje de la Hoz. Autor: E. Laguna.

Los resultados y análisis realizados pueden consultarse en https://www.uv.es/elalum/CEB2026/CeltisAlpuente.xlsx, y los datos sintéticos se aportan en las tablas 1 y 2. El número total de especies en el conjunto de los inventarios es de 84, que no están representadas uniformemente, oscilando entre 25 y 49 (Tabla 1). El promedio de especies por inventario es de 36,6 ± 9,1. Las especies con mayor cobertura media son *Celtis australis* (70,00%), *Brachypodium phoenicoides* (26,53%), *Viola alba* (20,51%), *Galium aparine* (18,77%), *Pseudodictamnus hirsutus* (6,79%), *Brachypodium retusum* (6,03%), *Hedera helix* (5,76%) y *Oloptum miliaceum* (5,05%).

Se aprecia que en la mitad occidental, orientada al E y con mayor presión ganadera aparente, el número de especies acumuladas entre todos los inventarios es de 51, menor que en el sector orientado al W, 79. El promedio de especies en el sector orientado al E es de 29,0 ± 3,1 y su mediana de 30; mientras que en el orientado al W el promedio es de 44,2 ± 5,5 y su mediana de 47. La diferencia entre las medias de ambos sectores es de 15,2 especies. En cuanto a la cobertura, el número total de individuos fue de 20.058, tampoco repartidos uniformemente, variando por inventario entre 1.079 (inventario G) y 3.499 (I), ambos en la mitad oriental. El promedio de individuos por inventario es 2.005,8. Se aprecia que en la orientación E el número de individuos es menor (1.724,6 ± 518,102) que en la W (2.287,0 ± 1.092,297), con una diferencia de 562,4 individuos. Al comparar la riqueza de especies entre ambas mitades se detectan diferencias significativas (t = 5,361, g.l. = 6,259 p = 0,002), pero no para el número de individuos (t = 1,04, g.l. = 5,713, p = 0,340).

Tabla 1. Valores del número total de especies por inventario según su orientación. N: número de inventarios; Min: mínimo; Max: máximo; x: promedio; sd: desviación estándar.

	Arbóreo	Arbustivo	Lianas	Herbáceo	Total
Este (N=5)					
Min.	1	0	3	21	25
Max.	5	0	3	28	33
x	2,2	0,0	3,0	23,8	29,0
sd	1,6	0,0	0,0	2,8	3,1
Oeste (N=5)					
Min.	1	1	3	28	36
Max.	8	3	4	39	49
x	5,2	2,4	3,6	33,4	44,2
sd	3,1	0,9	0,5	4,5	5,5
Total (N=10)					
Min.	1	0	3	21	25
Max.	8	3	4	39	49
x	3,5	1,2	3,3	28,6	36,6
sd	2,6	1,4	0,5	6,2	9,1

Las diferencias detectadas en la riqueza de especies y en el número de individuos hay que atribuirlas a la presencia exclusiva de distintas especies entre las orientaciones E y W del barranco, que son el reflejo de la presión ejercida por el ganado, que es desigual entre ambas localizaciones. Así, los inventarios orientados al E presentan 5 especies exclusivas en el conjunto de plantas herbáceas: *Chenopodium album, Urtica dioica, Salvia verbenaca, Petroselinum crispum, Anagallis arvensis* subsp. *arvensis*. Por su parte, los inventarios que miran al W son más ricos, exhiben más especies en el grupo de las arbóreas, arbustivas, lianas y herbáceas, si bien su presencia es variable. Cabría destacar aquéllas que se encuentran en 3 ó más inventarios: *Jasminum fruticans* y *Rubus ulmifolius* entre las arbustivas, *Rubia peregrina* subsp. *peregrina* (liana), e, *Inula* c.f. *helenoides, Calamintha nepeta, Teucrium chamaedrys* subsp. *pinnatifidum, Coronilla scorpioides, Lamium hybridum, Phlomis lychnitis y Silene vulgaris* entre las herbáceas,

El promedio de especies arbóreas en el conjunto de inventarios es de 3,5 ± 2,6. En la parte orientada al E el promedio es ligeramente inferior, 2,2 ± 1,6, mientras que en la porción que mira al W es superior, 4,8 ± 2,8. La riqueza en especies arbóreas es del orden de 2,2 veces mayor en

orientación W que en E. Las especies arbustivas están solo presentes en la orientación W, donde hay menos actividad del ganado. Las especies lianoides están representadas de manera equivalente en ambos grupos de inventarios. La riqueza en especies herbáceas es ligeramente menor en el sector orientado al E (23,0 ± 2,778) que al W (33,4 ± 4,450).

Los índices de diversidad calculados a partir de los valores de cobertura son: D=0,25 ± 0,09; 1-D=0,75 ± 0,09; H=1,90 ± 0,32 y J=0,53 ± 0,08 (Tabla 2). En líneas generales, los inventarios que miran al W están ligeramente mejor estructurados que los del E como se deduce de los valores de los índices calculados. Sin embargo, en cada sector hay algún inventario con menor diversidad que el resto. Así, los inventarios orientados al E son menos diversos (D: 0,18 - 0,34; 1 - D: 0,66 - 0,82; H: 1,51 - 1,96; J: 0,46 - 0, 58) que los de orientación W (D: 0,12 - 0,37; 1 - D: 0,63 - 0,88; H: 1,53 - 2,46; J: 0,43 - 0, 64). No obstante, la comparación entre ambas orientaciones en estos índices de diversidad fitosociológica no ha mostrado diferencias significativas.

Tabla 2. Valores de los índices analizados. D: Dominancia; 1-D: Simpson; H: Diversidad de Shannon; J: Equitabilidad de Pielou. x: promedio; sd: desviación estándar.

Inventario	D	1-D	H	J
A	0,26	0,74	1,85	0,56
B	0,22	0,78	1,92	0,56
C	0,33	0,67	1,51	0,47
D	0,34	0,66	1,62	0,46
E	0,18	0,82	1,96	0,58
F	0,19	0,81	2,00	0,52
G	0,37	0,63	1,53	0,43
H	0,12	0,88	2,46	0,64
I	0,13	0,88	2,37	0,64
J	0,31	0,69	1,81	0,47
x	0,25	0,75	1,90	0,53
sd	0,09	0,09	0,32	0,08

4 Conclusiones

La estructura observada y los testimonios locales recogidos, indican que este bosquete es el resultado de una explotación multisecular de almeces, destinada a la obtención de tallos procedentes de rebrotes -usualmente para la fabricación de aperos o carboneo-, que cesó hace unos 40-50 años. La primitiva vegetación debió ser una olmeda de *Ulmus minor* reemplazada por este cultivo. Tras su abandono y el aprovechamiento ganadero masivo, el bosque ha adquirido el aspecto actual, con fuerte presencia y dominancia de especies nitrófilas y subnitrófilas en el estrato herbáceo. Este aprovechamiento ha marcado ligeras diferencias entre las mitades occidental y oriental de la almeceda, aunque no tienden a ser suficientemente significativas para la mayoría de los factores analizados.

5 Referencias

Braun-Blanquet, J. (1979): *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Editorial Blume.

Dag, O, Dolgun, A. & Konar, N. (2018). Onewaytests: An R Package for One-Way Tests in Independent Groups Designs. *The R Journal*, 10(1), 175-199. https://doi.org/10.32614/RJ-2018-022

Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*. 3rd ed. Sage Publishing. https://www.john-fox.ca/Companion/

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 9pp

Laguna, E., Ferrer-Gallego, P.P. & Guara, M. (2016). Propuesta de uso de índices de diversidad en inventarios fitosociológicos. En Gómez Zotano, J., Arias, J., Olmedo, J.A. & Serrano, J.L. (eds.): *Avances en Biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras* (pp. 240-248). Tundra Ediciones.

Magurran, A.E. (2004). *Measuring biological diversity*. Black-well.

Mateo, G. & Crespo, M.B. (2014). *Claves para la determinación de la flora valenciana*. Jolube.

POWO (2026): *Plants of the World Online.* Royal Botanic Gardens, Kew. https://powo.science.kew.org/

Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., … & Weedon, J. (2025). *Vegan: Community Ecology Package*. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan

Posit Team 2026. *RStudio*; (Version 2026.01.0 +392) [Software]. Posit. https://posit.co/download/rstudio-desktop/

R Core Team (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, https://www.R-project.org/

Trapletti, A. & Hornik, K. (2024). *_tseries:* Time Series Analysis and Computational Finance. https://doi.org/10.32614/ CRAN.package.tseries

Wickham, H. & Bryan, J. (2025). *readxl:* Read Excel Files. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.readxl

Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L.D., François, R., Grolemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T.L., Miller, E., Bache, S.M., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D.P., Spinu, V., … Yutani, H. (2019). Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. https://doi.org/10.21105/joss.01686.

6 Agradecimientos

A Ernesto Hernández, propietario del aprovechamiento de ganado en la zona de estudio, por las facilidades de acceso concedidas.

ORGANIZA:

UNIVERSITAT DE BARCELONA

Universitat de Girona

COLABORA:

AGE Asociación Española de Geografía

ATENEU DE NATURA

SIB Sociedad IberoAmericana de BioGeografía

Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter

Barcelona 2026

IV Congreso Iberoamericano y XIV Congreso Español

Biogeografía

Documenta Universitaria

@DocUniv
documentauniversitaria.com