



CLIMA Y VEGETACIÓN DURANTE EL TARDIGLACIAR Y EL HOLOCENO EN LA SIERRA DE NEILA (SISTEMA IBÉRICO NOROCCIDENTAL)

*Late-Glacial - Holocene climate and vegetation in «Sierra de Neila»
(Northwestern Iberian Range, Spain)*

M.B. Ruiz Zapata ⁽¹⁾, M.J. Gil García ⁽¹⁾, M. Dorado Valiño ⁽¹⁾;
A. Valdeolmillos Rodríguez ⁽¹⁾; J. Vegas ⁽²⁾ y A. Pérez-González ⁽²⁾

(1) Departamento de Geología. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid). e-mail: blanca.ruiz@uah.es

(2) Departamento de Geodinámica. Facultad de Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid

Resumen: El análisis polínico de un testigo obtenido en un depósito de origen glaciar de la Sierra de Neila (Sistema Ibérico Noroccidental) junto con diez dataciones radiométricas de ¹⁴C han permitido proponer una secuencia climática para el final del último ciclo glaciar y el Holoceno en el área de estudio. Se ha identificado una fase de mejora climática anterior a los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP). A partir de ese momento y hasta los 9.700 « 50 BP (11.200 -11.080 cal. BP) se detectan oscilaciones climáticas con pulsaciones frías y áridas que alternan con fases de calentamiento. El Dryas I se inicia a los 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP), el Interstadial Tardiglaciar a los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP) y el Dryas III a los 10.650 « 60 BP (12.945 - 12.610 cal. BP). La expansión de los taxones arbóreos que se produce a partir de los 9.700 « 50 BP (11.200 -11.080 cal. BP) define el inicio del actual interglaciar, el Holoceno, caracterizado en esta secuencia por la progresiva estabilización del clima.

En la dinámica de la vegetación destaca la presencia de *Corylus* desde antes de los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP). Lo mismo ocurre con *Fagus* aunque este taxón sólo está presente durante las fases de calentamiento del final del último ciclo glaciar, y se inicia su presencia continua en la vegetación del área en el 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP).

Palabras clave: Palinología, Tardiglaciar, Holoceno, Paleoclimatología, Sistema Ibérico Noroccidental

Abstract: The palynological analysis of a core from a deposit of glacial origin located in Sierra de Neila (Northwestern Iberian Range) together with ten radiocarbon ages have allowed to propose a climatic sequence for the end of the last glacial cycle and the Holocene in the studied area. A climatic amelioration phase before 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP) has been identified. From that moment lasting to 9.700 « 50 BP (11.200 -11.080 cal. BP) there were climatic oscillations, with cold and arid pulses alternating with warming phases. The Dryas I event began at 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP), the Late-Glacial Interstadial at 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP) and the Dryas III event at 10.650 « 60 BP (12.945 - 12.610 cal. BP). The expansion of the aboreal taxa starting from 9.700 « 50 BP (11.200 -11.080 cal. BP) define the beginning of the present interglacial period, the Holocene, that is characterized in this sequence by the progressive stabilization of the climate.

In the vegetation dynamics stands out the *Corylus* presence since before 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP). The same occurs with *Fagus*, although this taxon only exists during the warming phases at the end of the last glacial cycle, beginning its continuous occurrence in the vegetation of the area at 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP).

Key-words: Palynology, Late-Glacial, Holocene, Palaeoclimatology, Northwestern Iberian Range



Ruiz Zapata, M.B.; Gil García, M.J.; Dorado Valiño, M.; Valdeolmillos Rodríguez, A. y Pérez-González, A. (2002). Clima y vegetación durante el Pleistoceno superior y el Holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico Noroccidental). *Rev. C. & G.*, 16 (1-4), 9-20.

1. Introducción

El Sistema Ibérico constituye una extensa alineación montañosa que sirve de divisoria topográfica entre la Meseta y la Depresión del Ebro, y entre aquella y el Mediterráneo. Su dirección general es NW-SE, si bien el conjunto noroccidental presenta un cambio de dirección E-W, y la mitad meridional se adapta casi a una dirección N-S acoplándose al trazado de la costa mediterránea (Ortigosa Izquierdo, 1986). Las diversas unidades existentes suelen ordenarse en tres grandes conjuntos morfoestructurales: sector oriental-meridional, sector centro-occidental y el sector nor-occidental. Dentro de este último se encuentra la Sierra de Neila (Figura 1) donde se localiza el depósito Laguna Grande (QS4), objeto de nuestro estudio. Esta sierra presenta una orientación W-E y está enclavada en el interior de la provincia de Burgos.

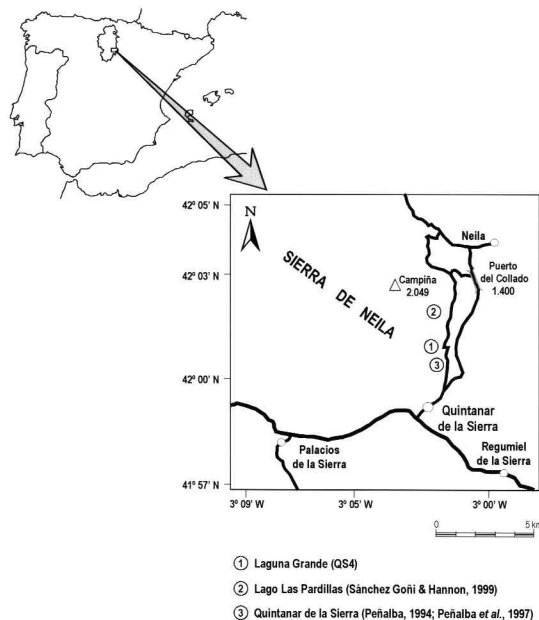


Figura 1. Situación geográfica del área de estudio.
 Figure 1. Geographical situation of the studied area.

El clima en esta sierra es continental, entre templado y frío, con primaveras y otoños cortos, veranos no muy calurosos e inviernos largos y rigurosos. La temperatura media anual varía entre los 3 y 4 °C dependiendo de la altitud y de la orientación.

Los materiales más antiguos que afloran en esta sierra son paleozoicos. A finales del Paleozoico la orogenia hercínica produce una serie de esfuerzos y plegamientos sobre los materiales cámbricos que hacen que, al tener distinta competencia, reaccionen de diferente manera. Como resultado de ello se crea el gran sinclinal del Najerilla, de varios kilómetros de longitud, que hace de límite estructural entre las sierras de Neila y La Demanda (Alonso Otero, 1982; Ortega y Centeno, 1987).

Durante el Cuaternario el relieve vuelve a ser modificado por la instalación de glaciares de circo y sus depósitos morrénicos, transformados a su vez por las redes fluviales posteriores. Estos glaciares están cerca de la línea de cumbres y no presentan un gran desarrollo pero son abundantes (Alonso Otero, 1982; Ortega y Centeno, 1987; Ortigosa Izquierdo, 1986; Sanz y Pellicer, 1994).

Trabajos anteriores llevados a cabo por otros autores en Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994; Peñalba et al., 1997) y en el Lago de Las Pardillas (Sánchez Goñi y Hannon, 1999), ambos sitios próximos al depósito de Laguna Grande, han puesto de manifiesto la dinámica de la vegetación durante el Tardiglacial y Holoceno, así como algunos aspectos relevantes en cuanto a la aparición y desarrollo de algunos taxones en la zona. El estudio actual se plantea como una necesidad de ampliar los conocimientos paleobotánicos y paleoclimáticos de esta zona de la Península Ibérica, así como para establecer la estrecha relación que existe entre la dinámica de la vegetación, la evolución de la cubeta lacustre y los cambios climáticos. Se han podido identificar las crisis climáticas correspondientes al Dryas Antiguo y al Dryas Reciente así como detectar peculiaridades del área respecto a trabajos anteriores, especialmente en cuanto a la aparición y desarrollo de *Fagus* y *Corylus*.

El depósito estudiado se localiza en la vertiente noroeste de la Sierra de Neila (Burgos) a 1.500 m de altitud y corresponde a un paleolago de origen glaciar.

2. Material y Métodos

Se obtuvo un testigo de 10 m con una sonda manual tipo Rusa. Las muestras se conservaron en

una cámara frigorífica a -25 °C hasta el momento de su tratamiento en el laboratorio, para preservarlas de su desecación.

Junto a las descripciones macroscópicas se han realizado estudios texturales y composicionales de los sedimentos (Vegas *et al.*, 2001): las arenas con microscopía petrográfica convencional (lámina delgada) y los limos y arcillas con difracción de rayos X. Finalmente, mediante microscopía electrónica de barrido se han estudiados los minerales autigénicos, su composición y las relaciones texturales.

El análisis polínico se ha realizado en muestras tomadas cada 5 cm y cada 1 cm en algunos niveles

DIAGRAMA POLINICO QS4
SIERRA DE NEILA. QUINTANAR DE LA SIERRA (BURGOS)
Altitud: 1.500 m.s.n.m.

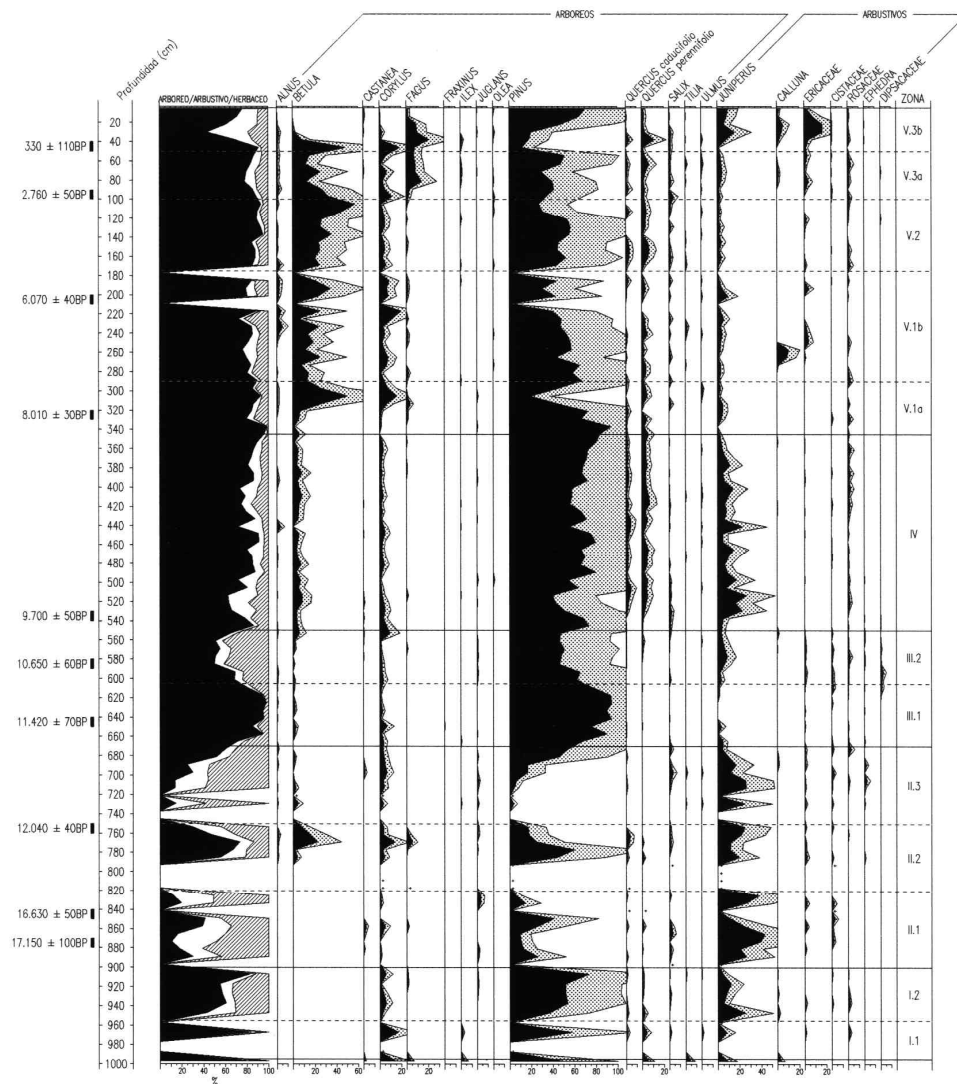


Figura 2 . Diagrama Polínico QS-4 en el que se representan las curvas de los taxones arbóreos y arbustivos.
Figure 2. Pollen diagram of core QS4 showing the curves of the arboreal and shrubby taxa.

de mayor interés. Las muestras fueron sometidas al tratamiento físico-químico clásico (Coûteaux, 1977; Moore y Webb, 1978; Moore *et al.*, 1991) para la extracción de los granos de polen.

Los datos de polen se presentan como frecuencia relativa de polen de cada taxón en un diagrama polínico (Figuras 2 y 3) elaborado mediante los programas informáticos TILIA7 y TILIAGRAPH7

(8 Eric C. Grimm). Las frecuencias relativas de taxones arbóreos y herbáceos se calcularon a partir del total excluyendo el polen de la vegetación acuática. La zonación polínica se ha realizado en función de los cambios observados en la representación de al menos dos taxones ecológicamente significativos (Reille, 1990).

Se han realizado dataciones radiométricas de ^{14}C (Beta Analytic Inc., Miami, Florida, EEUU) cuyos datos se muestran en la Tabla 1.

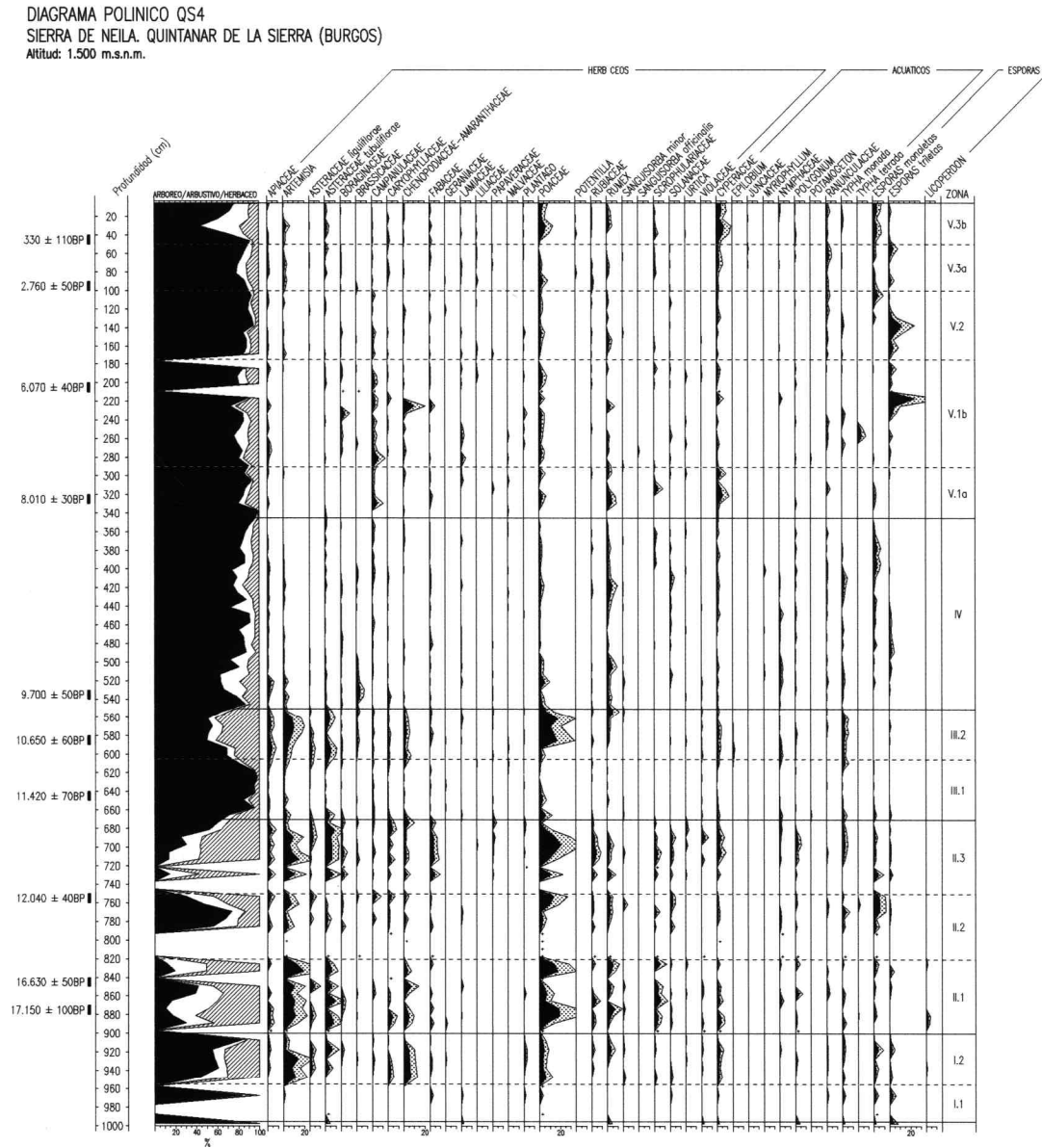


Figura 3. Diagrama Polínico QS-4 en el que se representan las curvas de los taxones herbáceos, acuáticos y las esporas.
Figure 3. Pollen diagram of core QS4 showing the curves of the herbaceous and aquatic taxa and the spores.

3. Resultados

En el diagrama polínico (Figura 2 y 3) se representa la dinámica de la vegetación en el área de estudio con anterioridad a los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19875 cal. BP).

En líneas generales se aprecia la existencia de un paisaje vegetal que presenta notables oscilaciones, con periodos de dominio forestal y otros en los que predomina la vegetación herbácea. Los taxones arbóreos mejor representados son *Pinus*, *Betula*, *Corylus*, *Quercus* caducifolio y perennifolio y *Fagus*, junto a elementos de ribera como *Alnus*, *Salix* y *Ulmus*. En cuanto a la vegetación arbustiva, *Juniperus* es el taxón principal acompañado, con porcentajes menores, por Ericaceae, Cistaceae y Rosaceae. Finalmente dentro de los elementos herbáceos destacan los esteparios como *Artemisia*, Asteraceae, Poaceae, Chenopodiaceae, junto a un cortejo variado constituido por Apiaceae, Fabaceae, etc. La sustitución de una vegetación herbácea estépica, que domina en la mitad inferior de la secuencia, por bosques fundamentalmente de *Pinus*, junto a taxones de carácter más templado en la mitad superior indica la progresiva suavización del clima. Dicha sustitución tiene lugar a lo largo de una sucesión de etapas con características sedimentarias y polínicas propias que, con el apoyo de las dataciones radiométricas de ^{14}C , van a definir y caracterizar las sucesivas fases climáticas. En este sentido establecemos 5 zonas polínicas de carácter local, coincidentes con las

definidas a partir de los estudios litológicos (Vegas *et al.*, 2001).

Zona I: Desarrollada entre los 10 y 9 m de profundidad y con una edad superior a 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP). Litológicamente se trata de un nivel constituido por conglomerados mal seleccionados, arenas gruesas y en menor proporción limos, y es interpretado como turbiditas en un ambiente lacustre oligotrófico. La vegetación es fundamentalmente arbórea, constituida casi exclusivamente por *Pinus*, si bien se detectan presencias de otros elementos como *Fagus*, *Corylus*, *Ilex* y *Quercus* tipo perennifolio. Destaca la baja representación de taxones arbustivos así como la expansión a lo largo de esta zona de los herbáceos. Se detectan dos pulsaciones, definidas en las siguientes subzonas:

I.1 (10 - 9,54 m): Dominada por vegetación arbórea que está constituida por *Pinus* y presencias de *Corylus*, *Fagus*, *Juglans*, *Quercus* tipo perennifolio, *Tilia* y *Ulmus*.

I.2 (9,54 - 9 m): Representa una vegetación arbórea más empobrecida que en la subzona anterior, tanto cualitativa como cuantitativamente, lo que favorece la expansión de los taxones arbustivos, principalmente de *Juniperus* junto a presencias de *Calluna*, Ericaceae, Cistaceae y Rosaceae. Asimismo, en esta subzona se aprecia una mayor variabilidad del conjunto de taxones herbáceos destacando el importante desarrollo de los esteparios como *Artemisia*, Chenopodiaceae y Poaceae. Los taxones acuáticos están muy poco representados.

REFERENCIA LABORATORIO	Profundidad (m)	Edad Convencional de ^{14}C (BP)	Edad Calibrada (cal. BP)
Beta - 141665	0,4 - 0,5	330 ± 110	540 - 250
Beta - 141666	0,9 - 1,0	2.760 ± 50	2.960 - 2.765
Beta - 145039	2,0 - 2,1	6.070 ± 40	7.010 - 6.790
Beta - 145040	3,2 - 3,3	8.010 ± 30	9.010 - 8.770
Beta - 145041	5,3 - 5,4	9.700 ± 50	11.200 - 11.080
Beta - 141667	5,8 - 5,9	10.650 ± 60	12.945 - 12.610
Beta - 141668	6,4 - 6,5	11.420 ± 70	13.795 - 13.665
Beta - 135634	7,5 - 7,6	12.040 ± 40	15.115 - 14.790
Beta - 135633	8,4 - 8,5	16.630 ± 50	20.250 - 19.400
Beta - 141669	8,7 - 8,8	17.150 ± 100	20.965 - 19.875

Tabla 1. Dataciones de ^{14}C y edades calibradas en el Testigo QS4.

Table 1. Conventional Radiocarbon ages (BP) and calibrated ^{14}C dating results (cal. BP) in the QS4 core.

Zona II: Abarca el intervalo de 9 a 6,74 m de profundidad y cronológicamente se ubica entre los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP) y los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP). Al igual que en la zona anterior, la litología corresponde a una sedimentación detrítica en un lago oligotrófico. La vegetación se caracteriza por el dominio de taxones herbáceos estépicos. Se distinguen tres subzonas tanto en la litología como en el contenido polínico:

II.1 (9 - 8,20 m): Con una datación hacia la base de 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP) y otra hacia techo de 16.630 « 50 BP (20.250 - 19.400 cal. BP), constituye una etapa en la que tiene lugar la formación de varvas clásticas al tiempo que se produce el retroceso de los bosques de *Pinus*. Se detectan presencias de *Corylus*, *Juglans*, *Castanea* y *Fagus* y de ambos tipos de *Quercus*, y un mayor desarrollo de arbustos, concretamente *Juniperus* (los mayores valores de este taxón de toda la secuencia), junto a presencias de Ericaceae y Cistaceae. La vegetación herbácea es variada destacando el desarrollo de elementos esteparios como Poaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae y *Artemisia*.

II.2 (8,20-7,50 m): Litológicamente es una etapa de formación de turbiditas de baja densidad con una datación a techo de 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP). Desde el punto de vista polínico se encuentra separada de las subzonas anterior y posterior por niveles estériles. Representa una pequeña mejora climática inferida por la expansión de *Pinus*, *Betula* y *Corylus* así como de ambos tipos de *Quercus*. Paralelamente se produce una ligera disminución de los valores de *Juniperus* y de taxones estépicos.

II.3 (7,50 - 6,74 m): Corresponde al intervalo de tiempo comprendido entre los 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP) y los 11.420 « 70 P (13.795 - 13.665 cal. BP) y representa una nueva etapa de formación de varvas clásticas y de retroceso del bosque, debido principalmente a la pérdida prácticamente total de *Pinus*. Sin embargo *Betula* y *Corylus*, aunque con valores discretos, mantienen una curva continua, al igual que *Juglans* y *Quercus* tipo caducifolio. En la vegetación arbustiva destaca la importante expansión de *Juniperus*

y la presencia de *Ephedra*. La vegetación herbácea está bien representada y está constituida fundamentalmente por taxones estépicos.

Zona III: Corresponde a los espectros polínicos del intervalo entre 6,74 y 5,4 m que cronológicamente se sitúa entre los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP) y los 9.700 « 50 BP (11.200 - 11.800 cal. BP). Desde el punto de vista litológico se observa una disminución del aporte detrítico desde la cuenca de drenaje, la sedimentación es rítmica con pares de láminas que se han interpretado como varvas orgánico-mineral. Se diferencian dos etapas:

III.1 (6,74 - 6,05 m): Con una datación en la base de 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP), se caracteriza por la recuperación de la vegetación arbórea debida principalmente a la expansión de *Pinus*. Están presentes de un modo continuo *Betula* y *Corylus* y se detectan presencias de *Olea* y *Tilia*. Los arbustos sufren un importante retroceso disminuyendo sus valores hasta unos porcentajes muy bajos. La vegetación herbácea está poco representada y se detecta una importante disminución de los taxones estépicos.

III.2 (6,05 - 5,40 m): Esta etapa, datada su base en 10.650 « 60 BP (12.945 - 12.610 cal. BP), se caracteriza por el retroceso del bosque, tanto por la disminución de los valores de *Pinus* como del resto de los taxones arbóreos. Paralelamente se observa un incremento significativo de elementos esteparios siendo destacable la presencia de *Ephedra*. En cuanto a la litología, en esta etapa hay un predominio de la lámina orgánica, los sedimentos adquieren un color morado y, en los 15 cm superiores se han detectado minerales autigénicos, óxidos de hierro, titanio y sulfuros. Todo ello indica la eutrofización de las aguas, con un ambiente anóxico en el fondo y una baja tasa de sedimentación.

Zona IV: Corresponde al intervalo entre los 5,40 y los 3,40 m y tiene una datación en su base de 9.700 « 50 BP (11.200 - 11.080 cal. BP). En los sedimentos de la parte inferior de esta zona se detecta la existencia de yeso autigénico que se podría haber originado por oxidación de piritas del techo de la unidad anterior, al cambiar el fondo del

lago a un ambiente oxidante y a un aumento del pH. El resto de la sedimentación continúa con la formación de varvas mineral-orgánico y, hacia techo hay un aumento de restos vegetales y una disminución de aportes detríticos. En cuanto a la vegetación, el dato más significativo es la expansión de la vegetación arbórea, debida fundamentalmente al aumento de los valores de *Pinus*, acompañado por elementos templados como *Betula*, *Corylus*, *Quercus* tipo caducifolio, y taxones mediterráneos como *Quercus* tipo perennifolio y *Olea*. También tiene lugar un mayor desarrollo de los elementos de ribera, como *Alnus*, *Salix* y más esporádicamente *Ulmus*. Otros aspectos que destacan son la última expansión significativa de *Juniperus* y la mayor representación, sobre todo cualitativa, de la vegetación herbácea.

Zona V: Corresponde a la parte superior de la secuencia y comprende desde los 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP) hasta la actualidad. Litológicamente se diferencian tres episodios principales. El primero, entre los 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP) y algo posterior a los 6.070 « 40 BP (7.010 - 6.790 cal. BP), comienza con una gran acumulación de restos vegetales y limos negros y termina con la formación de turba. En el segundo episodio, que se es posterior a los 6.070 « 40 BP (7.010 - 6.790 cal. BP) y termina a los 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP), se produce una reactivación en la sedimentación detrítica, con la formación de láminas con restos vegetales y láminas minerales. El último episodio comprende desde 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP) hasta la actualidad. Alternan limos negros ricos en ácidos orgánicos y restos vegetales con limos y arcillas de color crema; definen episodios de estancamiento que alternan con episodios de mayor aporte de agua. El final de la sedimentación está caracterizado por la instalación de una turbera, que coincide con el relleno de la cuenca en época histórica.

En cuanto a la vegetación, esta zona está caracterizada por la expansión y estabilización de la curva de polen arbóreo. Se detecta el retroceso progresivo de *Pinus* y una expansión tanto de *Betula* como de *Corylus* así como el inicio de la curva continua de *Fagus*. Otros datos destacables son el desarrollo de curvas continuas de *Alnus* y *Tilia* y las presencias esporádicas de *Olea*, en etapas coin-

cidentes con los pequeños máximos de *Quercus* tipo caducifolio. Asimismo, existe una mayor variedad de taxones en la vegetación herbácea con apenas presencias de elementos esteparios. Se observa un aumento, cuantitativo y cualitativo, de la vegetación acuática, representada fundamentalmente por Cyperaceae, Nymphaeaceae, *Myriophyllum*, Ranunculaceae, *Drosera* y *Typha*. En los 50 cm superiores, se produce una caída brusca en los valores de polen arbóreo, con una pérdida importante de los taxones templados, y una expansión de los arbustos y de las herbáceas. Se trata de una fase de corta duración, seguida de una rápida recuperación de los taxones arbóreos, fundamentalmente de *Pinus*. Este hecho, junto a las dataciones de ^{14}C , nos sitúan en un periodo histórico, en el que la dinámica de la vegetación no depende sólo del factor climático ya que el hombre empieza a realizar actividades perturbadoras en el paisaje.

Teniendo en cuenta las dataciones de ^{14}C y los cambios en la vegetación, hemos diferenciado las siguientes subzonas:

V.1a (3,40 - 2,90 m): Con una datación en la base de 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP), se caracteriza por la expansión de *Betula* y *Corylus* y el inicio de la curva continua de *Fagus*, aunque *Pinus* sigue siendo el taxón arbóreo dominante. Como consecuencia se produce el retroceso paulatino de la vegetación arbustiva, debido fundamentalmente a la caída de *Juniperus*, y de la vegetación herbácea con ausencia casi generalizada de los elementos esteparios, excepto a techo de la subzona.

V.1b (2,90 - 1,80 m): Esta subzona, datada en 6.070 « 40 BP (7.010 - 6.790 cal. BP) hacia techo, presenta valores de polen arbóreo similares a los de la subzona anterior. Sin embargo, la curva de *Pinus* muestra una clara tendencia al retroceso y las curvas de *Betula* y *Corylus* presentan grandes fluctuaciones. Los elementos arbustivos y herbáceos mantienen una representación muy similar a la anterior.

V.2 (1,80 - 1 m): Con una datación a techo de 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP), representa una vegetación con unas características muy similares a las de la subzona V.1b, pero sin las fluctuaciones antes citadas. La recuperación de *Pinus* y la

ligera expansión de *Betula* han sido los argumentos utilizados para su diferenciación.

V.3a (1 - 0,50 m): Se inicia a partir de los 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP) y está caracterizada por la ligera caída de la curva de polen arbóreo, debido al retroceso fundamentalmente de los valores de *Betula*, ya que *Pinus*, aunque con valores inferiores a los alcanzados en la subzona anterior, sigue siendo un elemento importante en la composición de la vegetación. Se detectan ligeros aumentos en los porcentajes de ambos tipos de *Quercus* y *Corylus*, pero el dato más significativo es el aumento que experimenta la curva de *Fagus*.

V.3b (0,50 - 0,1 m). Esta subzona está datada en su base en 330 « 110 (540-250 cal. BP) lo que la sitúa en época histórica. Se caracteriza por el retroceso generalizado de la vegetación arbórea, pese a que los elementos mediterráneos y *Fagus* alcanzan los valores más altos de toda la secuencia. Asimismo, tiene lugar la expansión de los arbustos, principalmente *Juniperus*, Ericaceae y *Calluna*, y un ligero aumento de la vegetación herbácea. En la parte superior se detecta un fuerte aumento del polen arbóreo, aunque el responsable es exclusivamente *Pinus*, ya que el resto de taxones arbóreos presentan valores poco significativos. La vegetación arbustiva y herbácea se mantiene con valores prácticamente constantes.

4. Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio de la secuencia de Laguna Grande (QS4) permite correlacionar la dinámica reflejada en los espectros polínicos con las oscilaciones climáticas detectadas en el Atlántico Norte (Ruddiman y Mc Intyre, 1981; Duplessy et al., 1981, 1991; Frenzel et al., 1992), con algunas modificaciones que deben atribuirse a las condiciones biogeográficas propias del área de estudio y a su historia paleoambiental anterior (Ramil Rego et al., 1998).

4.1. El Würmiense final y Tardiglacial

La base de la secuencia QS4 (zona polínica I) con una edad superior a 17.150 « 100 BP (20.965 -

19.875 cal. BP) puede atribuirse al Würmiense final, caracterizado desde el punto de vista climático por la instalación de unas condiciones frías, con un cierto contraste estacional y una fuerte aridez. Sin embargo en nuestro registro el dominio de una vegetación arbórea y la presencia de elementos templados como *Fagus*, *Corylus*, *Ilex* y *Quercus*, así como la sedimentación de turbiditas, correlacionadas con el retroceso del glaciario en la Sierra de Neila (Vegas et al., 2001), reflejan una ligera mejora climática dentro del último ciclo glacial. Esta mejora podría corresponder al ascenso rápido de las temperaturas después de cada evento Heinrich, en este caso después del evento H2 que tuvo lugar hace unos 21.000 años (Bond et al., 1993; Broecker, 1994; Bradley, 1999).

La zona polínica II, que representa la vegetación del área entre los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP) y los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP), sí refleja las condiciones frías y áridas del final de la última glaciación. Es un periodo en el que tienen lugar notables oscilaciones climáticas, con fases de calentamiento en las que la vegetación arbórea, constituida fundamentalmente por *Pinus* y con algunos taxones termófilos, se recupera. Asimismo, la formación de turbiditas en estas fases se han relacionado con un alto nivel de agua en el lago favorecido por el mayor aporte de agua de fusión (Vegas et al., 2001).

Alternando con estas fases existen otras fases de formación de varvas clásticas en las que la vegetación está constituida por estepas de *Artemisia*, Poaceae, Chenopodiaceae y *Ephedra*, y que reflejan pulsaciones frías y áridas. Entre los 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP) y los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP), subzona polínica II.3, se detecta un importante retroceso de la vegetación arbórea y un incremento notable de elementos estépico que permiten inferir un nuevo deterioro climático, correlacionable con el Dryas Antiguo o Dryas I, y con el evento H1 que se produjo hace unos 14.300 años (Bond et al., 1992; Broecker, 1994; Bradley, 1999).

La subzona polínica III.1 que se inicia en los 11.420 « 70 BP (13.795 - 13.665 cal. BP) refleja la mayor recuperación arbórea hasta ese momento, siendo *Pinus* el elemento que domina, a la vez que se produce un importante retrocesos de los taxones estépico. Representa la fase de mejora climática

que caracteriza al Interstadial Tardiglaciario (Ruddiman y Mc Intyre, 1981; Frenzel *et al.*, 1992) y que se puede correlacionar con el aumento de las temperaturas posterior al evento H1.

La última oscilación fría del Tardiglaciario, el Dryas Reciente o Dryas III, también ha quedado registrada en nuestra secuencia (subzona III.2), en la que se detecta una eutrofización del lago debida a la falta de aporte hídrico (Vegas *et al.*, 2001). Esta última etapa fría y árida anterior al actual interglaciario, se produce entre los 10.650 « 60 BP (12.945 - 12.610 cal. BP) y los 9.700 « 50 BP (11.200 - 11.080 cal. BP). El paisaje está dominado por elementos estépicos (*Artemisia*, *Ephedra* y *Poaceae*) mientras se produce un descenso importante de la vegetación arbórea, especialmente de *Pinus*.

Estos eventos quedan igualmente definidos en otras secuencias europeas y la diferente localización geográfica hace que sean diferentes los taxones dominantes en cada uno de ellos. Así, en el depósito de Le Grand Pile-Francia- (Woillard, 1979) los interstadiales se definen por el desarrollo de bosques de *Pinus* y *Betula*, mientras que en el Sur de Europa están constituidos fundamentalmente por *Pinus* y *Quercus*, como en Padul-España- (Menéndez Amor y Florschütz, 1964; Pons y Reille, 1988), en Tenaghi-Phillippon-Grecia- (Wijmstra y Smit, 1976) y en Lago Montichio-Italia- (Allen *et al.*, 2000). En todas estas secuencias, al igual que en la secuencia QS4, se detecta cómo la mejora climática va teniendo cada vez una mayor intensidad y por el contrario, los eventos fríos son cada vez menos rigurosos. En nuestro registro se pone claramente de manifiesto la presencia de elementos termófilos durante los episodios de recuperación de la vegetación, como reflejo de la existencia de áreas refugio favorecidas por la morfología del área y que explican la progresiva expansión de estos taxones. En La Península Ibérica el gradiente de humedad, con distribución N-S y O-E, es el factor que determina la composición de los bosques. Así en el sector más occidental están dominados por *Quercus* caducifolio (Maldonado Ruiz, 1994; Ramil Rego *et al.*, 1996; Muñoz Sobrino, 2001), en las regiones centrales y orientales por *Pinus* y *Betula* (Monserrat Martí, 1992; Gómez-Lobo Rodríguez, 1993; Peñalba, 1994; Pérez-Obiols y Julia, 1994; Peñalba

et al., 1997; Ruiz Zapata *et al.*, 1997; Sánchez Goñi y Hannon, 1999; Ruiz Zapata *et al.*, 2000; Franco Múgica *et al.*, 2001) y en las zonas más meridionales por *Pinus* y *Quercus* perennifolio (Menéndez Amor y Florschütz, 1964; Pons y Reille, 1988; Carrión y Van Geel, 1999).

Destaca en la secuencia QS4, con respecto a la secuencia de Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994; Peñalba *et al.*, 1997), la curva prácticamente continua de *Corylus* a lo largo de toda ella y la aparición de *Fagus* con anterioridad a los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP).

4.2. El Holoceno inicial

En el inicio del Holoceno, a los 9.700 « 50 BP (11.200 - 11.080 cal. BP), se detecta claramente la instalación de unas condiciones más templadas y húmedas que se correlacionan con la expansión y estabilización del bosque, que está constituido por pinos y elementos templados y mediterráneos, definiendo la instalación del actual interglaciario.

La fase de expansión arbórea del Holoceno Inicial (zona IV y subzonas V.1a y V.1b) que se produce entre los 9.700 « 50 BP (11.200 - 11.080 cal. BP) y los 6.070 « 40 BP (7.010 - 6.790 cal. BP) se caracteriza por ser el intervalo de tiempo en el que se alcanzan valores muy importantes de la vegetación arbórea, coincidiendo con una fase de mayor representación de *Quercus* caducifolio y perennifolio y el inicio de la curva continua de *Fagus* a partir del 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP). La vegetación inicialmente estaría formada por pinares acompañados de algunos ejemplares de *Quercus*, *Betula* y *Corylus*, detectándose posteriormente cambios en su composición: se produce un mayor desarrollo de *Betula*, *Corylus* y *Quercus* perennifolio, junto a la presencia de elementos de ribera. Por tanto, la vegetación responde a la estabilización progresiva del clima, a lo que habría que añadir que durante este fase se desarrollan sedimentos de naturaleza turbosa que representan la colmatación del medio palustre. Sin embargo, en la subzona V.1a, con una datación en su base de 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP) se detecta un episodio de inestabilidad que podría correlacionarse con el deterioro climático que tuvo lugar alrededor del los 8.500 años. Se produce una importante

reducción de la vegetación arbórea debida fundamentalmente al retroceso del pinar, ya que *Betula*, *Corylus* y *Fagus* se incrementan ligeramente. Dicha tendencia se acentúa hacia los niveles superiores, de manera que el pino va cediendo espacio favoreciendo la expansión de abedules, avellanos y hayas, al igual que ocurre en otros depósitos del Norte peninsular (Montserrat Martí, 1992; Ramil Rego, 1992; Gómez-Lobo, 1993; Maldonado Ruiz, 1994; Peñalba et al., 1997; Ramil Rego et al., 1998; Sánchez Goñi y Hannon, 1999; Ruiz Zapata et al., 2000).

4.3. El Holoceno medio

En el Holoceno medio (zona V.2), que cronológicamente se ubica entre los 6.070 « 40 BP (7.010 - 6.790 cal. BP) y los 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP), se produce la sedimentación de detríticos debido a un mayor aporte de agua en el lago, aunque éste sigue siendo de poca profundidad. Esta fase constituye un episodio de mayor representación arbórea, con la codominancia de pinares y abedulares, mejorando simultáneamente la representación de otros elementos arbóreos como *Quercus* caducifolio y perennifolio. La dinámica de la vegetación registrada en nuestra secuencia mantiene similitudes bastante significativas con las detectadas en otros depósitos (Jalut, 1977; Van Mourik, 1986; Pons y Reille, 1988; Ramil Rego et al., 1996; Peñalba et al., 1997; Ruiz Zapata et al., 1997; Sánchez Goñi y Hannon, 1999). Sin embargo, en nuestra secuencia no se detectan, durante el Holoceno medio, regresiones de la vegetación arbórea durante la fase de empeoramiento climático alrededor de los 5.000 - 4.500 BP que reflejan las curvas de ^{18}O y algunos depósitos del NW peninsular (Ramil Rego, 1992; Peñalba, 1994; Ramil Rego et al., 1998).

4.4. El Holoceno reciente

El Holoceno reciente (subzona V.3) se inicia a los 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP). La mayor concentración de nutrientes en los sedimentos indica el progresivo estancamiento que se produce en el lago hasta su posterior colmatación que culmina con la formación de turba, favoreciendo la expansión de las ciperáceas. Durante este periodo

está más limitada la reconstrucción paleoambiental inferida por las oscilaciones climáticas ya que la actividad humana tiene cada vez más influencia en la configuración del paisaje vegetal.

En cuanto a la dinámica general de la vegetación se detecta una primera fase en la que se produce una regresión en los porcentajes de taxones arbóreos, pero es poco acusada. El descenso del bosque se debe fundamentalmente a la caída de *Betula*, ya que el resto de los taxones se mantienen constantes, y sólo los valores de *Fagus* aumentan. Posteriormente se observa una etapa en la que tiene lugar una importante deforestación con el la disminución de los valores de *Pinus*, *Betula*, *Corylus* y ambos tipos de *Quercus*. La pérdida del bosque contribuyó de forma decisiva al desarrollo de los taxones arbustivos (*Juniperus*, *Calluna*, Ericaceae). De forma sincrónica se observa un ligero incremento de algunos taxones herbáceos como *Artemisia*, Poaceae, *Rumex*, Asteraceae y Chenopodiaceae. Este retroceso del bosque ha podido ser el resultado de la mayor presión humana que sobre los bosques peninsulares ejercieron las distintas culturas durante estos periodos históricos, aunque también podría poner de manifiesto la incidencia sobre los mismos de la *Pequeña Edad del Hielo* (Font Tullot, 1988). Finalmente, tiene lugar un episodio de regeneración arbórea debida exclusivamente al incremento del *Pinus*, ya que *Betula* y *Corylus* no logran recuperarse, e incluso *Fagus* sufre un importante retroceso. Asimismo, se detectan presencias de *Castanea* y *Olea* que reflejan claramente una mayor actividad agrícola en las zonas medias-bajas del área de estudio y por tanto una mayor actividad antrópica en el medio al igual que se detecta en Lago Las Pardillas (Sánchez Goñi y Hannon, 1999) y más atenuadamente en Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994; Peñalba et al., 1997).

En resumen, los datos obtenidos en el estudio de la secuencia QS4 han permitido poner de manifiesto la estrecha relación que existe entre la dinámica de la vegetación, la evolución de la cubeta lacustre y el clima, fundamentalmente durante los eventos climáticos extremos del Último Máximo Glaciar y del Tardiglaciar.

Por otra parte, en cuanto a la dinámica de la vegetación, hay que destacar algunos hechos de gran relevancia con respecto a otras secuencias

geográficamente próximas. Estos hechos se resumen en:

- Desarrollo de *Betula* desde 12.040 « 40 BP (15.115 - 14.790 cal. BP).
- Presencia de *Corylus* en la vegetación del área desde la base de la secuencia.
- Presencia de *Fagus* desde antes de los 17.150 « 100 BP (20.965 - 19.875 cal. BP) en las mejoras climáticas, su presencia más frecuente desde el 8.010 « 30 BP (9.010 - 8.770 cal. BP) y su expansión a partir del 2.760 « 50 BP (2.960 - 2.765 cal. BP).
- Identificación de las fluctuaciones climáticas del Tardiglaciar y de la crisis holocena del 8.500.

Referencias bibliográficas

- Allen, J.R.M.; Watts, W.A. & Huntley, B. (2000). Weichselian palynostratigraphy, palaeovegetation and palaeoenvironment; the record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary International*, 73/74, 91-110.
- Alonso Otero, F. (1982). Observaciones sobre la morfología glaciaria de la Sierra de Teleno. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2, 85-99.
- Bond, G.; Broecker, W.; Johnsen, S.; McManus, J.; Labeyrie, L.; Jouzel, J. & Bonani, G. (1993). Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365, 143-147.
- Bradley, R.S. (1999). *Paleoclimatology. Reconstructing paleo-climates of the Quaternary*. 2nd edition. Academic Press. San Diego.
- Broecker, W.S. (1994). Massive iceberg discharges as triggers for global climate change. *Nature*, 372, 421-424.
- Carrión, J.S. & Van Geel, B. (1999). Fine-resolution Upper Weichselian and Holocene palynological record from Navarrés (Valencia, Spain) and a discussion about factors of Mediterranean forest succession. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 106, 209-236.
- Coûteaux, M. (1977). A propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux, principalement archéologiques. En *Le Milieu Végétal, les faunas et l'Homme. Supplément Bulletin A.F.E.Q.*, 47, 259-276.
- Duplessy, J.C.; Delibrias, G.; Turon, J.L.; Pujol, C. & Duprat, J. (1981). Deglacial warming of the Northeastern Atlantic Ocean: Correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35, 121-144.
- Duplessy, J.C.; Bard, E.; Arnold, M.; Shackleton, N.J.; Duprat, J. & Labeyrie, L. (1991). How fast did the ocean-atmosphere system run during the last deglaciation?. *Earth and Planetary Science Letters*, 103, 27-40.
- Font Tullot, I. (1988). *Historia del clima en España. Cambios climáticos y sus causas*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- Franco Múgica, F.; García Antón, M.; Maldonado Ruiz, J.; Morla Juaristi, C. & Sainz Ollero, H. (2001). The Holocene history of *Pinus* in the Spanish Northern Meseta. *Holocene*, 11(3), 343-358.
- Frenzel, B.; Pécsi, M. & Velichko, A.A. (1992). *Atlas of paleo-climates and palaeoenvironments of the North Hemisphere. Late Pleistocene-Holocene*. Gustav Fisher. Verlag.
- Gómez-Lobo Rodríguez, A. (1993). Historia de la vegetación durante los últimos 15.000 años en los Picos de Urbión (Soria) en base al análisis polínico. *Tesis Doctoral* (inédita). Facultad de Ciencias. Sección Biología. Universidad de Alcalá de Henares.
- Jalut, G. (1977). *Végétation et climat des Pyrénées méditerranéennes depuis quinze mille ans*. Archives d'Ecologie Préhistorique-Ecole de Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Maldonado Ruiz, J. (1994). Evolución Tardiglaciaria y Holocena de los macizos del Noroeste Peninsular. *Tesis Doctoral* (inédita). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- Menéndez Amor, J. & Florschütz, F. (1964). Results of preliminary palynological investigation of samples from 50 m boring in southern Spain. *Boletín Sociedad Española Historia Natural (Geología)*, 62, 251-255.
- Monserrat Martí, J.M. (1992). *Evolución glaciaria y postglaciaria del clima y la vegetación en la vertiente Sur del Pirineo: Estudio palinológico*. Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología, 6.
- Moore, P.D. & Webb, J.A. (1978). *An illustrated guide to Pollen Analysis*. Hodder & Stoughton.
- Moore, P.D.; Webb, J.A. & Collinson, M.E. (1991). *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Publications.
- Muñoz Sobrino, C. (2001). Cambio climático y dinámica del paisaje en las montañas del noroeste de la Península Ibérica. *Tesis Doctoral* (inédita). Escuela Politécnica Superior. Departamento de Biología Vegetal. Universidad de Santiago de Compostela.
- Ortega, L. y Centeno, J.D. (1987). Nota sobre nuevos focos glaciares detectados en la Sierra de Neila (NW del Sistema Ibérico, España). *Boletín Real Sociedad Española Historia Natural (Geología)*, 82 (1-2), 147-150.
- Ortígosa Izquierdo, L.M. (1986). *Geomorfología glaciaria de la Sierra de Cebollera (Sistema Ibérico)*. Ciencias de la Tierra. Geografía, 7. Instituto de Estudios Riojanos.
- Peñalba, M.C. (1994). The history of the Holocene vegetation in northern Spain from pollen analysis. *Journal of Ecology*, 82, 815-832.
- Peñalba, M.C.; Arnold, M.; Guiot, M.; Duplessy, J.C. & Beaulieu, J.L. (1997). Termination of the last glaciation in the

- Iberian Peninsula inferred from pollen sequence of Quintanar de la Sierra. *Quaternary Research*, 48, 205-214.
- Pérez Obiols, R. & Julià, R. (1994). Climatic change on the Iberian peninsula recorded in 30,000-yr pollen record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, 41: 91-98.
- Pons, A. & Reille, M. (1988). The Holocene and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada, Spain): a new study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 66, 243-263.
- Ramil Rego, P. (1992). La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico. *Tesis Doctoral* (inédita). Facultad de Biología. Universidad de Santiago.
- Ramil Rego, P.; Taboada Castro, M.T.; Díaz Fierros, F. y Aira, M.J. (1996). Modificación de la cubierta vegetal y acción antrópica en la región de Minho (Norte de Portugal) durante el Holoceno. En: *Biogeografía Pleistoceno-Holoceno de la Península Ibérica* (P. Ramil Rego, C. Fernández Rodríguez y M.A. Rodríguez Guitián, Cords). Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, 119-214.
- Ramil Rego, P.; Muñoz Sobrino, C.; Rodríguez-Gutián, M. & Gómez Orellana, L. (1998). Differences in the vegetation of the North Iberian peninsula during the last 16,000 years. *Plant Ecology*, 138, 41-62.
- Reille, M. (1990). *Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique*. Editions du CNRS, 206 pp.
- Ruddiman, W.F. & McIntyre, A. (1981). The north Atlantic Ocean during the last deglaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35, 145-214.
- Ruiz Zapata, M.B.; Gil García, M.J.; Dorado Valiño, M.; Andrade Olalla, A.; Martín Arroyo, T. y Valdeolillos Rodríguez, A. (1997). Vegetación y paleoambientes en el Sistema Central español. En: *Cuaternario Ibérico* (J. Rodríguez Vidal, eds), 248-260.
- Ruiz Zapata, M.B.; Pérez-González, A.; Dorado Valiño, M.; Valdeolillos Rodríguez, A. y Gil García, M.J. (2000). Caracterización de las etapas áridas del Pleistoceno Superior en la región Central peninsular. *Geotemas*, 1(4), 273-278.
- Sanchez Goñi, M.F. & Hannon, G. (1999). High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain chain (North-central Spain) during the Holocene. *The Holocene*, 9(1): 39-57.
- Sanz, E. y Pellicer, F. (1994). El periglacialismo de las Sierra de Cebollera (Soria y La Rioja). *Cuaternario y Geomorfología*, 8(1-2), 123-138.
- Van Mourik, J.M. (1986). *Pollen profiles of slope deposits in the Galicia area (N.W. Spain)*. Nederlandse Geografische Studies, 12.
- Vegas, J.; Pérez-González, A.; Ruiz-Zapata, B. y López-García, M.J. (2001). 21.000 años de registro sedimentario en Laguna Grande. Sierra de Neila, Noroeste del Sistema Ibérico (España). En: *Actas del VREQUI/CQPLI*, Lisboa, Portugal, 268-271.
- Wijmstra, T.A. & Smit, A. (1976). Palynology of the middle part (30-78 metres) of the 120 m deep section in northern Greece (Macedonia). *Acta Bot. Neerl.*, 25, 297-312.
- Woillard, G. (1979). The last interglacial-glacial cycle at Grande Pile in North-eastern France. *Bull. Soc. Belge de Géologie*, 88 (1), 51-69.

Recibido 21 de junio de 2001;

Aceptado 20 de octubre de 2001