

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

MONOGRÁFICO

23

ier

Instituto de Estudios Riojanos

ZUBÍA. MONOGRÁFICO
REVISTA DE CIENCIAS,
Nº 23 (2011). Logroño (España).
P. 1-258, ISSN: 1131-5423



DIRECTORA

Purificación Ruiz Flaño

CONSEJO DE REDACCIÓN

Luis Español González

Rafael Francia Verde

Juana Hernández Hernández

Luis Miguel Medrano Moreno

Enrique Requeta Loza

Rafael Tomás Las Heras

CONSEJO CIENTÍFICO

José Antonio Arizaleta Urarte

(Instituto de Estudios Riojanos)

José Arnáez Vadillo

(Universidad de La Rioja)

Susana Caro Calatayud

(Fundación Patrimonio Paleontológico de Enciso)

Eduardo Fernández Garbayo

(Universidad de La Rioja)

Rosario García Gómez

(Universidad de La Rioja)

José M^a García Ruiz

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

Javier Guallar Otazua

(Universidad de La Rioja)

Teodoro Lasanta Martínez

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

Joaquín Lasierra Cirujeda

(Hospital San Pedro, Logroño)

Luis Lopo Carramiñana

(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

Fernando Martínez de Toda

(Universidad de La Rioja)

Juan Pablo Martínez Rica

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

José Luis Nieto Amado

(Universidad de Zaragoza)

José Luis Peña Monné

(Universidad de Zaragoza)

Félix Pérez-Lorente

(Universidad de La Rioja)

Eduardo Viladés Juan

(Complejo Hospitalario San Millán-San Pedro de Logroño)

Carlos Zaldívar Ezquerro

(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Instituto de Estudios Riojanos

C/ Portales, 2

26071 Logroño

publicaciones.ier@larioja.org

Suscripción anual España (1 número y monográfico): 15 €

Suscripción anual extranjero (1 número y monográfico): 20 €

Número suelto: 9 €

Número monográfico: 9 €

INSTITUTO DE ESTUDIOS RIOJANOS

ZUBIA

REVISTA DE CIENCIAS

Monográfico Núm. 23

EL CAMBIO GLOBAL: ESTUDIOS EN LA RIOJA

Coordinador

TEODORO LASANTA MARTÍNEZ



Gobierno de La Rioja
Instituto de Estudios Riojanos

LOGROÑO

2011

El cambio global: estudios en La Rioja/ coordinador, Teodoro Lasanta Martínez. – Logroño : Instituto de Estudios Riojanos, 2011
258 p. : gráf. ; 24 cm – (Zubía. Monográfico, ISSN 1131-5423; 23). – D.L. BI 428-1991
1. La Rioja-Clima. I. Lasanta Martínez, Teodoro. II. Instituto de Estudios Riojanos.
III. Serie
551.58(460.21)
556.5

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse ni transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los titulares del copyright.

© Logroño, 2011
Instituto de Estudios Riojanos
C/ Portales, 2
26001-Logroño, La Rioja (España)

© Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación

© Imagen de la cubierta: Revegetación en el Alto Oja.
(Fotografía de Teodoro Lasanta)

Imprime: INO Reproducciones, S.A.

ISSN 1131-5423
Depósito Legal BI-428-1991

Impreso en España - Printed in Spain

ÍNDICE

TEODORO LASANTA

El cambio global: estudios en La Rioja

Global change studies in La Rioja 7-16

ANA PÉREZ SANZ, PENÉLOPE GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, BLAS L. VALERO-GARCÉS, ANA MORENO, MARIO MORELLÓN, CARLOS SANCHO, ANCHEL BELMONTE, GRACIELA GIL-ROMERA, MIGUEL SEVILLA, ANA NAVAS

Clima y actividades humanas en la dinámica de la vegetación durante los últimos 2000 años en el Pirineo Central: el registro palinológico de la Basa de la Mora (Macizo de Cotiella)

Climatic and human activity in the vegetation dynamics of Central Pyrenees during the last 2000 years: the Basa de la Mora record (Cotiella Massif) 17-38

RAFAEL FERNÁNDEZ ALDANA

La presencia de robles entre los siglos XVIII y XX en el valle del Ebro (La Rioja)

Presence of deciduous oaks in the Ebro Valley (La Rioja) during XVIII, XIX and XX centuries 39-54

TEODORO LASANTA, MARÍA PAZ ERREA ABAD, SERGIO M. VICENTE-SERRANO, JOSÉ ARNÁEZ

La diversidad de la cubierta vegetal en campos abandonados del Leza y Jubera (Sistema Ibérico, La Rioja) a partir del SIOSE

Land cover diversity in abandoned fields in the Leza and Jubera valleys (Iberian System, La Rioja) from SIOSE 55-78

FERNANDO PÉREZ-CABELLO

Actividad vegetal de las cuencas de los ríos Cidacos y Alhama (La Rioja): análisis diacrónico mediante imágenes Landsat

Vegetation activity of the Cidacos and Alhama Rivers Basins (La Rioja): diachronic analysis using Landsat imagery 79-102

JESÚS JULIO CAMARERO MARTÍNEZ

Dinámica post-incendio de la vegetación en un valle del Alto Najerilla

Post-fire vegetation dynamics in the High Najerilla Valley 103-124

JAVIER MARTÍNEZ-ABAIGAR, RAFAEL TOMÁS LAS HERAS, GABRIEL FABÓN, LAURA MONFORTE, ENCARNACIÓN NÚÑEZ-OLIVERA

Bioindicadores del cambio global: los briófitos ante la degradación de ozono estratosférico y el aumento de radiación ultravioleta en la Biosfera

Global Change bioindicators; impacts of stratospheric ozone degradation and increased ultraviolet radiation in bryophytes 125-162

**ENCARNACIÓN NÚÑEZ-OLIVERA, RAFAEL TOMÁS LAS HERAS,
MARÍA DE LOS ÁNGELES DEL CASTILLO, GABRIEL FABÓN, LAURA MONFORTE,
JAVIER MARTÍNEZ-ABAIGAR**

Radiación ultravioleta y fotosintética en dos observatorios de montaña

(Valdezcaray, La Rioja)

Ultraviolet and photosynthetic radiations in two mountain observatories

(Valdezcaray, La Rioja) 163-186

ALFREDO OLLERO OJEDA

Los cauces fluviales como indicadores de cambio global: propuesta metodológica

Rivers channels as geoindicators of global change: methodological approach 187-200

BELINDA GALLARDO, CECILIA ESPAÑOL

El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1971) en La Rioja: situación actual
y evolución potencial

The zebra mussel (Dreissena polymorpha, Pallas 1971) in La Rioja (NE Spain):

current situation and potential evolution 201-220

RUBÉN ESTEBAN PÉREZ

Estudio de las medidas tomadas para la remediación del impacto medioambiental
en las cuevas visitables de Ortigosa de Cameros (Gruta de La Viña y Gruta
de La Paz), La Rioja

Study of the steps taken to the environmental remediation on the tourist caves of

Ortigosa de Cameros (Cave of La Viña and Cave of La Paz), La Rioja (Spain) 221-250

CLIMA Y ACTIVIDADES HUMANAS EN LA DINÁMICA DE LA VEGETACIÓN DURANTE LOS ÚLTIMOS 2000 AÑOS EN EL PIRINEO CENTRAL: EL REGISTRO PALINOLÓGICO DE LA BASA DE LA MORA (MACIZO DE COTIELLA)

A. PÉREZ SANZ¹, P. GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ¹, B. VALERO-GARCÉS¹, A. MORENO¹,
M. MORELLÓN², C. SANCHO³, A. BELMONTE³, G. GIL-ROMERA¹,
M. SEVILLA¹, A. NAVAS⁴

RESUMEN

La secuencia polínica de la Basa de la Mora, localizada en el Pirineo Central a 1914 m s.n.m., indica que la evolución de la vegetación durante los últimos 2000 años ha estado condicionada en gran parte por las diferentes etapas climáticas que se han sucedido en el NE de la Península Ibérica durante este periodo. Los taxones relacionados con las actividades antropogénicas (cultivos y pastos) se recogen desde el comienzo de la secuencia en proporciones bajas, lo que indica un impacto humano leve sobre el paisaje. El comienzo de la secuencia registra una vegetación acorde con las características más húmedas y cálidas del “Periodo Húmedo Íbero-Romano” (50 a.C.-500 d.C). Tras una etapa de transición, se observa una clara respuesta de la vegetación a las condiciones más áridas del “Periodo Cálido Medieval” (900-1300 d.C). Coincidiendo con el comienzo de la “Pequeña Edad de Hielo” (1300-1850 d.C.) aumentan los taxones propios de cultivos, especialmente *Olea*, apuntando a una intensificación de las actividades humanas en las zonas bajas. La variabilidad en los porcentajes de taxones de bosque a partir de este momento sugiere eventos puntuales de deforestación, si bien ésta no se recoge de manera sistemática y permanente en el piso subalpino. Los cambios en el uso del suelo acontecidos con el comienzo de la Era Industrial son los responsables últimos de la gran expansión de los taxones arbóreos registrada desde 1850, y acentuada desde 1950 hasta la actualidad, como consecuencia del éxodo rural ma-

-
1. Instituto Pirenaico de Ecología (IPE)-CSIC. Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España.
 2. Department of Surface Waters, Eawag (Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs). Überlandstrasse 133. P. O. Box 611, 8600 Dübendorf, Suiza.
 3. Departamento de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. C. Pedro Cerbuna s/n. 50009 Zaragoza, España.
 4. Estación Experimental de Aula Dei (EEAD)-CSIC. Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, España.

sivo. En general, los datos obtenidos en la secuencia de la Basa de la Mora apuntan a que los cambios climáticos no sólo han influido en la evolución de la vegetación hasta épocas muy recientes, sino que han podido condicionar a su vez el grado de presión humana en el paisaje.

Palabras clave: Pirineo Central, últimos 2000 años, evolución vegetal, cambio climático, usos del suelo.

The pollen sequence for the last 2000 years from Basa de la Mora Lake (Central Pyrenees, 1914m a.s.l.), points to climate variability as the main forcing controlling the vegetation evolution in the Pyrenean mountains. The interpreted landscape during the Roman Period shows features coherent with warmer and more humid climate associated to the “Roman Humid Period” (50 B.P.-500 A.D.). After a transitional stage during the V-IX centuries the vegetation shows evidences of arid conditions reflecting the “Medieval Warm Period” (900-1300 A.D.). Finally during the “Little Ice Age” (1300-1850 A.D.) cooler and more humid conditions occurred. Human-related taxa (crops and pastures) appeared already 2000 years ago, but in such low percentages that slight human impact is inferred. Coinciding with the onset of the LIA cultivated taxa, principally Olea, start to spread indicating an increasing human occupation of the lowlands. Sharp variations in the forest cover during this period suggest short events of forest decline but not a permanent deforestation of the subalpine belt. Intense changes in land use at the onset of the Industrial Era are the main factors responsible of the expansion of the arboreal trees since 1850. This trend was accentuated after 1950 as consequence of the large rural exodus. The results obtained in the Basa de la Mora sequence indicate that climate changes not only have conditioned the evolution of the vegetation until recent periods but also the degree of the human impact over the landscape.

Key words: Central Pyrenees, Last 2000 years, Landscape evolution, Climate change, Land use.

1. INTRODUCCIÓN

La historia de la Tierra está ligada a cambios climáticos naturales de mayor o menor entidad cuyas causas y consecuencias son objeto de estudio por parte de la comunidad científica (Augustin *et al.*, 2004). El conocimiento de la interacción entre los componentes implicados en el sistema climático terrestre y la respuesta a la modificación de alguno de ellos puede servir de base para mejorar los modelos climáticos predictivos que intentan simular escenarios futuros realistas para el actual calentamiento global (Solomon *et al.*, 2007). En particular, el estudio de los cambios climáticos más recientes nos permite profundizar, no sólo en las causas sino también en la respuesta y adaptación de las sociedades humanas a la variabilidad climática, ya que dichos cambios ambientales han estado en la base de muchas de las crisis económicas, sociales y demográficas que han afectado a las sociedades preindustriales y han condicionado el devenir de la historia de los últimos siglos (Costanza *et al.*, 2007).

En Europa, los últimos 2000 años están lejos de ser climáticamente estables (Mann, 2007, Büntgen *et al.*, 2011). En la Península Ibérica, se han identificado cinco grandes periodos climáticos en los dos últimos milenios. El comienzo de nuestra era se ha caracterizado como un periodo húmedo y templado denominado “Periodo Húmedo Íbero-Romano” que duró hasta aproximadamente el año 400 d.C (Martín-Puertas *et al.*, 2009). Este periodo se ha reconocido como húmedo también en registros del Mediterráneo oriental (Leroy, 2010), apuntando al carácter global de esta etapa. Le sucedió, hasta el año 900 d.C, un periodo de contrastes climáticos conocido como “Dark Ages”, donde se han reconstruido etapas frías y templadas y otras húmedas y áridas en diferentes áreas geográficas de la Península Ibérica (Martín Puertas *et al.*, 2009; Corella-Aznar *et al.*, 2011). Entre los años 900 y 1300 d.C se registró el “Periodo Cálido Medieval”, el cual se caracterizó por una aridez y unas temperaturas mayores que las actuales (Moreno *et al.*, en revisión), con un claro impacto en los recursos hídricos. La “Pequeña Edad de Hielo”, entre 1300 y 1850 d.C, supuso un enfriamiento considerable de las temperaturas y una vuelta a condiciones más húmedas, aunque con gran variabilidad interna (López-Vera, 1986; Morellón *et al.*, en revisión). Este recrudescimiento del clima está asociado a fases de mínima actividad solar y llevó consigo el reavance de los glaciares en las montañas ibéricas (Chueca Cía *et al.*, 2005; González-Trueba *et al.*, 2008). El patrón climático general establecido para el Periodo Cálido Medieval (PCM) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH) en Europa occidental y central, parece no haber seguido la misma dinámica en el Mediterráneo oriental, registrándose la PEH como una fase mucho más árida que el PCM (Kaniewski *et al.*, 2011; Roberts *et al.*, en revisión). Por último, desde el año 1850, y coincidiendo con la llegada de la Revolución Industrial, se ha reconocido un progresivo aumento de las temperaturas ligado a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Bala *et al.*, 2005; IPCC, 2007).

El estudio de diversos tipos de registros paleoclimáticos ha permitido avanzar en el conocimiento de la evolución climática más allá de los registros históricos instrumentales. Sin embargo, hay que tener presente que en los periodos más recientes las actividades humanas han dejado su impronta en el paisaje a través del uso y manejo del entorno (Cohen *et al.*, 2005; Enters *et al.*, 2006) y que los archivos naturales reproducen dicha modificación. La capacidad de discernir entre los forzamientos naturales y los antropogénicos en los cambios del paisaje pasa por la búsqueda de señales de fondo comunes en la mayor cantidad de registros posibles, así como en el estudio de zonas potencialmente poco afectadas por las actividades humanas para evitar el posible enmascaramiento de la evolución climática natural.

Numerosos estudios han puesto de manifiesto la gran variabilidad de la actividad antropogénica en el Pirineo y Prepirineo, en respuesta a un patrón complejo de ocupaciones humanas, en un área de topografía y climatología severas (Montserrat, 1992; Galop y Jalut, 1994; Riera *et al.*, 2004; Morellón *et al.*, en prensa; Rull *et al.*, en prensa). Aun cuando el clima no ha sido estable, la evolución del paisaje de los últimos 2000 años se achaca en gran medida a la capacidad humana para transformarlo a su voluntad (Miras *et al.*,

2007; Ejarque *et al.*, 2010). La reconstrucción paleoambiental de la Basa de la Mora presentada en este trabajo y su comparación con otras secuencias existentes, contribuye a esclarecer: i) la relación del hombre con los medios de alta montaña durante los últimos milenios y su capacidad para modificar y enmascarar la evolución natural del paisaje; y ii), si ha existido o no subordinación de las actividades antropogénicas a los cambios en el clima, su-peditando la hospitalidad de las áreas geográficas sensibles a las modificaciones ambientales.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La Basa de la Mora (42° 32' 51"N, 0° 19' 35"E, 1914m s.n.m.) es un ibón o lago de origen glaciar, localizado en el sector central del Pirineo, y más concretamente en una cubeta de sobre-excavación glaciar en el Macizo de Cotiella (Huesca). Sus dimensiones son reducidas (~ 6,3 ha) y la lámina de agua no suele superar los 4 metros de profundidad. El Macizo de Cotiella constituye un macizo calcáreo relativamente meridional, aislado del eje principal y de las grandes cumbres del Pirineo, flanqueado al este por el río Ésera, al oeste por el río Cinca y al norte por el valle de Gistaín (Fig. 1). Climáticamente, el área se encuadra en una zona de transición afectada por la influencia que ejercen el mar Mediterráneo por el este, y el océano Atlántico por el oeste (Cuadrat y Vicente-Serrano, 2008). Esta posición geográfica particular, unida al marcado gradiente topográfico existente entre los fondos de los valles (situados de media a 700 m de altitud) y la cumbre de Cotiella (a casi 3000 m s.n.m.), confieren al territorio una gran variedad de ambientes y un mosaico biogeográfico importante. La precipitación media es de 1360 mm que se distribuyen heterogéneamente en dos picos anuales, coincidiendo con primavera y otoño respectivamente, siguiendo el patrón mediterráneo de precipitación. Sin embargo, el verano no es tan seco como en otras áreas de influencia mediterránea debido a las lluvias convectivas que afectan al Pirineo en agosto. Las temperaturas medias varían desde -3° C en el mes más frío (enero) hasta 15° C en el más cálido (julio). El clima general del área se puede caracterizar como de tipo sub-mediterráneo con influencia continental.

La vegetación de la zona está ampliamente controlada por los factores climáticos y topográficos de la comarca, además de por el aprovechamiento antropogénico de bosques y pastos (Fig. 2). El gradiente altitudinal condiciona la distribución de las especies según los pisos bioclimáticos, mientras que la orientación de las laderas determina el tipo de vegetación de la sucesión bioclimática. De este modo, las caras orientadas al sur se caracterizan por una vegetación de carácter marcadamente mediterráneo, con formaciones de *Quercus ilex* y *Q. faginea*, y *Pinus nigra* y *P. sylvestris*, en representación de los pisos supramediterráneo y oromediterráneo respectivamente. Por su parte, en las laderas orientadas al norte, se suceden formaciones de *Pinus sylvestris* y *Buxus sempervirens* con alguna intercalación de *Abies alba* y *Fagus sylvatica* en el piso montano, y formaciones de *Pinus uncinata* y *Rhododendron ferrugineum* en el piso subalpino. En la sucesión hacia los pas-

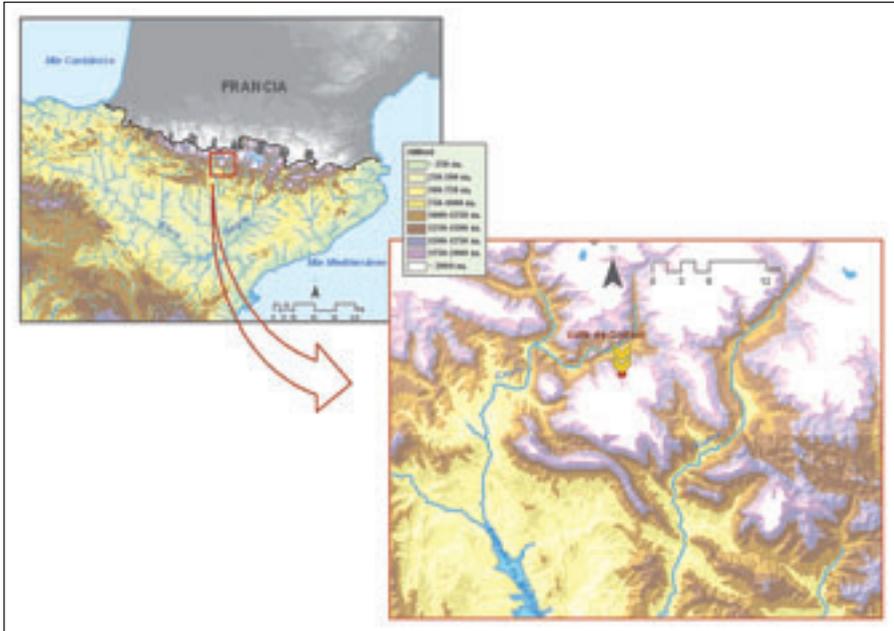


Fig. 1. Localización del área de estudio.

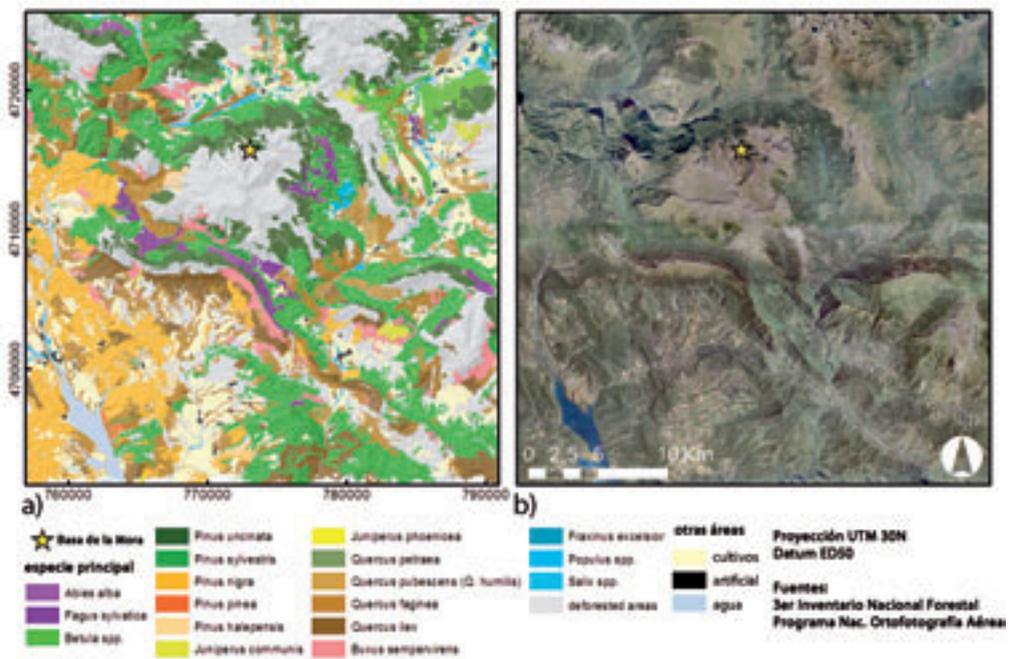


Fig. 2. a) Mapa de vegetación forestal (Tercer Inventario Forestal Nacional) y b) ortofotografía aérea (Programa Nacional de Ortofotografía Aérea).

tos alpinos de *Nardus stricta*, *Festuca eskiae*, *Caricion davallianae* y *Cynosurus cristatus*, se registra un matorral de transición dominado por *Juniperus*. El lago está rodeado por un amplio cinturón de vegetación higrófila y el sustrato del lago está colonizado por vegetación acuática en su parte somera (*Ranunculus sp.*).

3. METODOLOGÍA

La secuencia sedimentaria de la Basa de la Mora tiene una longitud total de 12,11 metros y comprende los últimos 16.000 años de historia, pero la reconstrucción paleoambiental que se presenta en este trabajo está basada únicamente en la parte más reciente de la secuencia (dos últimos milenios). El registro se ha obtenido en dos sondeos paralelos, extraídos en el verano de 2008 de la parte más profunda del lago. El sistema de perforación utilizado, perteneciente al grupo de "Limnogeología y Cambio Global" del IPE-CSIC, está compuesto por un sondeador de pistón tipo Uwitec (<http://www.uwitec.at>) sobre una plataforma flotante que permite realizar maniobras de extracción en lagos. Los sondeos obtenidos, una vez abiertos y descritos siguiendo la metodología multiproxy habitual del grupo de trabajo del IPE-CSIC (Schunrenberger *et al.*, 2003), se correlacionaron usando criterios geoquímicos y sedimentológicos.

El control cronológico del registro aquí presentado (que cubre los 2000 últimos años de historia en los 2,30 m superiores de la secuencia), se ha establecido en base a un total de tres dataciones (Tabla 1), dos de ellas realizadas mediante AMS ^{14}C en macrorrestos terrestres y una mediante un perfil de ^{137}Cs . Las dataciones de ^{14}C han sido calibradas con el software Calib 6.0 y la curva de calibración INTCAL 09 (Reimer *et al.*, 2009). El perfil de ^{137}Cs muestra un máximo situado a 20 cm de profundidad, que se corresponde con la máxima incidencia de los ensayos nucleares en superficie a escala global en 1963. La tasa de sedimentación obtenida es relativamente constante, aunque a partir del año 500 d.C. pasa de 0.73 mm/año a 1.3 mm/año, volviendo a reducirse de forma leve hasta 1,1mm/año a partir de 1500 d.C.

TABLA 1.
Dataciones radioisotópicas del registro
sedimentario de la Basa de la Mora

Profundidad (cm)	Código de laboratorio	Tipo de muestra	Método de datación del presente)	Edad calibrada (años antes)	Edad d.C.
20		Sedimento	^{137}Cs		1963
60	Poz-29744	Macrorresto	^{14}C	426-507	1494
172	Poz-35854	Macrorresto	^{14}C	1231-1304	674

El análisis palinológico que se ha llevado a cabo en la secuencia de la Basa de la Mora responde a un muestreo realizado en intervalos de 5 cm. Las muestras fueron tratadas siguiendo el proceso físico-químico clásico establecido por Moore *et al.*, (1991), ligeramente modificado, y que ha consistido en la adicción de dos pastillas de *Lycopodium clavatum* para calcular la concentración polínica (CP) según Stockmarr (1971), y ataques consecutivos de ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido potásico (KOH), además de separación por flotación con líquido denso (densidad de 2.0 g/cm³) y tamizado con dos luces de malla diferentes (212 y 10 μ). El producto final se ha montado en un medio móvil (glicerina) que permite la rotación de los granos de polen durante el recuento e identificación, facilitando la clasificación. En cada muestra de polen se han contado un mínimo de 300 granos de polen, identificando al menos 20 taxones polínicos diferentes por muestra. La representación gráfica de los datos obtenidos se ha llevado a cabo utilizando el programa *Psimpoll* (Bennett, 2009), aunque en el diagrama incluido en este trabajo sólo se han representado una selección de taxones y los grupos de taxones más significativos (Fig. 3). Debido a la gran producción polínica del pino y su fácil dispersión, se han extraído sus valores de la suma polínica para reflejar mejor la evolución del resto de taxones.

4. RESULTADOS: LA SECUENCIA PALINOLÓGICA DE LA BASA DE LA MORA

El análisis palinológico del registro sedimentario de la Basa de la Mora muestra valores relativamente altos de polen arbóreo a lo largo de toda la secuencia, siempre por encima del 55% y alcanzando en algunos momentos hasta el 75% del polen total. El componente arbóreo-arbustivo (AP: *arboreal pollen*) está dominado por *Pinus*, el cual representa siempre más del 50% del AP. Al pino le sigue en importancia *Quercus*, tanto caducifolio como pubescente y perennifolio, y el grupo denominado en el diagrama polínico “Bosque de caducifolios” (Fig. 3), que agrupa a la mayoría de los taxones mesófilos. Todos los taxones arbóreos están sujetos a una variabilidad importante en la zona superior de la secuencia y presentan valores más estables en la base. Poaceae, *Artemisia* y Chenopodiaceae son los taxones herbáceos más importantes. *Artemisia* registra sus máximos valores en torno a la mitad de la secuencia, con valores mínimos tanto en la base como en el techo, mientras que Poaceae presenta fluctuaciones dentro de un rango de porcentajes más altos. Chenopodiaceae muestra porcentajes más elevados en la mitad superior de la secuencia. La presencia de taxones indicadores de actividades humanas, tanto de pastos como de cultivos, se registra desde la base de la secuencia, pero no es hasta la mitad superior cuando se produce un incremento destacable. Entre los taxones acuáticos, *Potamogeton* es el que más variabilidad experimenta, desapareciendo por completo en torno a la zona media y reapareciendo en la parte alta. *Myriophyllum* muestra sus máximos valores en la zona inferior, mientras que *Pteridophyta* lo hace en el tramo superior. En base a estos cuatro grandes grupos de vegetación (taxones arbóreos, herbáceos, antropogénicos o ruderales y acuáticos) se ha establecido una zonación que diferencia cuatro periodos distintos en la evolución del ibón y su entorno:

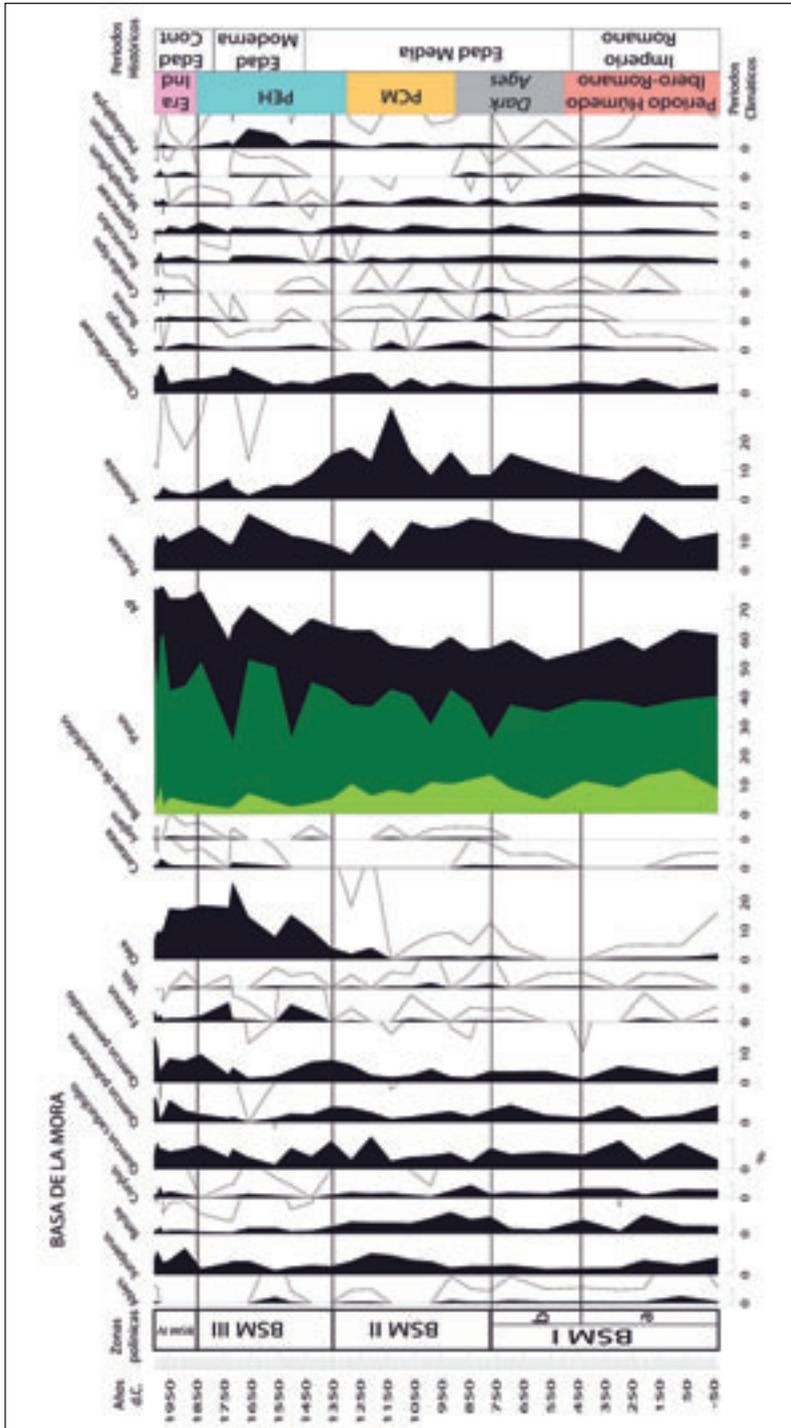


Fig. 3. Diagrama polínico de la secuencia de la Basa de la Mora. Los porcentajes de todos los taxones están calculados excluyendo al pino de la suma polínica total. El Bosque de caducifolios agrupa a los siguientes taxones: *Betula*, *Corylus*, *Ahuss*, *Ulmus*, *Salix*, *Carpinus*, *Acer*, *Fagus* y *Tilia*.

4.1. BSM I (226,5 - 160 cm; 50 a.C. - 750 d.C.)

Esta zona se caracteriza por la estabilidad de los porcentajes de los taxones arbóreos, principalmente *Pinus*, y la presencia moderada de los taxones tradicionalmente considerados como de introducción o aprovechamiento antropogénico como *Vitis*, *Olea*, *Castanea* y *Cerealia*. Se pueden diferenciar dos subzonas: i) *BSM I a* (226, 5 - 193 cm; 50 a.C.- 450 d.C.) en la base de la secuencia, donde el espectro arbóreo está caracterizado por una amplia representación de los taxones mesófilos, incluyendo *Betula*, *Corylus*, *Quercus* caducifolio y el “Bosque de caducifolios” (Fig. 3). *Quercus* tipo *ilex* también aparece en proporciones considerables, aunque en menor medida que las quercíneas de carácter caducifolio o semi-caducifolio. En el sustrato herbáceo domina Poaceae sobre *Artemisia*. Las plantas de afinidad acuática están bien representadas, sobre todo *Myriophyllum*, que alcanza los valores máximos de la secuencia en la parte superior de esta zona (Fig. 3); ii) en *BSM I b* (193-160 cm; 450-750 d.C.), *Pinus* sigue siendo el taxón arbóreo dominante, pero hay que reseñar el descenso que experimenta el conjunto del “Bosque de caducifolios” junto con los tres tipos de *Quercus*, paralelamente a un incremento de los valores de *Artemisia*.

4.2. BSM II (160 - 79 cm; 750-1350 d.C.)

Los porcentajes de *Pinus* experimentan mayor variabilidad en comparación con la zona anterior. Tras un pequeño ascenso en los valores de los taxones caducifolios, el conjunto de mesofitos comienza una tendencia decreciente que continúa hasta el final de la secuencia. Este descenso contrasta con el desarrollo de *Juniperus*, Chenopodiaceae y la gran expansión de *Artemisia* en la mitad de este periodo, cuando también se registra la ausencia momentánea de *Abies* y la desaparición total de *Potamogeton*. Los taxones cultivados y las plantas nitrófilas están presentes en proporciones variables, *Juglans* aparece por primera vez, *Castanea* desaparece en la parte media y permanece ausente durante un largo periodo y *Olea* comienza su expansión en la parte superior.

4.3. BSM III (79 - 20,5 cm; 1350-1850 d.C.)

Esta zona polínica comienza con valores altos de todos los tipos de *Quercus* y una importante expansión de *Olea* y *Fraxinus*. El componente caducifolio continúa descendiendo hasta alcanzar los valores mínimos de la secuencia, a la vez que permanece, e incluso se acentúa, la variabilidad de *Pinus*. *Juniperus* también disminuye hasta registrar su menor proporción en el diagrama. Dentro del polen herbáceo Poaceae es el taxón dominante, *Artemisia* experimenta una fuerte caída viendo reducidos sus porcentajes alrededor de un 80%, y Chenopodiaceae sigue presentando proporciones elevadas. En torno a la parte media de la zona, se registra una inversión en el patrón de la vegetación descrita hasta ahora, principalmente en los taxones arbóreos (AP).

Los tres tipos de *Quercus* presentes en el diagrama, junto con *Fraxinus* y *Olea*, reducen sus porcentajes drásticamente (Fig. 3). El descenso generalizado del AP coincide con la reaparición efímera de *Abies*, una tímida recuperación de *Betula* y *Corylus*, la desaparición de *Cerealia* y *Juglans* y la máxima expansión de *Pteridophyta*. Al término de este evento la vegetación se recupera y la composición del paisaje vuelve a un estado similar al del comienzo de la zona.

4.4. BSM IV (20,5 - 0 cm; 1850- 2008 d.C.)

Según el modelo cronológico, partir del año 1850 se produce la recuperación general de todos los taxones arbóreos-arbustivos, especialmente de *Pinus*, *Quercus* sp. y *Juniperus*. El polen arbóreo total alcanza el valor máximo de toda la secuencia, en torno al 75%. Poaceae vuelve a dominar el estrato herbáceo, y *Ranunculus*, *Potamogeton* y *Myriophyllum* comparten protagonismo entre las acuáticas. En el comienzo de la zona se observa un repunte de los taxones cultivados hasta 1950, cuando *Vitis* desaparece y *Olea* y *Juglans* disminuyen su presencia coincidiendo con la máxima expansión de *Pinus* y *Quercus* sp.

5. DISCUSIÓN

Desde hace varias décadas, la literatura científica refleja la preocupación existente a la hora de comprender en qué medida han sido los cambios climáticos o las actividades antropogénicas los factores principales en la configuración del paisaje actual (Costanza *et al.*, 2007). Lo más probable es que sea producto de la interacción de ambos, pero lo realmente complejo es llegar a evaluar en qué medida han intervenido cada uno de estos factores (Messerli *et al.*, 2000). El análisis palinológico de los dos últimos milenios de la secuencia sedimentaria de la Basa de la Mora ofrece una oportunidad excepcional para intentar discernir entre ambos forzamientos de cambio vegetal, ya que se trata de un registro de alta montaña en el que la intervención humana, aunque existente, no es demasiado intensa.

Tradicionalmente, la variabilidad en el patrón de la expansión de las ocupaciones humanas en el Pirineo se ha planteado siguiendo un transecto unidireccional de este a oeste (Fillat *et al.*, 2008). Aprovechando los numerosos estudios paleoambientales disponibles (Montserrat, 1992; Galop y Jalut, 1994; Riera *et al.*, 2004, 2006; Morellón *et al.*, en prensa; Rull *et al.*, en prensa; Miras *et al.*, 2007; Ejarque *et al.*, 2009, 2010), que abordan la problemática de la intervención humana en el paisaje pirenaico, se han elegido tres secuencias situadas a una altitud similar a la de la Basa de la Mora, en un gradiente longitudinal, con la finalidad de comparar la intensidad de las actividades antropogénicas, cronológica y geográficamente (Fig. 4).

Para ello, se han seleccionado, de este a oeste, las secuencias de Bosc dels Estanyons (Miras *et al.*, 2007), Pradell (Ejarque *et al.*, 2009) y Lago Burg (Pèlachs *et al.*, 2007), como más óptimas para la comparación con nuestra

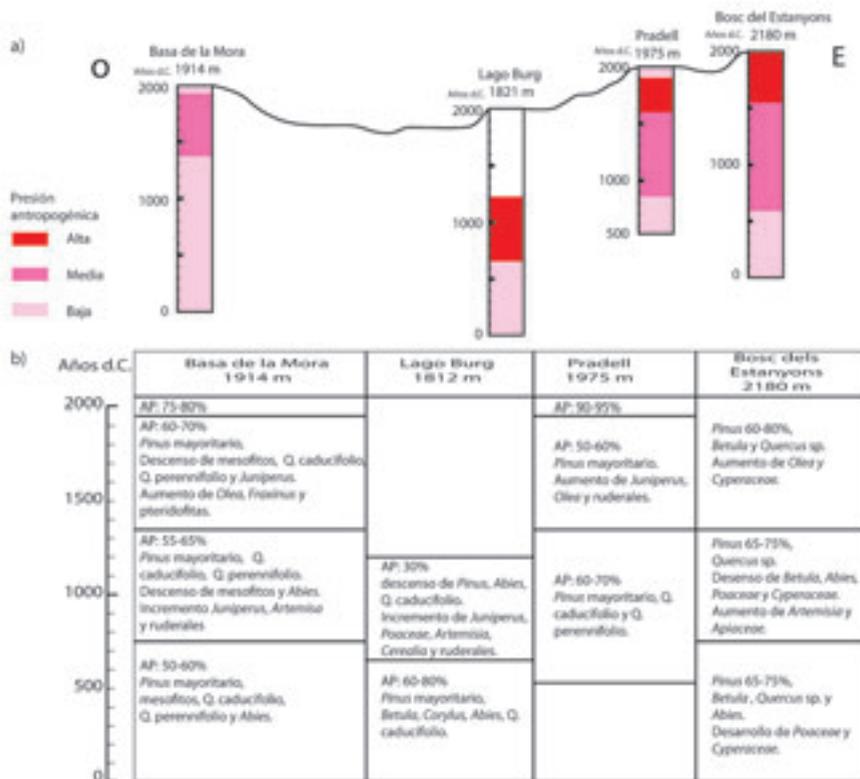


Fig. 4. Figura resumen y comparativa con otras secuencias pirenaicas de altitud semejante (intervalo de 1800-2200 m snm) en la que: a) en un transecto esquemático se indica, cronológicamente, el grado de presión antropogénica de cada una de las secuencias interpretado por los autores (de oeste a este: Basa de la Mora, este trabajo; Lago Burg (Pelachs *et al.*, 2007), Pradell (Ejarque *et al.*, 2009) y Bosc dels Estanyons (Miras *et al.*, 2007); y b) las proporciones de masa forestal (AP) y composición vegetal observadas en los diagramas polínicos. Obsérvese cómo las interpretaciones relacionadas con la presión humana en el paisaje difieren entre las distintas secuencias, disminuyendo de este a oeste, aunque las proporciones arbóreas y composición vegetal registradas en cada punto son significativamente semejantes.

secuencia. De este modo, la figura 4a resume, según la interpretación realizada por los distintos autores, la intensidad de la acción antropogénica deducida en los mencionados registros, y su ubicación temporal.

Por otra parte, la tabla descriptiva incluida en la misma figura (Fig. 4b), refleja la composición general de la vegetación de las secuencias. En la misma se puede observar que, tanto el conjunto de la vegetación como el porcentaje total de polen arbóreo, no difieren mucho entre secuencias según los periodos climáticos. En ningún caso, salvo en la etapa registrada en el lago Burg entre los años 650 y 1200 aproximadamente, cuando el AP se reduce al 35%, el polen arbóreo registra valores inferiores al 50%. Sin embargo, la interpre-

tación de la intensidad de la actividad humana sobre el paisaje es claramente diferente. Tanto en Pradell como en Boscs dels Estanyons, los momentos en los que el bosque representa en torno al 60-70%, son considerados como momentos de gran impacto humano, mientras que en la Basa de la Mora, interpretamos este paisaje como un entorno débilmente modificado.

Buscando esa dualidad mencionada entre clima y actividades antropogénicas, la discusión de este trabajo se ha organizado por periodos cronológicos que plantean una re-evaluación de los denominados “paisajes culturales” en localizaciones de alta montaña, en los que el clima sigue siendo determinante para el desarrollo y grado de intensidad de las actividades humanas, aún en periodos históricos recientes (Esteban-Amat, 2003).

5.1. BSM I (50 a.C.-750 d.C.)

La composición vegetal en el entorno de la Basa de la Mora durante este periodo, revela un paisaje relativamente abierto (60% de AP) formado por un bosque mixto de coníferas y frondosas. El pino, aun siendo el taxón arbóreo mayoritario, alcanza con dificultad el 40% del polen total, lo que lo sitúa lejos de representar un pinar denso y/o próximo al lago (Court-Picon *et al.*, 2005). Las proporciones de árboles caducifolios, junto con la presencia continua de *Abies* y la tendencia descendente de *Juniperus* en la base (BSM Ia), son reflejo de unas condiciones climáticas templadas y relativamente húmedas. Estas características son herederas del denominado Periodo Húmedo Íbero-Romano, y se han registrado previamente en diversas secuencias del comienzo de nuestra era en la Península Ibérica (Valero-Garcés *et al.*, 2000; González-Sampérez *et al.*, 2008; Martín-Puertas *et al.*, 2008; Corella Aznar, 2011). No sólo el bosque, sino también la proporción de plantas acuáticas del registro (como *Potamogeton* y *Myriophyllum*, que alcanza su máximo desarrollo en la base de la secuencia), confirman la existencia de una disponibilidad hídrica notable. A partir del año 450 d.C., los elementos caducifolios pierden protagonismo en el paisaje mientras *Pinus* se mantiene y aumenta *Quercus* (BSM Ib). *Artemisia*, indicadora de paisajes abiertos, aridez y/o actividades antropogénicas, incrementa sus proporciones. Condiciones más frías que las de la época romana parecen haber sido el denominador común de la Baja Edad Media, a pesar de que los registros existentes recogen cierta variabilidad de temperatura en la Península Ibérica (Desprat *et al.*, 2003; Corella-Aznar, 2011). Etapas húmedas y áridas se produjeron sincrónicamente en el norte y sur peninsular (Martín-Puertas *et al.*, 2010). En general, este periodo es considerado de transición y gran complejidad ambiental, con un menor desarrollo de las estructuras sociales y económicas entre la caída del Imperio Romano y el desarrollo Medieval, y en la literatura anglosajona se denomina como “Dark Ages”.

La secuencia muestra desde su comienzo la presencia en el área de taxones introducidos por actividades antropogénicas tales como *Olea*, *Vitis*, *Castanea* y posteriormente *Cerealia* (Fig. 3), lo que denota un uso agrícola establecido en los terrenos bajos del entorno de Cotiella. Este tipo de actividades, reflejo del clásico “tripartito Mediterráneo” (olivo, vid y cereal), ha quedado docu-

mentado en muchos estudios que apuntan la importancia de la agricultura en época romana (Iriarte, 1996; Esteban Amat, 2003; González-Sampéris, 2004). De todos modos, las tímidas proporciones de estos taxa deben relacionarse con el hecho de que los cultivos estarían presentes a una distancia considerable de la Basa de la Mora y/o la expansión de los mismos sería restringida. De hecho, la estabilidad de los taxones arbóreos pone de manifiesto que el bosque no fue explotado de manera drástica, como sí ocurrió en otras zonas de la Península donde los incendios se utilizaron con frecuencia para clarear el bosque y obtener pastos y terrenos de cultivo (Franco-Múgica *et al.*, 1998; Corella-Aznar, 2011). Las secuencias polínicas de Burg y de Bosc dels Estanyons presentan una composición vegetal parecida durante esta etapa (Fig. 4), con valores del AP superiores al 65% que indican un entorno bien forestado.

5.2. BSM II (750-1350 d.C.)

En este periodo se produce un incremento generalizado de las temperaturas y la aridez en el sur de Europa: es el denominado Periodo Cálido Medieval o Anomalía Climática Medieval (Seager *et al.*, 2007; Mann *et al.*, 2009). En la Basa de la Mora, la vegetación refleja un clima más cálido y seco que el actual, con un paisaje dominado por *Juniperus* y *Pinus*, y con el máximo desarrollo de elementos heliófilos, como *Artemisia*, a la vez que los elementos caducifolios disminuyen, *Abies* interrumpe su presencia en el registro, y el taxón acuático *Potamogeton* desaparece (Fig. 3), sugiriendo un descenso de la lámina de agua del ibón. Esta etapa ha sido registrada en numerosos lagos de la Península Ibérica con fases de menor nivel de agua que el actual: el lago de Estaña, en Huesca (Morellón *et al.*, en prensa), el lago Arreo, en Álava (Corella-Aznar, 2011), el lago de Zóñar, en Córdoba (Martín-Puertas *et al.*, 2008) o el lago de Taravilla, en Guadalajara (Moreno *et al.*, 2008), entre otros, han mostrado un balance hídrico negativo durante el PCM. En latitudes más septentrionales, el incremento generalizado de temperaturas llevó a una mejora de las condiciones ambientales, propiciando la expansión vikinga y su establecimiento en asentamientos permanentes de las frías tierras de Groenlandia (Patterson *et al.*, 2010).

El aumento en la variabilidad de los porcentajes de *Pinus* en este momento podría ser en parte explicado por el manejo del bosque para ampliar la superficie apta para sustentar pastos para el ganado. Sin embargo, los porcentajes del polen arbóreo siguen siendo elevados (por encima del 55%), como para poder afirmar que se produjo una deforestación reseñable. La presencia de los taxones propios de cultivo en proporciones no muy significativas también apuntan a que la actividad agrícola seguiría siendo de carácter moderado. La figura 4 muestra porcentajes arbóreos similares e incluso mayores en las secuencias de Pradell (Ejarque *et al.*, 2009) y Bosc del Estanyons (Miras *et al.*, 2007). Montserrat (1992) reconoce el comienzo de la deforestación del piso subalpino en la secuencia de Tramacastilla con posterioridad al año 1000. No obstante, existen excepciones como la registrada en el lago Burg (Pelachs *et al.*, 2007), en el cual a partir del año 700 aproximadamente, y hasta el final

del registro polínico en el año 1200, se observa una reducción del polen arbóreo de más del 50%, llegando a representar solamente el 30% del polen total (Fig. 4b), indicando la existencia de eventos locales de intensificación de la presión humana en el paisaje de alta montaña relativamente tempranos. Las secuencias polínicas pre-pirenaicas de Estaña y Montcortés, localizadas a menor altitud, presentan una deforestación más temprana que la de los registros en altitud. En el caso de Montcortés la reducción drástica del polen arbóreo se registra a partir del año 950 (Rull *et al.*, en prensa), y en Estaña, desde el comienzo de la secuencia en el año 1000, se observan valores de *Pinus* que no llegan al 10% y porcentajes de polen arbóreo inferiores al 35% (Morellón *et al.*, en prensa), lo que sugiere que las actividades humanas estarían especialmente localizadas en terrenos de baja altitud.

5.3. BSM III (1350- 1850 d.C.)

A partir del año 1350 la vegetación regional del área de estudio muestra el comienzo de las condiciones climáticas frías que caracterizan a la Pequeña Edad de Hielo en Centro Europa (Büntgen *et al.*, 2011; Magny *et al.*, 2011). En la Basa de la Mora se produce un descenso general de los taxones caducifolios a la vez que el pino comienza una tendencia ascendente puntuada por momentos de bruscos descensos. Entre 1500 y 1700 d.C. se registra el periodo de mayor humedad de toda la PEH, *Potamogeton* reaparece en el registro de la Basa de la Mora como síntoma del aumento de la lámina de agua en el lago, y los helechos (*Pteridophyta*) alcanzan su pico máximo de toda la secuencia. Del mismo modo, *Betula*, *Corylus* y *Abies* experimentan un ligero ascenso. Las condiciones relativamente más húmedas a las que se apunta durante este período han sido ampliamente reconocidas en la Península Ibérica (Moreno *et al.*, 2008), y en el Pirineo (ver Morellón *et al.*, en revisión y referencias incluidas en este trabajo). En el cercano Lago de Estaña, se registra el máximo nivel de agua desde el siglo XII hasta la actualidad (Morellón *et al.*, en prensa), mientras que en el río Tajo se produce un aumento de la frecuencia de las riadas (Benito *et al.*, 2003), como signo del incremento generalizado de las precipitaciones y su intensidad.

Es entre 1350 d.C y mediados del s. XIX cuando en el diagrama polínico de la Basa de la Mora se observa la máxima intervención en el paisaje debida a la actividad humana (Fig. 3). *Olea* comienza una rápida expansión y se convierte en el taxón arbóreo más relevante dentro del AP después de *Pinus*. La gran capacidad dispersiva del polen de *Olea* es bien conocida (Cañellas-Boltà *et al.*, 2009), por lo que su difusión en el palinograma representaría el desarrollo del cultivo del olivo en terrenos bajos y lejanos al ibón. Su expansión es coetánea con la registrada en otras secuencias pirenaicas (Miras *et al.*, 2010; Morellón *et al.*, en prensa; Rull *et al.*, en prensa). Paralelamente a *Olea*, se desarrolla *Fraxinus*. Este árbol ha sido tradicionalmente usado en el valle de Gistaín como delimitador de “bordas”, o edificios de uso ganadero. Los setos de fresnos se podaban para alimentar con sus hojas al ganado en invierno (ovejas esencialmente) y las hogueras se avivaban con

su leña (Gómez y Fillat, 1981), lo que denota una estructura rural y aprovechamiento del medio muy organizado. Su difusión en el palinograma a partir de 1350 d.C puede suponer el comienzo de esta práctica en el valle, considerándose su presencia anterior única y exclusivamente como asociada a la dinámica natural del árbol como componente de la vegetación riparia.

A partir del año 1500 se observan dos fluctuaciones bruscas en los valores de *Pinus*, lo cual podría estar apuntando a un incremento de la explotación del bosque. Sin embargo, la baja relación de plantas ruderales en el diagrama coincidiendo con estos episodios, la recuperación total de *Pinus* entre ambos eventos y la tendencia general ascendente del polen arbóreo total, nos hace tomar con prudencia la teoría de un cambio hacia un sistema de explotación extensivo en el piso subalpino, a pesar de que así se ha reconocido en otras secuencias pirenaicas coincidiendo con el comienzo de los siglos XVI y XVII (Miras *et al.*, 2007, Ejarque *et al.*, 2009; López-Sáez *et al.*, 2009) (Fig. 4a). Observando la Figura 4b, puede apreciarse que los valores y composición de la cubierta vegetal entre las distintas secuencias pirenaicas durante este periodo no son muy diferentes, ni parecen responder a un patrón latitudinal claro.

El descenso del bosque de *Quercus* (tanto caducifolio como marcescente y perennifolio), registrado en la Basa de la Mora a partir del año 1600, indicaría que al aumento de humedad anteriormente señalado habría que añadirle una posible disminución considerable de las temperaturas. En el mismo momento, se observa una rápida recuperación del pino y una caída en todos los taxones de cultivo, excepto *Castanea*. La crudeza del clima a la que se señala dificultaría la habitabilidad en los medio de alta montaña, lo que se reflejaría en una disminución de la presión antropogénica y la consiguiente recuperación del bosque. Este deterioro climático ha sido ampliamente reconocido, no sólo en la Península Ibérica, donde propició que el río Ebro se helase con frecuencia durante los siglos XVII y XVIII cerca de su desembocadura (López-Vera, 1986), sino en toda Europa Central, a partir de, por ejemplo, reconstrucciones dendroclimáticas (Briffa *et al.*, 1999; Büntgen *et al.*, 2011).

En Montcortés (Rull *et al.*, en prensa) se observa, coincidiendo con el comienzo de la PEH, una recuperación del los taxones arbóreos (llegando hasta el 70%), para volver a reducirse a partir de 1660 y alcanzar posteriormente, en 1770, el máximo impacto humano sobre la vegetación de la cuenca. En Estaña (Morellón *et al.*, en prensa) la presión antropogénica se reduce entre los años 1375 y 1500 aproximadamente, coincidiendo con fluctuaciones hidrológicas en el lago, y alcanza su máximo impacto al final del siglo XVIII. Estos datos apuntan a una influencia directa de las condiciones climáticas sobre las actividades humanas aunque ponen de relieve la heterogeneidad espacial con respecto al uso del suelo en diferentes altitudes.

5.4. BSM IV (1850- Actualidad)

Alrededor del año 1850 el polen correspondiente al sustrato arbóreo-arbustivo muestra los valores más altos de los últimos 2000 años, quedando pa-

tente la recuperación de la masa vegetal forestal. Esta recuperación no es fácilmente atribuible al aumento de temperaturas que caracteriza la Era Industrial, sino que en gran medida se debe a los cambios en el uso del suelo que han acaecido en el Pirineo durante el último siglo y medio, a consecuencia de los factores socio-económicos derivados de la Revolución Industrial que aceleraron la urbanización de la población.

A comienzos del siglo XX, con la llegada de la Era Industrial, la actividad agrícola comenzó a disminuir como consecuencia del abandono del campo (Fillat *et al.*, 2008). Los viñedos se abandonaron tras la plaga de filoxera de 1895 y los olivos no se recuperaron de las heladas de 1887 (Riera *et al.*, 2004). Todo ello derivó en la recuperación de los taxones arbóreos. En la secuencia polínica de Pradell (Ejarque *et al.*, 2009) (Fig. 4) también se reconoce la disminución del impacto de las actividades humanas en altitud y una recuperación absoluta del bosque durante el último siglo. El desarrollo de *Juniperus* en la parte final del diagrama de la Basa de la Mora apunta a la colonización de los espacios abiertos como consecuencia del progresivo abandono de los pastos. La explicación de la rapidísima expansión de todos los árboles a partir del año 1950 debe buscarse en el declive demográfico que supuso el éxodo rural que se experimentó durante la segunda mitad del siglo XX en el Pirineo.

6. CONCLUSIONES

Las reconstrucciones de la evolución del paisaje en muchas secuencias pirenaicas consideran una modelación intensa del medio natural por parte de las actividades humanas durante los últimos 2000 años. Sin embargo, los resultados aportados por la secuencia polínica de la Basa de la Mora en este trabajo, apuntan a que la presión humana, aunque evidente desde el comienzo de la secuencia, es leve y no condicionaría de manera determinante la evolución del medio vegetal en el macizo de Cotiella.

La existencia de secuencias polínicas pirenaicas localizadas a una altitud similar a la de la Basa de la Mora, donde los diagramas polínicos no difieren mucho del registro aquí presentado pero la interpretación de los mismos sí, nos hace plantearnos la necesidad de establecer criterios comunes a la hora de definir y evaluar la categoría del impacto humano sobre los ecosistemas.

Los datos aportados por la secuencia polínica de la Basa de la Mora sugieren que hasta el año 1350 la actividad antropogénica puede considerarse de impacto leve y, por tanto, la evolución de la vegetación refleja las características climáticas propias de cada periodo.

Sin embargo, a partir del siglo XIV se produce una intensificación de la actividad humana y su huella sobre el paisaje se hace más evidente. Nuestros resultados señalan que la máxima presión antropogénica en el Pirineo se registra entre los siglos XVII y XVIII, pero durante todo este periodo se observan fluctuaciones y periodos de relajación en el impacto antropogénico en alta montaña. Las causas de las crisis demográficas que permitieron la recuperación de la vegetación durante la Pequeña Edad del Hielo pueden en-

contrarse en el deterioro climático registrado, y pone de manifiesto la vulnerabilidad de las sociedades pre-industriales a los cambios climáticos, sobre todo en áreas donde la calidad de la habitabilidad puede variar de manera determinante con las fluctuaciones climáticas.

Por ello, podemos concluir que los cambios climáticos acaecidos durante los dos últimos milenios han influido directamente en la evolución de la vegetación, e indirectamente condicionando el grado de presión humana en el paisaje.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos “Los cambios climáticos abruptos y su influencia en los ecosistemas y las sociedades humanas en el Pirineo central y occidental” (PM073/2007), DINAMO (CGL2009-645 07992), GRACCIE-CONSOLIDER (CSD2007-00067) y “Control cronológico de alta resolución en el ibón de la Basa de la Mora”, financiados por la Comisión Inter-Ministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), la Diputación General de Aragón (DGA) y el Geoparque del Sobrarbe, respectivamente. El Consejo Asesor de Investigación y Desarrollo (CONAID+D) de la Diputación General de Aragón ha financiado la beca y el contrato predoctoral del que está disfrutando Ana Pérez Sanz. Las coautoras Ana Moreno y Graciela Gil agradecen la financiación de los programas nacionales de investigación postdoctoral “Ramón y Cajal” y “Juan de la Cierva” respectivamente. Se ha contado también con el apoyo de Jorge Lorenzo (IPE-CSIC) en la realización de la figura 1 y del grupo de Limnogeología y Cambio Global (IPE-CSIC), que junto a varios miembros del Instituto Jaume Almera (IJA-CSIC) y de la Universidad de Barcelona (UB) participaron en la extracción de los sondeos de la Basa de la Mora.

BIBLIOGRAFÍA

- Augustin, L., Barbante, C., Barnes, P.R.F., Marc Barnola, J., Bigler, M., *et al.* (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429: 623-628.
- Bala, G., Caldeira, K., Mirin, A., Wickett, M. y Delire, C. (2005). Multicentury Changes to the Global Climate and Carbon Cycle: Results from a Coupled Climate and Carbon Cycle Model. *J. Climate*, 18: 4531-4544.
- Benito, G., Sopena, A., Sánchez-Moya, Y., Machado, M.J. y Pérez-González, A. (2003). Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1737-1756.
- Bennett, K.D. (2009). *Documentation for psimpoll 4.27 and pscomb 1.03. C programs for plotting and analyzing pollen data*. The 14Chrono Centre, Archaeology and Palaeoecology, Queen's University of Belfast, Belfast, UK.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Vogel, R.B., Schweingruber, F.H. y Baillie, M.G.I. (1999). European tree rings and climate in the 16th century. *Climatic Change*, 43: 151-168.

- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J.O., Herzig, F., Heussner, K.-U., Wanner, H., Luterbacher, J. y Esper, J. (2011). 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science*, 331: 578-582.
- Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Vigo, J. y Mercadé, A. (2009). Modern pollen-vegetation relationships along an altitudinal transect in the central Pyrenees (southwestern Europe). *The Holocene*, 19: 1185-1200.
- Chueca-Cia, J., Andres, A., Sánchez, M., Novau, J. y Moreno, J. (2005). Responses to climatic changes since the Little Ice Age on Maladeta Glacier (Central Pyrenees). *Geomorphology*, 68: 167-182.
- Cohen, A.S., Palacios-Fest, M.R., McGill, J., Swarzenski, P.W., Verschuren, D., Sinyinza, R., Songori, T., Kakagozo, B., Syampila, M., O'Reilly, C.M. y Alin, S.R. (2005). Paleolimnological investigations of anthropogenic environmental change in Lake Tanganyika: I. An introduction to the project. *J Paleolimnol*, 34: 1-18.
- Corella Aznar, J.P. (2011). *Climate and human impact in Northern Spain since Mid-Holocene: the High Resolution records of lakes Arreo and Moncortès*. Tesis Doctoral.
- Costanza, R., Graumlich, L., Steffen, W., Crumley, C., Dearing, J., Hibbard, K., Leemans, R., Redman, C. y Schimel, D. (2007). Sustainability or Collapse: What Can We Learn from Integrating the History of Humans and the Rest of Nature? *Ambio*, 36: 522-527.
- Court-Picon, M., Buttler, A. y Debeaulieu, J. (2005). Modern pollen-vegetation relationships in the Champsaur valley (French Alps) and their potential in the interpretation of fossil pollen records of past cultural landscapes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 135: 13-39.
- Cuadrat, J.M. y Vicente-Serrano, S. (2008). *Atlas climático de Aragón*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón.
- Desprat, S., Sánchez Goñi, M.F. y Loutre, M.-F. (2003). Revealing climatic variability of the last three millennia in northwestern Iberia using pollen influx data. *Earth and Planetary Science Letters*, 213: 63-78.
- Ejarque, A., Julià, R., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., Miras, Y. y Gascón, C. (2009). Tracing the history of highland human management in the eastern Pre-Pyrenees: an interdisciplinary palaeoenvironmental study at the Pradell fen, Spain. *The Holocene*, 19: 1241-1255.
- Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S., Palet, J.M. y Orengo, H.A. (2010). Testing micro-regional variability in the Holocene shaping of high mountain cultural landscapes: a palaeoenvironmental case-study in the eastern Pyrenees. *Journal of Archaeological Science*, 37: 1468-1479.
- Enters, D., Lücke, A. y Zolitschka, B. (2006). Effects of land-use change on deposition and composition of organic matter in Frickenhauser See, northern Bavaria, Germany. *Science of The Total Environment*, 369: 178-187.

- Esteban-Amat, E. (2003). *La humanización de las altas cuencas de la Garona y las Nogueras (4500 AC-1955 DC)*. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General de Medio Ambiente, Organismo Autónom de Parques Nacionales, Madrid.
- Fillat, F., García-González, R., Gómez, D. y Reiné, R. (2008). *Pastos del Pirineo*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.), Madrid.
- Franco Múgica, F., Antón, M.G. y Ollero, H.S. (1998). Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain. *The Holocene*, 8: 69-82.
- Galop, D. y Jalut, G. (1994). Differential human impact and vegetation history in two adjacent Pyrenean valleys in the Ariège basin, southern France, from 3000 B.P. to the present. *Veget Hist Archaeobot*, 3: 225-244.
- González-Trueba, J.J., Moreno, R.M., Martínez de Pisón, E. y Serrano, E. (2008). "Little Ice Age" glaciation and current glaciers in the Iberian Peninsula. *The Holocene*, 18: 551-568.
- González-Sampériz, P. (2004). *Evolución paleoambiental del sector central de la cuenca del Ebro durante el Pleistoceno superior y Holoceno*. Instituto Pirenaico de Ecología y Universidad de Zaragoza: 210 pp., Zaragoza.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J. y Delgado-Huertas, A. (2008). Vegetation changes and hydrological fluctuations in the Central Ebro Basin (NE Spain) since the Late Glacial period: Saline lake records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259: 157-181.
- Gómez, D. y Fillat, F. (1981). La cultura ganadera del fresno. *Pastos*, 11 (2): 295-302.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Ed. Cambridge University Press, Reino Unido.
- Iriarte, M.J. (1996). Antropización del paisaje y primeros estadios de la economía productora en el País Vasco. In: *Biogeografía Pleistocena-Holocena De La Península Ibérica*. Xunta de Galicia, pp. 349-363.
- Kaniewski, D., Van Campo, E., Paulissen, E., Weiss, H., Bakker, J., Rossignol, I. y Van Lerberghe, K. (2011). The medieval climate anomaly and the little Ice Age in coastal Syria inferred from pollen-derived palaeoclimatic patterns. *Global and Planetary Change*, 78: 178-187.
- Leroy, S.A.G. (2010). Pollen analysis of core DS7-1SC (Dead Sea) showing intertwined effects of climatic change and human activities in the Late Holocene. *Journal of Archaeological Science*, 37: 306-316.
- López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Mateo, M.Á., Serrano, Ó., Pérez-Díaz, S. y Serrano, L. (2009). Palaeoecological potential of the marine organic deposits of *Posidonia oceanica*: A case study in the NE Iberian Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 271: 215-224.

- López-Vera, F. (1986). Quaternary Climate in Western Mediterranean: proceedings of the *Symposium of Climate Fluctuations during the Quaternary in the Western Mediterranean Regions*, F. López-Vera. Universidad Autónoma de Madrid.
- Magny, M., Vannièrè, B., Calo, C., Millet, L., Leroux, A., Peyron, O., Zanchetta, G., La Mantia, T. y Tinner, W. (2011). Holocene hydrological changes in south-western Mediterranean as recorded by lake-level fluctuations at Lago Preola, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Quaternary Science Reviews*, 30: 2459-2475.
- Mann, M.E. (2007). Climate Over the Past Two Millennia. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 35: 111-136.
- Mann, M.E., Zhang, Z., Rutherford, S., Bradley, R.S., Hughes, M.K., Shindell, D., Ammann, C., Faluvegi, G. y Ni, F. (2009). Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326: 1256-1260.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Pilar Mata, M., González-Sampérez, P., Bao, R., Moreno, A. y Stefanova, V. (2008). Arid and humid phases in southern Spain during the last 4000 years: the Zonar Lake record, Cordoba. *The Holocene*, 18: 907-921.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Brauer, A., Mata, M.P., Delgado-Huertás, A. y Dulski, P. (2009). The Iberian-Roman Humid Period (2600-1600 cal yr BP) in the Zoñar Lake varve record (Andalucía, southern Spain). *Quaternary Research*, 71: 108-120.
- Martín-Puertas, C., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Nieto-Moreno, V., Rodrigo, M., Mata, M.P. y Valero-Garcés, B.L. (2010). Late Holocene climate variability in the southwestern Mediterranean region: an integrated marine and terrestrial geochemical approach. *Clim. Past*, 6: 807-816.
- Messerli, B., Grosjean, M., Hofer, T., Núñez, L. y Pfister, C. (2000). From nature-dominated to human-dominated environmental changes. *Quaternary Science Reviews*, 19: 459-479.
- Miras, Y., Ejarque, A., Orengo, H., Mora, S.R., Palet, J.M. y Poiraud, A. (2010). Prehistoric impact on landscape and vegetation at high altitudes: An integrated palaeoecological and archaeological approach in the eastern Pyrenees (Perafita valley, Andorra). *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 144: 924-939.
- Miras, Y., Ejarque, A., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H. y Eubab, I. (2007). Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 m, Vall del Madriu, Andorre). *Comptes Rendus Palevo*, 6: 291-300.
- Montserrat-Martí, J. (1992). *Evolución glaciaria y postglaciaria del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: estudio palinológico*. Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. Zaragoza.

- Moore, P.D., Webb, J.A. y Collinson, M.E. (1991). *Pollen Analysis, Second*. Ed. Blackwell Scientific Publications.
- Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J.P., Büntgen, U., Catalán, J., González - Sampérez, P., González-Trueba, J.J., López-Sáez, J.A., Moreno, A., Pla, S., Saz-Sánchez, Á., Scussolini, P., Serrano, E., Steinhilber, F., Stefanova, V., Vegas-Vilarrúbia, T. y Valero-Garcés, B. (en revisión). A multi-proxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., González-Sampérez, P., Vegas-Vilarrúbia, T., Rubio, E., Rieradevall, M., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Romero, Ó., Engstrom, D.R., López-Vicente, M., Navas, A. y Soto, J. (en prensa). Climate changes and human activities recorded in the sediments of Lake Estanya (NE Spain) during the Medieval Warm Period and Little Ice Age. *J Paleolimnol*.
- Moreno, A., Pérez-Sanz, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., González - Sampérez, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Herrera, G., Canals, M., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruíz, F., Vegas-Vilarrúbia, T. y Valero-Garcés, B. (en revisión). The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records.
- Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., González-Sampérez, P. y Rico, M. (2008). Flood response to rainfall variability during the last 2000 years inferred from the Taravilla Lake record (Central Iberian Range, Spain). *Journal of Paleolimnology*, 40: 943-961.
- Patterson, W.P., Dietrich, K.A., Holmden, C. y Andrews, J.T. (2010). Two millennia of North Atlantic seasonality and implications for Norse colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 5306-5310.
- Pèlachs, A., Soriano, J.M., Nadal, J. y Esteban, A. (2007). Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science*, 3: 421-429.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.V., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. y Weyhenmeyer, C.E. (2009). INTCAL09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal. BP. *Radiocarbon*, 51: 1111-1150.
- Riera, S., Lopez- Sáez, J. y Julia, R. (2006). Lake responses to historical land use changes in northern Spain: The contribution of non-pollen palynomorphs in a multiproxy study. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141: 127-137.
- Riera, S., Wansard, G. y Julià, R. (2004). 2000-year environmental history of a karstic lake in the Mediterranean Pre-Pyrenees: the Estanya lakes (Spain). *Catena*, 55: 293-324.
- Robets, N., Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., Corella, J.P., Jones, M., Allcock, S., Woodbridge, J., Morellón, M., Luterbacher, J., Xoplaki, E. y Türkes, M.

- (en revisión). Palaeolimnological evidence for an east-west climate see-saw in the Mediterranean since AD900. *Global and Planetary Change*.
- Rull, V., González-Sampériz, P., Corella, J.P., Morellón, M. y Giral, S. (en prensa). Vegetation changes in the southern Pyrenean flank during the last millennium in relation to climate and human activities: the Montcortès lacustrine record. *J. Paleolimnol.*
- Schnurrenberger, D., Russell, J. y Kelts, K. (2003). Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology*, 29: 141-154.
- Seager, R., Graham, N., Herweijer, C., Gordon, A.L., Kushnir, Y. y Cook, E. (2007). Blueprints for Medieval hydroclimate. *Quaternary Science Reviews*, 26: 2322-2336.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M.M.B., Miller, H., y Chen, Z. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Stockmarr, J. (1971). Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen Spores*, 13: 614-621.
- Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Machín, J. y Kelts, K. (2000). Lateglacial and Late Holocene environmental and vegetational change in Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Quaternary International*, 73/74: 29-46.



ZUBÍA

23



Gobierno de La Rioja
www.larioja.org



**Instituto
de Estudios
Riojanos**