

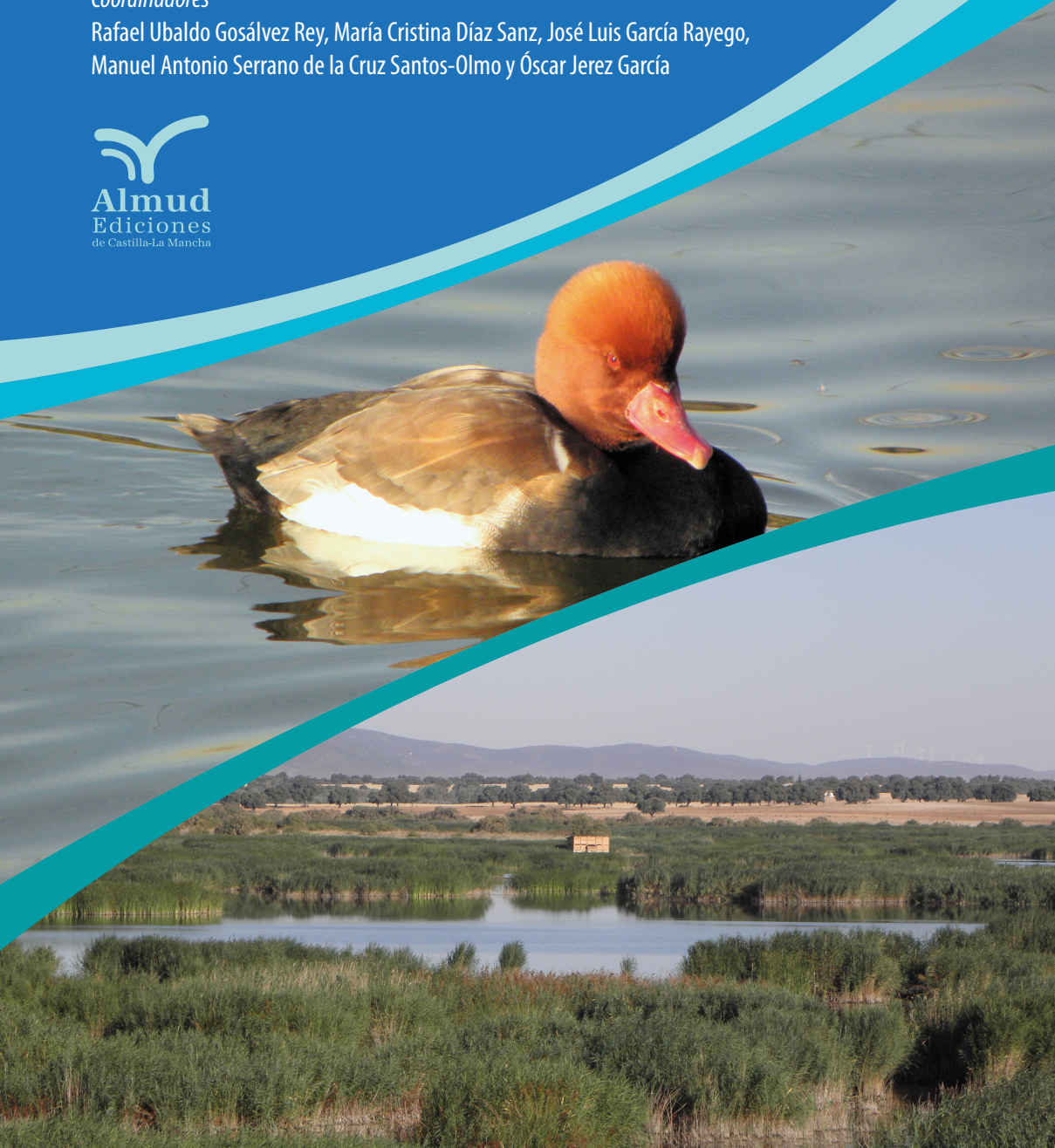
Tomo 2

BOSQUE MEDITERRÁNEO Y HUMEDALES: PAISAJE, EVOLUCIÓN Y CONSERVACIÓN APORTACIONES DESDE LA BIOGEOGRAFÍA

Coordinadores

Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, María Cristina Díaz Sanz, José Luis García Rayego,
Manuel Antonio Serrano de la Cruz Santos-Olmo y Óscar Jerez García


Almud
Ediciones
de Castilla-La Mancha



Bosque mediterráneo y humedales: paisaje, evolución y conservación. Aportaciones desde la Biogeografía / coordinadores: Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, María Cristina Díaz Sanz, José Luis García Rayego, Manuel Antonio Serrano de la Cruz Santos-Olmo y Óscar Jerez García– Ciudad Real: Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha, Óptima Diseño e Impresión s. l., 2018, 986 págs.; 23,5 cm. ISBN: 978-84-948075-6-5

1. Geografía Física. 2. Biogeografía. 3. España. 4. Castilla-La Mancha. I. Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, coord. II. María Cristina Díaz Sanz, coord. III. José Luis García Rayego, coord. IV. Manuel Antonio Serrano de la Cruz Santos-Olmo, coord. V. Óscar Jerez García, coord. Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha, ed.

Los capítulos de este libro han sido sometidos a una revisión en sistema de doble ciego por el Comité Científico del X Congreso Español de Biogeografía, tras proporcionar instrucciones detalladas a los autores, incluida información sobre el proceso de evaluación y selección de los manuscritos presentados y proporcionando comunicación motivada de la decisión editorial.

Esta obra ha sido co-financiada por el Grupo de Trabajo de Geografía Física de la Asociación de Geógrafos Españoles y por el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Castilla-La Mancha.

- © De las fotografías de cubierta: Rafael Ubaldo Gosálvez Rey (Pato colorado y vista de Las Tablas de Daimiel desde la Torre de Prado Ancho)
- © De los textos, figuras, tablas y fotografías: sus autores.
- © De la edición: Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha.
- © Del diseño y la maquetación: Óptima Diseño e Impresión

I.S.B.N.: 978-84-948075-6-5
Depósito Legal: TO 89-2018

Edita: Almud, Ediciones de Castilla-La Mancha
Imprime: www.optimaimpresion.es
Impreso en Ciudad Real (España)
Abril de 2018

BOSQUE MEDITERRÁNEO Y HUMEDALES:
PAISAJE, EVOLUCIÓN Y CONSERVACIÓN.
APORTACIONES DESDE LA BIOGEOGRAFÍA

TOMO II

COORDINADORES

*RAFAEL UBALDO GOSÁLVEZ REY, MARÍA CRISTINA DÍAZ SANZ, JOSÉ LUIS GARCÍA RAYEGO,
MANUEL ANTONIO SERRANO DE LA CRUZ SANTOS-OLMO Y ÓSCAR JEREZ GARCÍA*



Grupo de
Geografía Física
de la AGE



ÍNDICE. TOMO II.

PARTE CUARTA. BIOGEOGRAFÍA, CONSERVACIÓN Y GESTIÓN

- Nuevas aportaciones para la inclusión de los tejos de la Sierra del Aramo (Macizo Central Asturiano) en el hábitat 9580 de Bosques mediterráneos de *Taxus baccata* L. 567
Salvador Beato Bergua, Adriano Álvarez Méndez, José Luis Marino Alfonso, Miguel Ángel Poblete Piedrabuena y José Manuel Rodríguez Berdasco
- Factores bioclimáticos incidentes en la combustibilidad y propagación del incendio del área de Doñana de 2017. Análisis mediante teledetección y afectación *in situ* de la vegetación 578
Rosalía Bejarano-Palma, Mónica Aguilar-Alba, Esperanza Sánchez-Rodríguez y Alejandro Carreras-Benítez
- Evaluación de los cambios en la cubierta vegetal de la costa occidental de Andalucía. Sector Enebrales de Punta Umbría-Estuario del Río Piedras (1998-2011) 588
Rosalía Bejarano-Palma y Andrés Peñuela-Palma
- Integración de la conservación de la biodiversidad urbana en la planificación y gestión de la Universidad de Cantabria 594
Virginia Carracedo Martín y Ignacio C. Fernández Calvo
- Situación actual y problemática de gestión del área incendiada en 2009 en la comarca abulense de Arenas de San Pedro 604
Casildo Ferreras Chasco
- Atlas de la flora singular y amenazada de la provincia de Cuenca. (Ejemplo: los helechos acuáticos) 614
Oscar García Cardo, Carmen Bartolomé Esteban y Juan Manuel Martínez Labarga
- Distribución geográfica provisional de cinco xenófitos arvenses en las Unidades Neógenas Orientales de la Depresión del Tajo 624
Juan Javier García-Abad Alonso

Análisis pedoantracológico y propuesta de conectividad ecológica de <i>Abies pinsapo</i> en la Red Natura 2000 de Sierra Bermeja	635
<i>José Gómez-Zotano, Raquel Cunill-Artigas, José A. Olmedo-Cobo, Jonatan Arias-García</i>	
Erupción del Calbuco en 2015 y su repercusión en la vegetación del entorno. Lahares en río Blanco y Correntoso (Región de los Lagos, Chile)	646
<i>María Elena González Cárdenas, Estela Escobar Lahoz, Rafael Becerra-Ramírez y Rafael Ubaldo Gosálvez Rey</i>	
Propuesta de ordenamiento territorial participativo para el territorio de la Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas: Un análisis desde lo local	656
<i>Roxana Lebuy Castillo, Bryan González Niculcar, Tomás Cáceres Cevallos y Pablo Huerta Ureta</i>	
El Plan Especial de Santiagomendi-Landarbaso. Valoración zoogeográfica de la zona para su inclusión dentro de la red de espacios protegidos del País Vasco	667
<i>Pedro José Lozano Valencia, Raquel Varela Ona, Itxaro Latasa Zaballos y Guillermo Meaza Rodríguez</i>	
Flora y vegetación de asentamientos históricos en el Campo de Montiel (Ciudad Real)	678
<i>Juan Manuel Martínez Labarga y Ana Cristina Esquinas Rodrigo</i>	
Dieta y selección de alimento de una especie invasora e importancia de estas variables para predecir su expansión: la cotorra gris argentina <i>Myiopsitta monachus</i> Boddaert, 1783	690
<i>Lorena Nieves Carretero y José A. Gil-Delgado Alberti</i>	
El lauredal de la isla de Cortegada (Parque Nacional das Illas Atlánticas de Galicia): una discusión fitogeográfica en clave de conservación	699
<i>Valerià Paül Carril, L. Martín Agrelo Janza, J. Gaspar Bernárdez Villegas y Josep M. Panareda Clopés</i>	
Análisis estadístico espacial de las pérdidas en la ocupación de las formaciones adehesadas en Sierra Morena (1956-2007)	711
<i>Eva B. Rodríguez Pérez, José R. Martínez Batlle, Rafael Cámara Artigas y Rocío Silva Pérez</i>	
Representación y protección de la biodiversidad amenazada en la RENPA, la mayor red española de espacios protegidos	722
<i>David Rodríguez-Rodríguez y Javier Martínez-Vega</i>	

Fitodiversidad comparativa de los sabinares de <i>Juniperus turbinata</i> Guss. en la Reserva de la Biosfera de El Hierro y en el Parque Nacional de Doñana	732
<i>Ángel Romo Díez, Rosalía Bejarano-Palma, Adam Boratyński y Montserrat Salvà-Catarineu</i>	
Nuevos datos sobre el paisaje del fuego en Cantabria en el inicio del Holoceno. ¿Paisaje, clima y sociedad?	742
<i>Marc Sánchez-Morales, Virginia Carracedo Martín, Juan Carlos García-Codron, Raquel Cunill-Artigas, Albert Pèlachs Mañosa, Ramon Pérez-Obiol y Joan Manuel Soriano López</i>	
Distribución diferencial de grandes cetáceos: rorcual y cachalote como caso de estudio	750
<i>Estefanía Torreblanca Fernández, José Carlos Báez Barrionuevo, Juan Antonio Camiñas Hernández, Raimundo Real Giménez, David Macías López y Salvador García Barcelona</i>	
Efectos diferenciales sobre los almacenes de carbono de dos gestiones forestales en castaños: lecciones del saber ecológico tradicional y su relación con las quemas prescritas	762
<i>Gonzalo Zavala Espiñeira, Francisco Seijo y Blanca Céspedes González</i>	

PARTE QUINTA. TÉCNICAS Y MÉTODOS EN INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN EN BIOGEOGRAFÍA

Propagación de <i>Abies alba</i> y <i>Fagus sylvatica</i> en el Pirineo durante el período postglacial	777
<i>Elias Asbert Castañeda, Joan Nunes Alonso, Albert Pèlachs Mañosa y Miquel Ninyerola Casals</i>	
Análisis de los suelos volcánicos y su aptitud para los cultivos: prácticas para el Grado de Geografía y Ordenación del Territorio, UCLM	788
<i>Rafael Becerra-Ramírez</i>	
Propuesta metodológica preliminar para el estudio paleobotánico del Antiguo Egipto	799
<i>Maravillas Boccio Serrano</i>	
Cartografía de unidades ambientales y biogeomorfológicas del Parque Nacional de Arly (Burkina Faso)	809
<i>Rafael Cámara Artigas y Yemboado Georges Namoano</i>	

Las turberas de Cantabria, de entorno marginal a recurso didáctico	819
<i>Virginia Carracedo Martín, Juan Carlos García Codron, Albert Pèlach Mañosa, Ramón Octavio Bocigas, Ramon Pérez-Obiol y Joan Manuel Soriano López</i>	
Práctica educativa en el Complejo lagunar de Alcázar de San Juan (Ciudad Real, España): observación, experimentación y manipulación para la formación inicial de pequeños científicos	830
<i>M^a Isabel Castellanos Botija, Pablo Pichaco García y Elena M^a Muñoz Espinosa</i>	
Calidad ambiental del núcleo urbano de Málaga. Aproximación a su estudio a partir del análisis de la fauna	840
<i>Hugo Castro Noblejas y Jennifer Jiménez Robles</i>	
¿Se pueden estudiar las exclusiones competitivas del pasado? La aplicación de la modelación a las interacciones bióticas entre las víboras ibéricas	850
<i>Darío Chamorro Sierra, Antonio-Román Muñoz Gallego, Fernando Martínez-Freiria y Raimundo Real Giménez</i>	
Evolución paleobiogeográfica del abeto (<i>Abies alba</i>) en su límite meridional ibérico (Parc Natural del Montseny, Girona-Barcelona)	860
<i>Raquel Cunill-Artigas, Albert Pèlach Mañosa, Joan Manuel Soriano López, Ramón Pérez-Obiol, Jordi Nadal Tera y Marc Sánchez Morales</i>	
Metodología de inventariado y valoración LANBIOEVA: su aprendizaje y aplicación en la asignatura de Biogeografía y los Trabajos de Fin de Grado	869
<i>María Cristina Díaz Sanz, Pedro José Lozano Valencia y Raquel Varela Ona</i>	
Interrelaciones entre la Arqueología y los aspectos biogeográficos para el estudio del paisaje en el sureste de Ciudad Real	880
<i>Ana Cristina Esquinas Rodrigo y Juan Manuel Martínez Labarga</i>	
El uso de imágenes aéreas digitales de alta resolución y acceso libre para descubrir flamencos y sus huellas en lagunas manchegas	891
<i>Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, Ángel Velasco García, Álvaro Sánchez Sánchez, Máximo Florín Beltrán y José Antonio Gil-Delgado Alberti</i>	
Los contenidos de Biogeografía en la Educación Primaria. Análisis del currículo escolar y de los libros de texto	902
<i>Jonathan Montero Pozo, Adrián Navas Berbel y Óscar Jerez García</i>	
El museo como recurso didáctico: la cuenca carbonífera de Puertollano en el museo paleobotánico de Córdoba	913
<i>Margarita Moreno-Navado, M^a Elena González Cárdenas y Rafael Becerra-Ramírez</i>	

Métodos y técnicas para el estudio biogeográfico histórico de los abetales en el sur de los Pirineos 921
Albert Pèlach Mañosa, Virginia Carracedo Martín, Juan Carlos García Cordon, Raquel Cunill-Artigas, Jordi Nadal Tèrsa, Joan Nunes Alonso, Aaron Pérez-Haase, Ramon Pérez-Obiol, Marc Sánchez Morales, Joan Manuel Soriano López e Ignacio García-Amorena

Concepciones y aplicación didáctica sobre la unión de los ríos Guadiana y Bullaque: conservación a través del conocimiento biogeográfico 932
Gema Sánchez Emeterio y María Cristina Díaz Sanz

Itinerario didáctico para el reconocimiento de plantas en la Ruta del Chorro (Parque Nacional de Cabañeros) 942
Mario Serrano-Patón, Rafael Becerra-Ramírez y Carmen Pilar Marchán Mero

PARTE SEXTA. INVESTIGACIONES EN PROCESO

Manantiales, ¿para qué os queremos? 955
José Ramón Aragón Cavaller y María Dolores Aragón Megía

La Vía Verde del Guadiana: un recorrido por la historia y naturaleza del Distrito Andevalense (sector Mariánico-Monchiquense) 960
Cristina Caetano Sánchez, Javier López-Tirado, José Suárez Suárez y Pablo J. Hidalgo Fernández

Estudio de la regeneración espontánea de helófitos en drenajes ácidos de minas descontaminados mediante tecnología de tratamientos pasivos en la faja pirítica ibérica (Andalucía, España) 962
Pablo J. Hidalgo Fernández, Javier López-Tirado, Francisco Macías Suárez, Antonio Sánchez Almendro y José Miguel Nieto Liñán

Análisis de los recursos educativos que las administraciones generan en sus actuaciones sobre el Patrimonio Natural. El caso de la Región de Murcia 966
María Rosa Mateo Girona

Bosque de alimentos mediterráneo: una experiencia piloto en búsqueda de un sistema compatible entre productividad y conservación en el medio agrario ... 972
Rafael Porras Alonso, Javier López-Tirado, Alessia Nizzoli, Elisabetta Graziani y Pablo J. Hidalgo Fernández

La huella del fuego en el paisaje forestal del Sistema Central..... 976
Catarina Romão Sequeira, Cristina Montiel Molina y Francisco Rego

Contribución de técnicas arqueobotánicas y edáficas al conocimiento de la dinámica forestal histórica. El Monte del Agua (Tenerife, Islas Canarias).....	977
<i>José Ángel Afonso Vargas, Jesús Santiago Notario del Pino, María Eugenia Arozena Concepción y Josep Maria Panareda Clopés</i>	
Fragmentación y conectividad de bosques isla de quercíneas en ambientes mediterráneos agrarios: estudio comparativo entre la vega del Guadalquivir (España) y la región de la Apulia (Italia)	979
<i>Helena Hernández Cerpa, Antonio Sánchez Almendro, Federico Vessella, Javier López Tirado, Rafael Porras Alonso y Pablo J. Hidalgo Fernández</i>	
Barreras geográficas como factores explicativos en los modelos de distribución. El caso de los primates en la cuenca del Congo (África Central) y en la región San Martín (Perú)	981
<i>Alisa Aliaga-Samanez, Jesús Olivero y Raimundo Real</i>	
Mapas interactivos en software libre como herramienta de investigación y divulgación en Biogeografía	982
<i>A. Márcia Barbosa, Joana Bencatel, João Matos, Luís G. Sousa y Francisco Álvares</i>	

MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO BIOGEOGRÁFICO HISTÓRICO DE LOS ABETALES EN EL SUR DE LOS PIRINEOS

Albert Pèlach Mañosa¹, Virginia Carracedo Martín², Juan Carlos García Codron³, Raquel Cunill-Artigas⁴, Jordi Nadal Tera⁵, Joan Nunes Alonso⁶, Aaron Pérez-Haase⁷, Ramon Pérez-Obiol⁸, Marc Sánchez Morales⁹, Joan Manuel Soriano López¹⁰ e Ignacio García-Amorena¹¹

^{1, 4, 5, 6, 9 y 10}*Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona*

^{2 y 3}*Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio., Universidad de Cantabria*

⁷*Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona*

⁸*Unitat de Botànica, Dep. de Biologia Animal, Biologia Vegetal i Ecologia, Universitat Autònoma de Barcelona*

¹¹*Departamento de Sistemas y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Madrid*

¹*albert.pelachs@uab.cat*, ²*virginia.carracedo@unican.es*, ³*juan.garciacodron@unican.es*, ⁴*cunillraquel@gmail.com*, ⁵*jordi.nadal@uab.cat*, ⁶*joan.nunes@uab.cat*, ⁷*jaaronperez@ub.edu*, ⁸*ramon.perez@uab.cat* ⁹*marc.sanchez.morales@uab.cat*, ¹⁰*joanmanuel.soriano@uab.cat*, ¹¹*ignacio.garciaamorena@gmail.com*

RESUMEN:

Con el objetivo principal de aportar nuevas evidencias que permitan conocer con precisión la distribución de los abetales en el pasado, se presenta un trabajo basado en distintas técnicas y métodos que proporciona nuevos datos sobre su migración postglacial y su distribución geográfica y permite valorar su importancia en el pasado en relación al clima y la actividad humana. Las metodologías utilizadas se basan en la combinación de técnicas paleoambientales (palinología, pedoantracología, macrorrestos vegetales...) pero también trabajo de campo y estudios de ADN de distintas poblaciones surpirenaicas. Se demuestra la mayor distribución pasada de los abetales en la vertiente sur pirenaica tanto en extensión como en otros pisos de altitud, además de mostrar la importancia del trabajo pluridisciplinar y de campo para encontrar localidades meridionales lejos del área de distribución óptima.

Palabras clave: *Abies alba*, ADN, Macrorrestos vegetales, Palinología, Pedoantracología.

ABSTRACT (Techniques and methods for the biogeographical and historical study of the firs of southern Pyrenees):

The main objective of this work is to provide new evidences in order to get know the distribution of fir during the past. For doing so, we performed a work based on different techniques and methods, which provide new data about firs postglacial migrations, geographic distribution and allows to assess its importance in past in relation to both climate and human activity. We used methodologies based on the combination of paleoenvironmental techniques (palynology, pedoanthropology, plant macroremains ...) and also fieldwork and DNA studies of different populations of the southern Pyrenees. We demonstrated the larger distribution of firs in past throughout the southern Pyrenees not only in extension but also in other altitude stages, highlighting the importance of multidisciplinary and field work when finding meridional populations far from the optimal distribution area.

Keywords: *Abies alba*, DNA, Macroremain, Palynology, Pedoanthracology

1. INTRODUCCIÓN

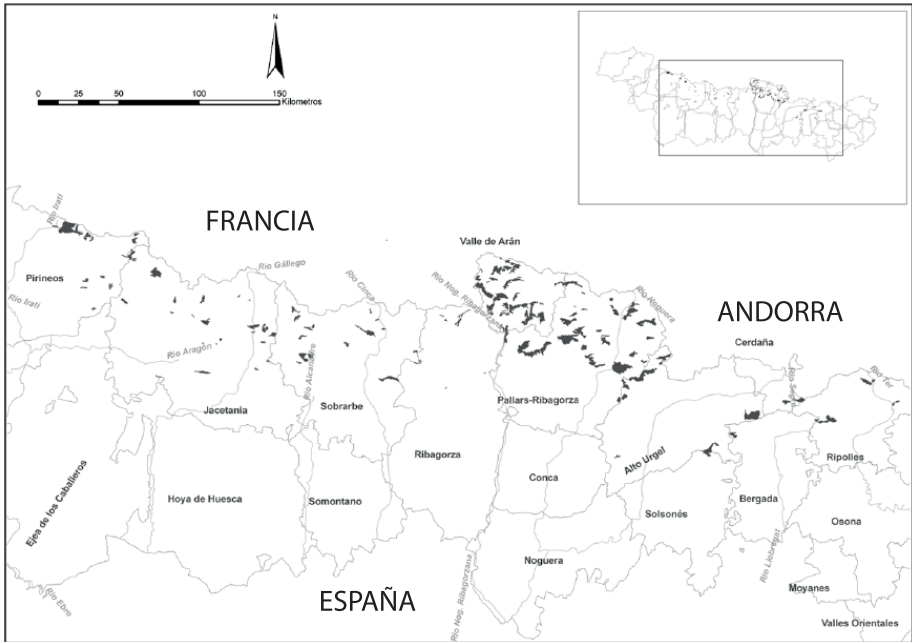
La alta montaña se ha considerado tradicionalmente una de las áreas más sensibles y vulnerables a los cambios ambientales pronosticados para el siglo XXI y una de las áreas prioritarias de atención. Todo esto llevó a la creación del programa *Mountain Research*, cuyos objetivos han sido la monitorización, el análisis de los cambios ambientales, la identificación de los procesos y el desarrollo de políticas de gestión (Becker & Bugmann, 2001). Una de sus conclusiones ha sido que para la conservación de las zonas de montaña se debe tomar en consideración la influencia humana en los sistemas naturales. Además, a partir de técnicas paleobotánicas se está demostrando que esta influencia puede venir de muy antiguo y por lo tanto los sistemas ecológicos deben ser estudiados a largo plazo (Catalan, et al., 2017).

A partir de esta premisa se presenta un estudio basado en la distribución actual de los abetales de *Abies alba* en el sur de los Pirineos que complementa y amplía las informaciones aportadas en anteriores Congresos de Biogeografía (Soriano et al., 2016). Y es que cada vez son más las investigaciones en curso que demuestran que la distribución de *Abies alba* en los Alpes durante el Holoceno pudo ser mucho más extensa y ocupar pisos altitudinales más bajos (Schneider & Tobolski, 1985; Tinner et al., 1999; Wick & Möhl, 2006). En los Pirineos podría confirmarse esta idea después de que la palinología (Jalut et al., 1988; Pèlachs et al., 2009; Galop et al., 2013) y la pedoantracología hayan encontrado indicios razonables de una distribución mayor (Serra et al., 2012). Otra cuestión de actualidad es la interpretación de la colonización de *Abies* y la presencia de zonas refugio. Algunos autores han puesto de manifiesto la localización de macrorrestos anteriores a 12.000 años cal BP en el Cantábrico (Liepelt et al., 2009). Un tema de debate muy interesante es por qué no hay abetales hacia el oeste más allá de la selva de Irati (Alba Sánchez et al., 2010). En la península Ibérica hay muy pocos estudios de ADN de *Abies* con suficientes poblaciones (Sancho-Knapik et al., 2014) pero sí en la vertiente septentrional, donde Bruno Fady ha analizado 45 poblaciones

que actualmente son una referencia pirenaica en un laboratorio del INRA (Unidad de Investigación 629 “Ecologie des Forêts Méditerranéennes” (URFM), Centre de recherche PACA, Avignon, France). Por otro lado, diferentes modelos realizados desde una perspectiva topeclimática de *Abies alba* en el Pirineo (Alba et al., 2009; Alba et al., 2010; Serra-Díaz et al., 2012) ponen en evidencia que la extensión actual del abeto en la península Ibérica es mucho más reducida de lo que podríamos esperar (Figura 1). Según el modelo de Alba Sánchez (2009), la cobertura actual es tan solo el 30% de su potencial geográfico óptimo y apuesta por un gradiente altitudinal en el pasado más amplio que el actual.

Con el objetivo principal de aportar nuevas evidencias que permitan conocer con precisión la distribución de los abetales en el pasado, se presenta un trabajo basado en distintas técnicas y métodos que proporciona nuevos datos sobre su migración postglacial y su distribución geográfica y permite valorar su importancia en el pasado en relación al clima y la actividad humana.

Figura 1. Área de distribución actual de las principales poblaciones de *Abies alba*.



Fuente: Adaptación a partir de Alba et al. (2009).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la distribución actual de *Abies alba* se trabaja con distintos materiales:

- 1) Datos paleobotánicos a partir de la recuperación de registros sedimentarios (palinología, macrorrestos vegetales, etc.);
- 2) Trabajo de campo (pedoantracología, estudio de la distribución actual y recogida de muestras para el estudio del ADN y el índice estomático);
- 3) Trabajo de laboratorio para integrar estos datos en un SIG

y modelizar distintos parámetros.

2.1. ANÁLISIS POLÍNICOS

Tratamiento físico-químico estándar de las muestras. Para la identificación y recuento de los taxones esporopolínicos y otros palinomorfos se utilizan las colecciones de referencia apropiadas para el ámbito de estudio y claves de identificación o atlas (e.g., Moore et al., 1991; Reille, 1992, 1998). El recuento de esporas de hongos coprófilos constituye la base metodológica fundamental para cuantificar la actividad ganadera desde los últimos milenios hasta nuestros días. Sus resultados nos informan de la evolución de la vegetación (análisis polínico) y del medio en que se han formado los sedimentos (palinofacies). La representación gráfica de los resultados en distintos diagramas de frecuencias relativas y absolutas, después de realizar los cálculos estadísticos oportunos, así como su interpretación, completan el análisis palinológico.

2.2. MACRORRESTOS VEGETALES

Estudiar las comunidades vegetales del pasado y compararlas con las actuales. Los macrorrestos vegetales de sedimentos (p.ej., maderas, semillas, acículas y otras hojas, etc.) se obtienen de dos modos: 1) Por filtración y flotación con agua destilada mediante un tamiz de 300 μm y otro de 150 μm (Smol et al., 2003) aprovechando las mismas muestras que se usan para el análisis polínico. 2) Cuando la cantidad de muestra lo permite, a partir de un método específico según Mauquoy et al., (2010) que disuelve la muestra con KOH (5%), agua destilada y aplicando calor sin llegar a la ebullición.

La conservación de todos los macrorrestos vegetales una vez seleccionados se hace con una disolución de agua y alcohol y glicerina si se considera que no se datarán. Esto es especialmente importante en el caso del género *Sphagnum* con el fin de evitar el desprendimiento de las hojas del tallo, que son altamente distintivas de muchas especies, con lo cual se espera lograr la identificación a nivel de especie (Mauquoy et al., 2010). Los macrorrestos no susceptibles de sufrir alteraciones en un proceso de secado (ej.: acículas, carbones, restos leñosos subfósiles, frutos y semillas en buen estado de conservación), se desecarán a temperatura ambiente y se conservarán en cámara frigorífica a 2°C.

Los macrorrestos recolectados en sondeos superficiales (troncas y otros restos leñosos, frutos, piñas, cortezas...), se desecan a temperatura ambiente y se conservan en cámara frigorífica a 2°C. Sobre los restos recuperados se procede a su determinación taxonómica siempre que sea posible.

2.3. PEDOANTRACOLOGÍA

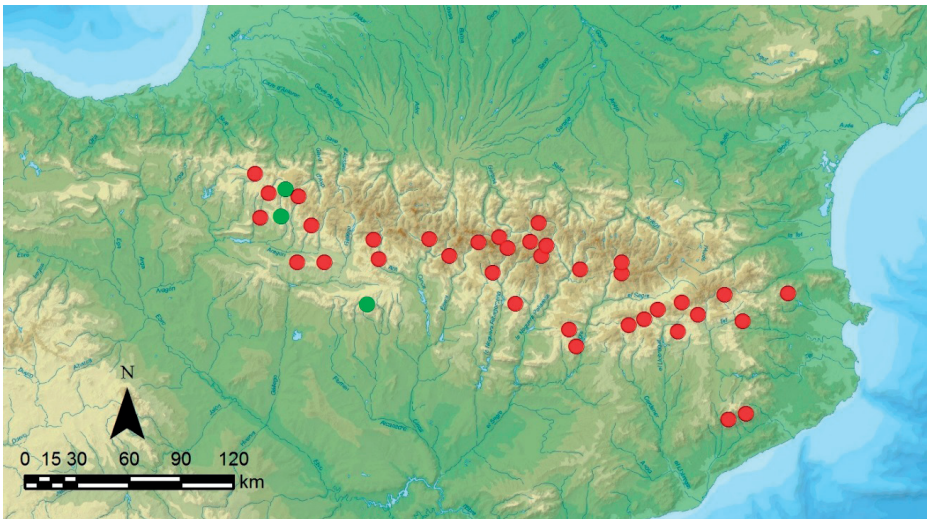
La metodología utilizada se basa en la realización de fosas de muestreo siguiendo un transecto preestablecido mediante el conocimiento biogeográfico de la zona. La metodología de trabajo se basa en el método pedoantracológico estándar descrito por Talon, Carcaillet y Thinon (1998). Cada fosa es descrita pedológicamente lo que permite definir los niveles de muestreo del perfil edáfico. Por cada nivel se extraen

entre 5 y 10 kg de tierra. Una vez en el laboratorio, las muestras se dejan secar y se prosigue con su tamizado con agua. El paso siguiente es el aislamiento manual de los carbones divididos en tres tamaños: 0,8–2,0 mm, 2,0–5,0 mm y >5,0 mm. El paso siguiente es la identificación taxonómica a nivel de especie o de género mediante el microscopio episcópico. El último paso consiste en la realización de dataciones radiocarbónicas de un número representativo de carbones. Mediante la cuantificación de carbón, la identificación de la especie y la datación llegamos a conocer si había o no árboles o arbustos en el lugar, a qué especie o género pertenecían y cuándo se encontraban ahí.

2.4. ANÁLISIS ADN

El trabajo de campo ha permitido el estudio de diferentes poblaciones de abeto (entre el Montseny e Irati) a partir de los marcadores genéticos contenidos en las hojas de los árboles. La comparación entre estructuras genéticas permitirá conocer y diferenciar el origen geográfico de las poblaciones de abeto y las principales vías de migración de la especie durante el periodo post-glacial. El proyecto global incluye el estudio de 39 localidades geográficas con abeto repartidas por todo el Pirineo meridional y zonas limítrofes que se han agrupado en 29 poblaciones (Figura 2) repartidas por tres Comunidades Autónomas (Navarra, Aragón y Cataluña). Cuando ha sido posible, se han recolectado 30 árboles por población y se ha recogido un gramo de hojas de cada árbol que han sido debidamente secadas con silicagel. En total se han procesado más de 1000 muestras y se han recogido variables no paramétricas asociadas a cada localidad que permiten caracterizar la actual distribución de *Abies alba*.

Figura 2. Mapa de localidades de *Abies alba* incluidas en el estudio.



Nota. En rojo localidades prospectadas por el Geohist18k; en verde colaboración con el IPE (J.J. Camarero). Elaboración propia a partir de Pyrenees topographic map-ca.svg (Wikimedia Commons 30-11-2017).

2.5. ÍNDICE ESTOMÁTICO

A partir de las acículas fósiles de *Abies alba* (García Álvarez et al., 2014) y de la proporción de las estomas en relación con las células epidérmicas, se realizará la reconstrucción de los niveles de CO₂ como indicador climático. La calibración ha sido posible con las mismas muestras de *Abies alba* recolectadas para el análisis de ADN. Para una correcta calibración se trabaja con muestras de 3 acículas en tres árboles cada 100 metros de desnivel para medir la variación en parámetros estomático a medida que disminuye la presión parcial del CO₂ atmosférico (Lin et al., 2001; McElwain, 2004).

3. PRINCIPALES RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis polínicos confirman la importancia de la presencia pretérita de *Abies alba* durante todo el Holoceno en la mayoría de las localidades estudiadas. Distintos diagramas polínicos confirman valores muy superiores a los de la actualidad a lo largo del Holoceno medio, lo cual permite confirmar un área de distribución mucho más extensa.

Los macrorrestos vegetales han permitido caracterizar determinadas situaciones climáticas características durante el Holoceno y a su vez han servido para ubicar mejor la presencia de los abetos.

Los estudios pedoantracológicos han permitido atestiguar la presencia de *Abies alba* en distintas altitudes y orientaciones que exceden las consideradas de forma general a partir de la distribución actual. En este sentido, hay que destacar los nuevos datos aportados por la pedoantracología para la zona de distribución más meridional de toda la península Ibérica: el Montseny. Los datos constatan la presencia pasada de *Abies alba* en distintas orientaciones y zonas alejadas de los actuales abetales (Figura 3).

El análisis del ADN y de índice estomático se encuentra en la fase de laboratorio. Aunque el trabajo de campo realizado para la obtención de acículas para la extracción de ADN e índices, ha permitido obtener una gran cantidad de datos no paramétricos complementarios. Es decir, para 27 de las 29 poblaciones analizadas se dispone de la localización del abeto, el diámetro de su tronco, las principales especies leñosas acompañantes, la orientación, la altitud y algunas observaciones acerca de la parcela concreta. El método de muestreo ha perseguido la accesibilidad, la homogeneidad de la masa -sin obviar zonas colindantes extremas- y la separación de los árboles un mínimo de 30 m de distancia entre ellos porque el objetivo es el estudio del ADN y por lo tanto, su interpretación espacial tiene un determinado sesgo. No obstante, a partir de ellos se pueden discutir algunas características de la distribución biogeográfica actual que, a menudo, no se consideran en los estudios biogeográficos que tratan las principales poblaciones:

1. La población con *Abies alba* más oriental de la península Ibérica se encuentra cerca de la población de Maçanet de Cabrenys a 35 km del mar Mediterráneo en línea recta. Mientras que la población más meridional se ha localizado en el Montseny, en concreto en el valle de Vallfornés (municipio Tagamanent) donde los abetos se encuentran compartiendo nicho ecológico con *Fagus*

sylvatica y *Quercus ilex*. Como ya era conocido, la población más occidental está en Irati en Navarra y también es la más septentrional.

- De los 1.041 abetos estudiados en el 51% de los casos estaba acompañado de *Pinus sylvestris*, mientras que para el 36% de los casos de *Fagus sylvatica* o *Buxus sempervirens*. Las principales especies acompañantes se indican en la tabla 1.

Figura 3. Pedoantracología e identificaciones de *Abies alba* en el Montseny.

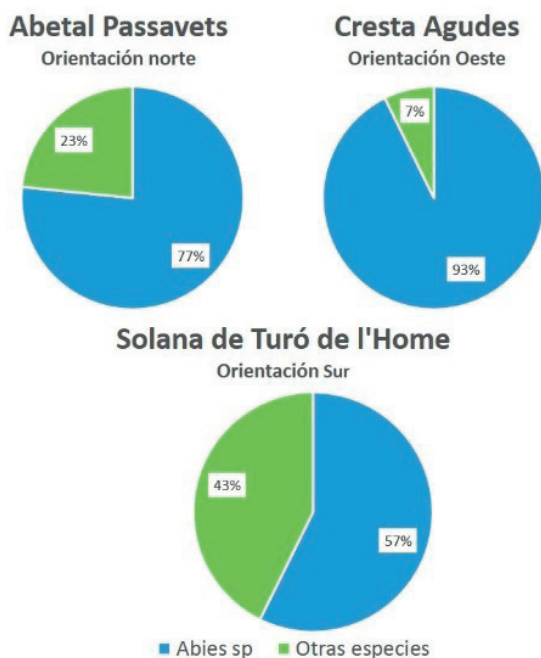


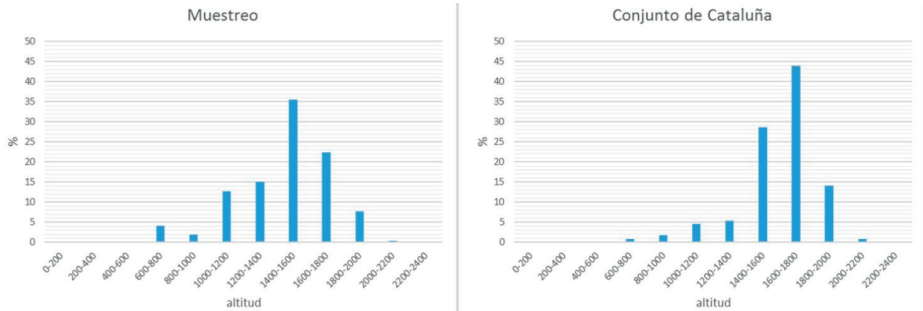
Tabla 1. Resumen de los datos obtenidos en el trabajo de campo

Árboles	%	Arbustos	%
<i>Pinus sylvestris</i>	50,4	<i>Buxus sempervirens</i>	35,8
<i>Fagus sylvatica</i>	36,0	<i>Juniperus communis</i>	19,5
<i>Corylus avellana</i>	20,1	<i>Ilex aquifolium</i>	9,9
<i>Sorbus aucuparia</i>	16,5	<i>Crataegus monogyna</i>	8,4
<i>Betula pendula</i>	16,3	<i>Rosa sp.</i>	7,2
<i>Pinus uncinata</i>	15,1	<i>Rhododendron ferrugineum</i>	6,4

Elaboración propia.

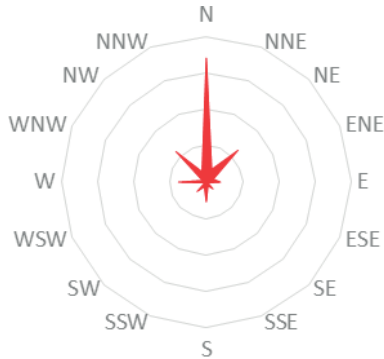
- Por lo que respecta a las altitudes donde se encuentran los individuos muestreados, el de la cota más baja está a poco más de 600 msnm, en el Pirineo aragonés, mientras que el más alto alcanza los 2.122 metros y se localiza en el Pirineo central, cerca del Valle de Arán. En la Figura 4 se puede ver el histograma correspondiente al número de individuos muestreados y, para tener una referencia, se ha comparado con el del inventario forestal de Catalunya (Gracia et al., 2004). Esta comparación permite constatar el interés que ha guiado nuestro trabajo de campo por incluir situaciones periféricas (por ejemplo, las cotas más bajas se encuentran sobre-representadas).

Figura 4. Distribución altitudinal de *Abies alba* muestreado.



La sensibilidad a la hora de muestrear abetos en orientación sur ha dado como resultado que un 15% (Figura 5) de los individuos presentan esta exposición, un porcentaje muy superior a la media de los trabajos sobre abetales.

Figura 5. Orientación de *Abies alba* muestreado.



4. CONSIDERACIONES FINALES

La combinación de métodos y técnicas usados para el estudio biogeográfico de *Abies alba* son complementarios. Todas las técnicas permiten aportar nuevas evidencias de la distribución pasada y presente de los abetales. El estado actual de conocimientos ya permite afirmar que: 1) Durante el Holoceno existió una mayor distribución y extensión de los abetales en la vertiente sur pirenaica. 2) *Abies alba*

ocupaba pisos de vegetación distintos a los actuales. 3) Su distribución varía con los cambios climáticos pero también con la influencia humana. 4) El trabajo de campo ha aportado evidencias de localidades meridionales lejos del área de distribución óptima en altitudes y orientaciones poco favorables.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido posible a partir del proyecto coordinado “Estudio biogeográfico histórico comparado (Montaña Cantábrica, Sistema Central y Pirineos): 18000 años de cambios climáticos y antrópicos sobre especies forestales indicadoras (CSO2015-65216-C2-1-P)”, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MEC), a partir del “Grup de Geografia Aplicada (2014 SGR 1090)”, financiado por AGAUR, Generalitat de Catalunya y a partir del proyecto “Los bosques del pasado como clave para comprender los bosques del futuro: dinámica histórica de los abetales en la vertiente sudoriental pirenaica (CSO2015-74008-JIN)”, financiado asimismo por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

5. REFERENCIAS

- ALBA, F., LÓPEZ SÁEZ, J.A., BENITO, B. & LÓPEZ-MERINO, L. 2009: “Historia paleoecológica y modelo de idoneidad de *Abies alba* Mill. en la cordillera pirenaica”. *Pirineos*, 164: 93-116.
- ALBA, F., LÓPEZ-SÁEZ, J.A., BENITO, B., LINARES, J.C., NIETO, D. & LÓPEZ-MERINO, L. 2010: “Past and present potential distribution of the Iberian *Abies* species: a phytogeographic approach using fossil pollen data and species distribution models”. *Diversity and Distributions*, 16(2):214-228.
- BECKER, A., BUGMANN, H. 2001: *Global change and mountain regions*. Stockholm, IGBP Report, 49 p.
- CATALAN, J.; NINOT, J.M. & ANIZ, M.M. 2017: *High Mountain Conservation in a Changing World. Advances in Global Change Research* 62. Cham, Switzerland, Springer.
- GALOP, D., RIUS, D., CUGNY, C. & MAZIER, F. 2013: “A History of Long-Term Human–Environment Interactions in the French Pyrenees Inferred from the Pollen Data”, en: Lozny, L.R. (ed.) *Continuity and Change in Cultural Adaptation to Mountain Environments*. New York, Springer: 19-30.
- GARCÍA ÁLVAREZ, S., MORLA, C., PAULL, R. & GARCÍA-AMORENA, I. 2014: “A taxonomic tool for identifying needle remains of south-western European *Pinus* species of the Late Quaternary”. *Botanical Journal*, 175(2):282-298.
- GRACIA C., IBÁÑEZ J.J., BURRIEL J.A., MATA, T. & VAYREDA J., 2004: *Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya*. Catalunya, Bellaterra, CREAF.
- JALUT, G., GALOP, D., BELET, J.M., AUBERT, S., ESTEBAN, A., BOUCHETTE, A., DEDOUBAT, J.J.I. & FONTUGNE, M., 1998: “Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années”. *Journal de la Société Botanique Française*, 5:73–84.

LIEPELT, S., CHEDDADI, R., DE BEAULIEU, J.L., FADY, B., GÖMÖRY, D., HUSSENDÖRFER, E., KONNERT, M., LITT, T., LONGAUER, R., TERHÜRNE-BERSON, R. & ZIEGENHAGEN, B., 2009: "Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) A synthesis from palaeobotanic and genetic data". *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153:139-149.

LIN, J.; JACH, M.E. & CEULEMANS, R. 2001: "Stomatal density and needle anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris*) are affected by elevated CO₂". *New Phytologist*, 150(3):665-674.

MATTHEWS, T.J., BORGES, P.A.V., BRITO, E. & WHITTAKER, R.J. 2017: "A biogeographical perspective on species abundance distributions: recent advances and opportunities for future research". *Journal of Biogeography*, 44:1705-1710.

MAUQUOY, D., HUGHES, P.D.M. & VAN GEEL, B. 2010: "A protocol for plant macrofossil analysis of peat deposits". *Mires and Peat*, 7(6): 1-5.

MCELWAIN, J.C. 2004: "Climate-independent paleoaltimetry using stomatal density in fossil leaves as a proxy for CO₂ partial pressure". *Geology*, 32(12): 1017-1020.

MOORE, P.D., WEBB, J.A. & COLLINSON, M.E. 1991: *Pollen analysis*. London, Blackwell.

PÈLACHS, A.; NADAL, J.; SORIANO, J.M.; MOLINA, D. & CUNILL, R. 2009: "Changes in Pyrenean woodlands as a result of the intensity of human exploitation: 2,000 years of metallurgy in Vallferrera, northeast Iberian Peninsula". *Vegetation History and Archeobotany*, 18(5):403-416.

REILLE, M. 1992: *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Marseille, Lab. Bot. Hist. Palyno.

REILLE, M. 1998: *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Supplément 2*. Marseille, Laboratoire de botanique historique et de palynologie,.

SANCHO-KNAPIK, D., PEGUERO-PINA, J.J., CREMER, E., CAMARERO, J.J., FERNÁNDEZ-CANCIO, Á., IBARRA, N., KONNERT, M. & GIL-PELEGRÍN, E. 2014: "Genetic and environmental characterization of *Abies alba* Mill. populations at its western rear edge". *Pirineos*, 169:e007.

SCHNEIDER, R. & TOBOLSKI, K., 1985: "Lago di Ganna-Late-glacial and Holocene environments of a lake in the Southern Alps". *Dissertationes Botanicae*, 87: 229-271.

SERRA-DIAZ, J.M., NINYEROLA, M. & LLORET, F., 2012: "Coexistence of *Abies alba* (Mill.) – *Fagus sylvatica* (L.) and climate change impact in the Iberian Peninsula: A climatic-niche perspective approach". *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(1): 10-18.

SMOL, J.P., BIRKS, H.J.B. & LAST, W.M. 2003: *Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators*. Dordrecht, Netherland, K. A. Publishers.

SORIANO LÓPEZ, J.M., PÈLACHS, A., PÉREZ-OBÍOL, R., RODRÍGUEZ, J.M. & CUNILL, R. 2016: "Dinámica del abeto en el Pirineo catalán durante los últimos 10.000 años", en Gómez-Zotano, J., Arias García, J., Olmedo, J.A. & Serrano, J. (eds). *Avances en Biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras*.

Granada, Editorial Universidad de Granada: 544-552.

TALON, B., CARCAILLET, C. & THINON, M. 1998: “Études pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l’Holocene dans les alpes françaises”. *Géographie physique et Quaternaire*, 52:195–208

TINNER, W., HUBSCHMID, P., WEHRLI, M., AMMANN, B. & CONEDERA, M. 1999: “Long-Term Forest Fire Ecology and Dynamics in Southern Switzerland”. *Journal of Ecology*, 87(2): 273–289

WICK, L. & MÖHL, A. 2006: “The mid-Holocene extinction of silver fir (*Abies alba*) in the Southern Alps: a consequence of forest fires? Palaeobotanical records and forest simulations”. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15:435–444.