

Impacto de la variabilidad climática rápida en el paisaje vegetal del NE peninsular durante el Holoceno a partir de datos palinológicos

Vegetation response to rapid climate variability in NE Iberia during the Holocene
based on palynological data



Tesis Doctoral

Josu Aranbarri Erkiaga
2016

Directores

Penélope González-Sampériz
Julio Rodríguez-Lázaro
Donatella Magri

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Impacto de la variabilidad climática rápida en el paisaje vegetal del NE Peninsular a partir de indicadores palinológicos

Agradecimientos

Resumen (Español, Inglés, Italiano)

1.	Introducción	1
1.1.	Forzamientos climáticos a escala Cuaternaria: de los Ciclos de Milankovitch a las oscilaciones decadales	2
1.2.	La aportación de la paleoclimatología al Cambio Global Actual	9
1.3.	Variabilidad climática a escala milenaria durante el Tardiglacial y Holoceno en la Península Ibérica	11
1.3.1.	Sincronías y divergencias en la respuesta de los ecosistemas a la transición climática Tardiglacial/Holoceno	11
1.3.2.	Óptimo Climático Holoceno en la Iberia Mediterránea	16
1.3.3.	Expansión de flora Mediterránea durante el Holoceno Tardío: aridez climática vs impacto humano	18
1.3.4.	Los cambios climáticos abruptos: Impactos ambientales	20
1.3.5.	Los cambios climáticos abruptos: Consecuencias culturales	23
1.4.	La estrategia multiproxy y los cambios ambientales de origen antropogénico: evidencias arqueobotánicas de agricultura Neolítica peninsular	27
1.5.	Breve introducción sobre el origen autóctono vs alóctono de especies clave (<i>Castanea sativa</i> , <i>Juglans regia</i> , <i>Olea europea</i>)	29
	Referencias	33
2.	Hipótesis y Objetivos de la Tesis Doctoral	59
	Referencias	64
3.	Área de estudio	65
3.1.	El entorno lacustre del Cañizar de Villarquemado	66
3.3.	El paisaje del Valle de Conquezueta-Ambrona y su relevancia arqueo-paleontológica	72
3.4.	El paisaje fluvial de los ríos Queiles y Val	77
3.5.	Referencias	81
4.	Metodología	87
4.1.	Extracción de los sondeos lacustres	88
4.2.	Extracción de muestras de perfiles tobáceos	90
4.3.	Descripción de sondeos, delimitación de facies sedimentarias, geoquímica elemental y contenido mineralógico	91
4.4.	XRF, susceptibilidad magnética y elaboración de ratios	93
4.5.	Indicadores palinológicos	95
4.5.1.	Toma de muestras	95
4.5.2.	Extracción físico-química del contenido polínico	95
4.5.3.	Identificación polínica	97
4.5.4.	Análisis de datos	98
4.6.	Relación polen-vegetación actual a partir de musgos	100
4.7.	Indicadores antracológicos	102
4.8.	Métodos de datación de sondeos lacustres y depósitos carbonatados terrestres	104
4.8.1.	Datación mediante ¹⁴ C AMS	104
4.8.2.	Elaboración de modelos de edad-profundidad	105

4.8.3. Series de U/Th en tobas fluviales.....	105
4.9. Síntesis biogeográficas a partir de bases de datos y diagramas publicados.....	108
4.9.1. Criterios de metabúsqueda y selección de datos paleobotánicos.....	109
4.9.2. Bases de la categorización de porcentajes de <i>Corylus avellana</i>	110
4.9.3. Elaboración de modelos de edad, definición de ventanas temporales (time-slides) y extracción de datos.....	111
4.9.4. Representación cartográfica.....	
Referencias.....	112
5. Results	
5.1. Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe.....	119
5.1.1. Results.....	130
5.1.1.1. The sedimentological sequence.....	133
5.1.1.2. The pollen sequence.....	
5.1.2. Discussion.....	138
5.1.2.1. Climate, vegetation and hydrological variability during the last 13.500 cal BP.....	138
5.1.2.1.1. The Last Glacial-Interglacial transition (LGIT): resilient vegetation and hydrological variability (13.540-11.270 cal BP).....	138
5.1.2.1.2. The Early Holocene: vegetation and hydrological response to marked seasonality (11.270-7.780 cal BP).....	139
5.1.2.1.3. Mixed oak woodland expansion during the Mid Holocene (7.780-5.000 cal BP).....	142
5.1.2.1.4. Increase in the aridity trend from the Mid to Late Holocene (5.000-2.530 cal BP).....	144
5.1.2.1.5. Clearance of pine woodlands during Iberian-Roman times (2.530-1.940 cal BP).....	145
5.1.2.1.6. Increased landscape management during the last 1.500 years (1.940-470 cal BP).....	147
5.1.2.2. Vegetation resilience to abrupt climate changes.....	148
References.....	154
5.2. Human-landscape interactions in the Conquezueta-Ambrona Valley (Soria, continental Iberia): from the early Neolithic land use to the origin of the current oak woodland.....	166
5.2.1. Results.....	176
5.2.1.1. Sedimentary sequence.....	176
5.2.1.2. Chronological model.....	179
5.2.1.3. Pollen sequence.....	180
5.2.1.4. Modern pollen-vegetation relationship.....	184
5.2.2. Discussion.....	186
5.2.2.1. Pre-Neolithic alluvial environment in the Conquezueta-Ambrona Valley (13.000 to 7.540 cal BP).....	186
5.2.2.2. Early Neolithic settlements, pinewoods and first traces of landscape management (7.540-6.200 cal BP, 5.590-4.250 BC).....	186
5.2.2.3. Pinewoods deforestation, landscape management and hydrological variability during the mid-late Neolithic and Chalcolithic (6.200-3.200 cal BP, 4.250-1.250 BC).....	189
5.2.2.4. Pinewoods recovery and long-term lake lowering (3.200-930 cal BP, 1.950 BC-1.020 AD).....	193
5.2.2.5. Agrarian landscape development between 930-540 cal BP (1020-1410 AD) in the Conquezueta- Ambrona Valley.....	194
5.2.2.6. A human-induced origin of the current mixed oak woodlands?.....	195
References.....	201

5.3. Palaeobotanical insights from Early-Mid Holocene fluvial tufas in the Moncayo Natural Park (N Spain): regional correlations and biogeographic implications.....	211
5.3.1. Results.....	219
5.3.1.1. Stratigraphy.....	219
5.3.1.2. Palynological results.....	222
5.3.1.3. Anthracological results.....	224
5.3.2. Discussion.....	227
5.3.2.1. Early-Mid Holocene vegetation history of the Queiles and Val tufa complexes and its regional significance.....	227
5.3.2.2. New insights about the pre-Roman presence of <i>Castanea sativa</i> in the Iberian Range.....	232
References.....	240
5.4. Chapter 4: The distribution of <i>Corylus avellana</i> L. in the Iberian Peninsula since the Last Glacial Maximum: a palaeobotanical approach.....	248
5.4.1. Ecology and distribution.....	252
5.4.2. Results.....	256
5.4.3. Discussion.....	259
5.4.3.1. Which is the role of long-term climate variability shaping the Iberian refugia of <i>C. avellana</i> ?.....	259
5.4.3.2. Divergence in the Holocene spread of <i>C. avellana</i> in the Eurosiberian vs Mediterranean Iberia: a climate-driven response.....	260
5.4.3.3. Niche stability vs long-term depletion: towards shaping the current distribution of <i>C. avellana</i> in the Iberian Peninsula.....	261
References.....	264
6. Síntesis general.....	270
6.1. La continentalidad y la aridez: factores intrínsecos a los ecosistemas Mediterráneos durante el Tardiglacial (13.500-11.700 cal BP).....	272
6.2. Variabilidad climática y estructura interna del Younger Dryas (12.900-11.700 cal BP). Conclusiones a partir de resultados paleohidrológicos regionales.....	276
6.3. Resiliencia de las comunidades Mediterráneas y déficit hidrológico durante el Holoceno Temprano (11.700-8.000 cal BP) en la Iberia continental.....	279
6.4. Óptimo Climático Holoceno (8.000-5.000 cal BP) en la Iberia Mediterránea: expansión del bosque Mediterráneo, incremento de la humedad y adaptaciones Neolíticas en el interior continental.....	284
6.5. El retorno de la aridez durante el Holoceno Tardío (post 5.000 cal BP): disminución de niveles lacustres, expansión del bosque esclerófilo y presencia de pinares en la Iberia Mediterránea.....	288
6.6. El paisaje agrario del interior continental durante el último milenio.....	291
6.7. El potencial paleobotánico, bioestratigráfico y biogeográfico de los depósitos tobáceos Cuaternarios.....	292
6.8. Nuevos resultados sobre el origen nativo del castaño (<i>Castanea sativa</i> Mill.) en la Península Ibérica.....	294
Referencias.....	296
7. Conclusiones.....	314
Contribuciones de la Tesis Doctoral.....	318
Material Suplementario 1.....	324
Material Suplementario 2.....	330

La presente Tesis Doctoral aborda la reconstrucción de la variabilidad climática rápida y su impacto en el paisaje vegetal del NE peninsular durante el Tardiglacial y el Holoceno a partir de datos multiproxy de alta resolución. Pretende discernir los mecanismos que han modulado la respuesta de los ecosistemas a partir de la correlación de secuencias sedimentológicas, geoquímicas, palinológicas y arqueobotánicas a largo de múltiples escalas espacio-temporales, siempre bajo una perspectiva global e integradora.

Se ha optado por trabajar con registros sedimentarios paleolacustres localizados en el interior continental peninsular, región que se caracteriza por ser marginal desde el punto de vista paleambiental. La primera de las secuencias estudiadas, El Cañizar de Vilarquemado (987 m s.n.m, 40°30'N; 1°18'W) se ubica en la provincia de Teruel, concretamente en la Fosa del Jiloca y caracteriza la evolución hidrológica y vegetal de manera continua y precisa, cubriendo los últimos 13.000 años de historia. Por otro lado, el registro sedimentario de la Laguna de Conquezuela (1.124 m s.n.m, 41°11'N; 2°33'W), ubicado en el Valle de Ambrona, permite definir el paisaje vegetal de una zona de gran interés arqueológico, como es la Neolitización del interior peninsular.

A pesar de que ambas secuencias se localizan en un enclave climático y biogeográfico similar, la historia de las ocupaciones humanas ha sido distinta a lo largo del tiempo, por lo que supone un marco de trabajo inimitable para indagar en

los patrones de respuesta de los ecosistemas Mediterráneos continentales ante distintos factores de cambio ambiental (dinámica natural vs impacto antrópico). A grandes rasgos, ambos registros se definen por la resiliencia de un paisaje dominado por pinares y sabinares durante prácticamente los últimos 13.500 años. Los cambios ambientales de carácter árido como el Younger Dryas o los eventos 8.200 y 4.200 cal BP, son amortiguados por las poblaciones de coníferas que parecen no responder de manera inmediata al estrés climático. Será durante el Holoceno Medio (8.000-5.000 cal BP) cuando el bosque mixto Mediterráneo se expanda y dominen los encinares y quejigares en el ámbito continental, siguiendo el establecimiento de unas condiciones climáticas más térmicas y húmedas.

Sin embargo, los proxies sedimentológicos y geoquímicos revelan una alta variabilidad hidrológica durante el Tardiglacial y el Holoceno, independientemente a los patrones de inercia que definen a los ecosistemas terrestres. La flora de higrófitas revela un cambio notable en su composición (oscilación de una comunidad de Cyperaceae-Juncaceae a una dominada por *Typha/Sparganium* junto con numerosas plantas acuáticas), señalando el incremento de la lámina de agua y por lo tanto, un balance hidrológico positivo a nivel de cuenca entre 12.200-11.700 cal BP. Esta variabilidad hidrológica parece apuntar a que la segunda fase del evento Younger Dryas fue más húmeda de lo que tradicionalmente se ha considerado, quedando bien enmarcado y en

sincronía con los nuevos datos producidos para el cuadrante NE peninsular.

Las poblaciones Neolíticas asentadas en las inmediaciones de la Laguna de Conquezueta, modificaron de manera intensiva el paisaje vegetal del entorno. Los datos palinológicos revelan una progresiva deforestación de los pinares locales, a la vez que se expanden los taxones nitrófilos y ruderales (Cichorioideae, Asteroideae, *Plantago*, *Urtica*) sinónimo de la expansión de prados y zonas de cultivo. La presencia del polen de Cerealia, junto con los datos carpológicos obtenidos a lo largo del Valle de Ambrona apuntan a que la agricultura en el interior continental estaba presente ca. 7.200 cal BP. Durante el Calcolítico incrementa la presión antrópica en el paisaje forestal.

Los resultados obtenidos en los registros lacustres han sido complementados la caracterización paleobotánica de una serie de depósitos tobáceos ubicados en las inmediaciones de los cursos fluviales de Queiles y Val, colindantes al Parque Natural del Moncayo (Soria). Presentando una cronología Holocena, la flora contenida en los edificios carbonatados señala el establecimiento de unas condiciones húmedas durante el Holoceno Medio (9.500-4.000 cal BP), siendo común encontrar diversas especies planocaducifolias como *Corylus*, *Acer*, *Ulmus* y deciduous *Quercus*, entre otros. A nivel regional se expande el bosque esclerófilo dominado por *Quercus ilex*, acompañado por *Olea*, *Pistacia* y *Rhamnus*. Este paisaje similar al obtenido en Villarquemado entre 8.000-5.000 cal BP, infiere

el establecimiento de unas condiciones térmicas y húmedas en el interior peninsular, favoreciendo el rápido desarrollo de los depósitos tobáceos a la vez que se expande la flora meso-termófila.

Además, los datos paleobotánicos obtenidos en los edificios tobáceos de los ríos Queiles y Val, han aportado nuevas evidencias sobre la distribución pretérita del tejo (*Taxus baccata*) y el castaño (*Castanea sativa*), no comunmente documentada en los diagramas polínicos y antracológicos disponibles para el Sistema Ibérico. En el caso del castaño, se ha discutido su origen nativo en el Macizo del Moncayo para las etapas previas a la colonización Romana en la región.

Por último, se ha investigado la distribución del avellano (*Corylus avellana*) a lo largo de distintas escalas temporales con el fin de conocer cuál ha sido la influencia del clima en los patrones de distribución de las poblaciones. La sensibilidad de *Corylus* ante la variabilidad climática es asincrónica entre el mundo Eurosiberiano y el Mediterráneo. En las regiones Atlánticas, las poblaciones de avellano se expanden rápidamente en respuesta al incremento térmico y esencialmente pluviométrico durante el comienzo del Holoceno (11.700-8.000 cal BP), a diferencia del mundo continental donde aparece representado de manera esporádica. En las regiones Mediterráneas, será durante el Holoceno Medio (8.000-5.000 cal BP) cuando el avellano abarque su máxima distribución. Durante el Holoceno Tardío (post 5.000 cal BP) en cambio,

el incremento de la aridez modulará la distribución de *Corylus*, dando lugar a la distribución que tenemos en la actualidad.

La presente Tesis Doctoral ha arrojado nuevas evidencias sobre la dinámica vegetal durante el Holoceno en una región pobre contextualizada paleoclimáticamente. Las nuevas secuencias publicadas han servido para delimitar bioestratigráficamente la historia de los ecosistemas terrestres durante los últimos 13.500 años, trabajo que sin duda servirá de comparación con otros depósitos localizados en un ambiente bioclimático similar. Se ha avanzado en el conocimiento sobre el rol humano en el modelado del paisaje vegetal gracias a la incorporación y combinación de los datos arqueológicos y arqueobotánicos junto con los estudios paleolacustres. Además de ello, se han obtenido nuevos perfiles polínicos y resultados antracológicos de diversos perfiles tobáceos, datos que sin duda serán indispensables a la hora de hacer síntesis biogeográficas a diversas escalas espacio-temporales.

The present PhD Thesis focuses on the impact of rapid climate variability on the vegetation landscape of NE Iberia during the Lateglacial and the Holocene based on high-resolution multiproxy data. Aims to discern the drivers that have shaped the response of ecosystems, correlating different sedimentological, geochemical, palynological and archaeobotanical sequences, always under a global and integrative perspective.

It was decided to work with sedimentary records obtained from different palaeolakes located in continental Iberia, a region which is defined for being marginal from a palaeoenvironmental point of view. The first studied record, El Cañizar de Villarquemado (Villarquemado (987 m a.s.l., 40°30'N; 1°18'W), is located in the province of Teruel, concretely in the Jiloca Basin and allow to characterize the hydrological and vegetation dynamics during the last 13.000 years. The second sedimentary record obtained from Laguna de Conquezueta (1.124 m a.s.l., 41°11'N; 2°33'W) situated in the Ambrona Valley, allows to define the vegetation landscape of one of the most important Neolithic enclaves in inner Iberia.

Despite both sequences are located in a similar climatic and biogeographic context, the history of human occupations in the lake surroundings has been unequal, enabling a perfect framework to disentangle the responses of Mediterranean ecosystems to different forcings (natural dynamic vs anthropogenic impact). Generally speaking, both records are defined by the resilience of pinewoods and juniper communities

during practically the last 13.500 years. Environmental changes defined for being arid like the Younger Dryas, the 8.200 or the 4.200 cal BP events, are buffered by conifer populations without any clear response to the increased climatic stress. It will be in the Mid Holocene (8.000-5.000 cal BP) when the mixed Mediterranean forest was expanded being dominated by evergreen oaks in the continental realm, following the onset of warm and moist climate conditions.

Nevertheless, sedimentological and geochemical proxies reveal a high hydrological variability during the Lateglacial and the Holocene, independently to the patterns of resilience that predominate in the terrestrial environment. The higo-hydrophyte flora reveals a noticeable change in its composition (an oscillation from a community dominated by Cyperaceae-Juncaceae towards a *Typha/Sparganium* one), inferring an increase in the water table and thus, the establishment of a positive hydrological balance in the basin between 12.200-11.700 cal BP. This hydrological variability seeks to show that the second phase of the Younger Dryas event was moister than traditionally has been thought, being well-encompassed with the new data obtained in NE Iberia.

The Neolithic populations located in the Conquezueta palaeolake surroundings, modified the local vegetation landscape. The palynological results reveal a progressive deforestation of the pinewoods, parallel to the spread of nitrophilous

and ruderal taxa (Cichorioideae, Asteroideae, *Plantago*, *Urtica*, among others) showing the expansion of pastures and cultivated areas. The presence of *Cerealia* pollen, together with the carpological data coming from the Ambrona Valley, points out that the agriculture was present in continental Iberia at ca. 7.200 cal BP. During the Chalcolithic the anthropogenic pressure increases in the nearby forested landscape.

The results obtained in the lacustrine records have been complemented with the palaeobotanical characterization of many tufaceous deposits located in the Queiles and Val river valleys, next to the Parque Natural del Moncayo (Soria). Showing a Holocene chronology, the macrofloral assemblage present in the tufa build-ups highlights the establishment of humid conditions during the Mid Holocene (9.500-5.000 cal BP), being defined by different deciduous species such as *Corylus*, *Acer*, *Ulmus*, deciduous *Quercus*, among others. Regionally, the Mediterranean woodland dominated by *Quercus ilex* along with *Olea*, *Pistacia* and *Rhamnus*, spread. This landscape, similar to those recorded in Villarquemado between 8.000-5.000 cal BP, suggests the establishment of thermal and humid climate conditions in inland Iberia, favoring the rapid development of tufa build-ups.

Besides the palaeobotanical data obtained from the different tufa deposits, have provided new evidences about the past distribution of yew (*Taxus baccata*) and chestnut (*Castanea sativa*),

not commonly traced in the pollen and anthracological diagrams available for the Iberian Range. In the case of chestnut, it has been addressed its autochthonous origin to the Moncayo Massif prior to the onset of the Roman culture in the region.

At last, the distribution of hazelnut (*Corylus avellana*) at Iberian-scale has been investigated in different temporal scales, in order to understand the influence of climate in the patterns of population distributions. The sensitivity of *Corylus* towards climate variability is asynchronous between the Eurosiberian and Mediterranean realms. In the Atlantic regions hazelnut populations rapidly expanded in response to the increase in temperatures and rainfall during the Early Holocene (11.700-8.000 cal BP), differently from the continental areas where its presence was sporadic. In Mediterranean environments, it will be in the Mid Holocene (8.000-5.000 cal BP) when the hazelnut will show its maximum distribution. During the Late Holocene (post 5.000 cal BP), the increase in arid conditions shapes the current *Corylus* distribution.

The present PhD Thesis has studied the vegetation dynamics during the Holocene in a region poorly contextualized palaeoclimatically. The new pollen profiles have served to correlate biostratigraphically Mediterranean sequences for the last 13.500 years, not only at Iberian-scale but Mediterranean Basin. Progress has been made in the role of human activities shaping the vegetation landscape since prehistoric times,

thanks to the combination and incorporation of archaeological, archaeobotanical and palaeolacustrine records. In spite of, new pollen profiles and anthracological results have been obtained from tufa build-ups, data that indeed will be indispensable when making biogeographical synthesis in different spatio-temporal scales.

La presente Tesi di Dottorato riguarda la ricostruzione della variabilità del clima a breve scala temporale e il suo impatto sulla vegetazione del settore nord-orientale della Penisola Iberica nel tardoglaciale e Olocene, sulla base di dati multidisciplinari ad alta risoluzione. La Tesi è volta a discernere i meccanismi che hanno modulato la risposta degli ecosistemi, a partire dalla correlazione di sequenze sedimentologiche, geochimiche, palinologiche e archeobotaniche su diverse scale spazio-temporali, con un costante riferimento ad una prospettiva globale e integrata.

Si è scelto di lavorare con sequenze sedimentarie paleolacustri situate nella regione interna continentale della Penisola Iberica, che si configura come marginale dal punto di vista paleoambientale. La prima sequenza studiata, El Cañizar di Vilarquemado (987 m s.l.m., 40°30'N; 1°18'O) nella provincia di Teruel, in particolare nella Fosa del Jiloca, caratterizza l'evoluzione idrologica e vegetazionale degli ultimi 13.000 anni con continuità e precisione. La seconda sequenza sedimentaria analizzata, dalla Laguna de Conquezueta (1.124 m s.l.m., 41°11'N; 2°33'W) nella Valle di Ambrona, consente di definire il paesaggio vegetale in un ambiente di grande interesse archeologico, nel quadro della Neolitizzazione della Penisola Iberica.

Nonostante le due sequenze si trovino in contesti climatici e biogeografici simili, la loro storia di occupazione umana è stata molto

diversa nel corso del tempo. Questa diversità costituisce un'eccellente opportunità per indagare la differente risposta degli ecosistemi mediterranei continentali a vari fattori di cambiamento ambientale (dinamiche naturali e impatto antropico). In generale, entrambe le sequenze sono caratterizzate dalla resilienza di un paesaggio dominato da pini e ginepri negli ultimi 13.500 anni. I cambiamenti ambientali a carattere arido, come il Younger Dryas o gli eventi di 8.200 e 4.200 cal BP, sono ammortizzati dalle popolazioni di conifere, che non sembrano rispondere immediatamente agli stress climatici. Il vero cambiamento avviene durante l'Olocene Medio (8.000-5.000 cal BP), quando in ambiente continentale si espande il bosco misto mediterraneo a dominanza di leccio e *Quercus faginea*, in seguito allo stabilirsi di condizioni climatiche più calde e umide.

Durante il Tardoglaciale e l'Olocene, i dati sedimentologici e geochimici rivelano un'elevata variabilità idrologica, indipendentemente dall'inerzia mostrata dagli ecosistemi terrestri. La flora igrofila mostra un notevole cambiamento di composizione (da una comunità di Cyperaceae-Juncaceae ad una comunità dominata da *Typha/Sparganium* con numerose piante acquatiche), in relazione all'aumento del livello dell'acqua nel bacino, e quindi a un bilancio idrologico positivo, tra 12.200 a 11.700 cal BP. Questa variabilità idrologica sembra indicare che la seconda fase del Younger Dryas sia stata più umida di quanto non si ritenga comunemente, in linea con i nuovi dati ottenuti

dalle ricerche nel quadrante NE della Penisola Iberica.

Le popolazioni Neolitiche che si stabilirono nei pressi della Laguna de Conquezueta modificarono intensamente il paesaggio vegetale circostante. I dati palinologici mostrano un progressivo disboscamento delle pinete locali, a favore dell'espansione di taxa nitrofilie e ruderali (Cichorioideae, Asteroideae, *Plantago*, *Urtica*) che indicano la presenza di pascoli e terreni agricoli. Il ritrovamento di polline di cereali, insieme ai dati carpologici ottenuti lungo la Valle di Ambrona, suggeriscono che nella regione interna continentale della Penisola Iberica l'agricoltura fosse praticata già ca. 7.200 cal BP. Nel Calcolitico la pressione umana sul paesaggio forestale è ulteriormente aumentata.

I risultati ottenuti dai sedimenti lacustri sono stati integrati dalla caratterizzazione paleobotanica di una serie di depositi tufacei situati in prossimità dei corsi d'acqua di Val e Queiles, presso il Parco Naturale di Moncayo (Soria). La flora contenuta negli edifici carbonatici, di età Olocenica, registra l'instaurarsi di condizioni climatiche umide durante l'Olocene Medio (9.500-4.000 cal BP), come indicato da numerose specie di latifoglie decidue, come *Corylus*, *Acer*, *Ulmus* e *Quercus* gr. caducifoglie. A livello regionale si espande una foresta di sclerofille dominata da *Quercus ilex*, accompagnato da *Olea*, *Pistacia* e *Rhamnus*. Questo paesaggio, simile a quello registrato a Villarquemado nell'intervallo 8.000-5.000 cal BP, indica condizioni caldo-umide nell'interno della

penisola, che hanno favorito il rapido sviluppo dei depositi tufacei contemporaneamente alla espansione della flora meso-termofila.

Inoltre, i dati paleobotanici ottenuti negli edifici tufacei dei fiumi Queiles e Val hanno fornito nuove prove sulla distribuzione passata di tasso (*Taxus baccata*) e castagno (*Castanea sativa*), normalmente non documentate nei diagrammi pollinici e antracologici disponibili per il Sistema Iberico. Nel caso del castagno, si è discussa la sua naturalità nel Massiccio del Moncayo in epoche precedenti la colonizzazione Romana nella regione.

Infine, si è studiata la distribuzione del nocciòlo (*Corylus avellana*) su varie scale temporali, al fine di valutare l'influenza del clima sulla distribuzione delle sue popolazioni Iberiche. La sensibilità di *Corylus* alla variabilità del clima è asincrona tra il dominio biogeografico Eurosiberiano e quello Mediterraneo. Nelle regioni Atlantiche, le popolazioni di nocciòlo si espandono rapidamente in risposta all'aumento di temperatura e precipitazioni dell'inizio dell'Olocene (11.700-8.000 cal BP), a differenza delle regioni continentali nelle quali *Corylus* è presente solo sporadicamente. Nelle regioni Mediterranee il nocciòlo si espande soprattutto nell'Olocene Medio (8.000-5.000 cal BP). Infine, l'aumento di aridità che si è verificato nell'Olocene Finale (post 5.000 cal BP) ha modellato la distribuzione di *Corylus* fino alla distribuzione attuale.

La presente Tesi di Dottorato ha fornito nuovi dati sulla dinamica della vegetazione Olocenica in una regione poco studiata dal punto di vista paleoclimatico. Le nuove sequenze, pubblicate con approccio multidisciplinare, hanno potuto delineare biogeograficamente la storia degli ecosistemi terrestri nel corso degli ultimi 13.500 anni, lavoro che certamente costituirà un punto di riferimento per i numerosi depositi analoghi situati in ambienti bioclimaticamente simili. Sono stati compiuti progressi nella comprensione del ruolo dell'attività umana nel modellare il paesaggio vegetale, grazie all'integrazione e alla combinazione di dati archeologici e archeobotanici con le indagini eseguite su sedimenti lacustri. Inoltre, si sono ottenute nuove sequenze polliniche e dati antracologici da vari depositi tufacei. Questi dati sicuramente si dimostreranno indispensabili in lavori di sintesi e in ricostruzioni biogeografiche a varie scale spaziali e temporali.

1

Introducción

1.1. Forzamientos climáticos a escala Cuaternaria: de los Ciclos de Milankovitch a las oscilaciones decadales

Desentrañar los factores que han modulado las oscilaciones del clima así como la respuesta de los ecosistemas a lo largo de los últimos 2.6 millones de años de nuestro planeta Tierra, ha sido y es una de las principales líneas de estudio dentro las ciencias paleoclimáticas. A día de hoy son numerosas las teorías e hipótesis que se barajan a la hora de explicar los factores de cambio ambiental, bien asociados a variables extraterrestres o bien vinculadas a autoajustes del sistema terrestre. Uno de los principales mecanismos explicativos de la variabilidad climática a escala Cuaternaria fue postulado por Milutin Milankovitch a principios del siglo XX. De acuerdo con su teoría, las variaciones estacionales y latitudinales en el input de radiación solar asociado a cambios en la geometría orbital del Sol y la Tierra, determinan a *grosso modo* las variaciones climáticas ocurridas a lo largo de la historia del planeta (Milankovitch, 1920). Estos cambios geométricos provocados por la influencia magnética de otros astros, altera de manera cíclica, tres mecanismos claves para conocer el clima del pasado: 1) la excentricidad orbital con una periodicidad de 100.000 años; 2) la oblicuidad del eje de rotación mostrando una frecuencia de 41.000 años, y por último, 3) la precesión de los equinoccios con una ciclicidad de 22.000 años (Milankovitch, 1920; <http://www.detectingdesign.com/milankovitch.html>) (Figura 1.1).

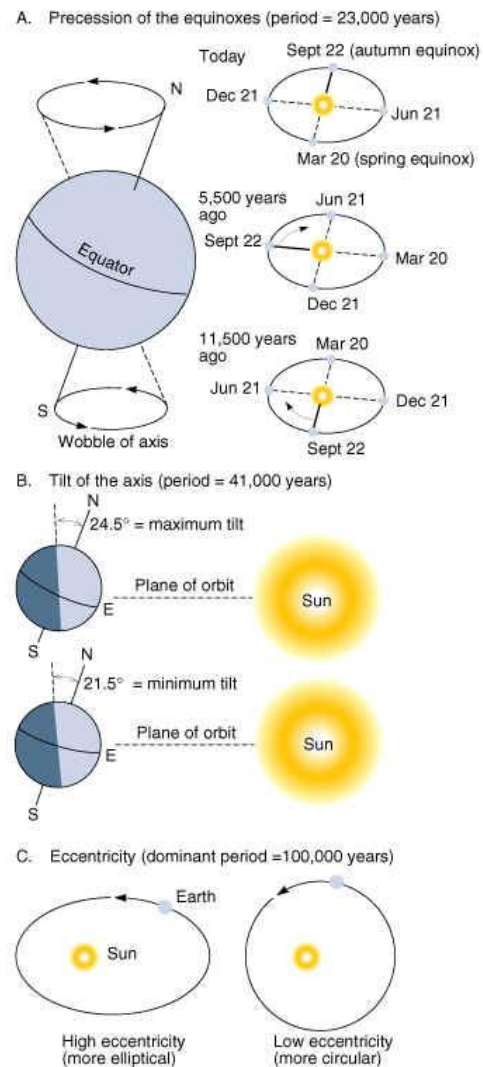


Figura 1.1. Representación gráfica de los tres Ciclos de Milankovitch (Milankovitch, 1920; <http://www.detectingdesign.com/milankovitch.html>).

Precesión de los equinoccios (A), la oblicuidad del eje (B) y la excentricidad orbital (C).

Durante muchas décadas, los Ciclos de Milankovitch fueron el modelo explicativo de la entrada y salida de las grandes glaciaciones (Berger, 1988). La disminución del input

energético extraterrestre, sobretodo en la estación estival, se traducía en la expansión de la cubierta de hielo y nieve, incremento del albedo planetario y regresión del nivel del mar, entrando en una fase de retroalimentación positiva que favorecía la persistencia de condiciones glaciales durante largos periodos de tiempo. Como los ciclos se alternaban, durante los periodos cálidos la fusión de los casquetes polares producía un rápido incremento del nivel del mar, así como la re-estructuración de las corrientes oceánicas favoreciendo el establecimiento de unas condiciones templadas incluso en latitudes boreales (Davis y Shaw, 2001; Seppä et al., 2009; Williams et al., 2011). No obstante, y ya con las nuevas técnicas oceanográficas aplicadas a testigos marinos a lo largo de la década de los 80, se avanzó notablemente en la investigación paleoclimática (Martinson et al., 1987; Tzedakis et al., 1997).

Se establecieron las bases de la geoquímica isotópica como indicador climático, siendo la relación entre $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ una de las variables más utilizadas incluso en la actualidad. Asumiendo que el isótopo ligero del oxígeno (^{16}O) se acumula antes que su variante ^{18}O , las diferencias observadas en distintos testigos de hielo sirvieron para estimar la evolución del manto de hielo acumulado, infiriendo así la variabilidad hidrológica y la temperatura. De este modo, fue posible determinar la expansión y contracción de los casquetes de hielo, al menos, para los últimos 250.000 años (Dansgaard et al., 1993; Deplazes et al., 2013) Para el Último Ciclo Glacial se expandieron al

menos dos grandes masas de hielo en el Hemisferio Norte, el Laurentiano en Norteamérica y el Finoscandinavo (Figura 1.2) en Eurasia, mientras que de media global, los océanos retrocedieron 120 metros durante el Último Máximo Glacial (LGM) (Yokoyama et al., 2000; Siddall et al., 2003). Se produjo una disminución abrupta de la corriente termohalina, reduciendo la transferencia energética entre océano-atmosfera de manera inmediata. Los bosques templados, al igual que la fauna, desaparecieron o quedaron acantonados en pequeños refugios (Willis et al., 2000; Willis y Van Andel, 2004; Parducci et al., 2012), dando lugar a un paisaje estépico prácticamente en toda Europa continental.

Con una duración menor que las grandes fases glaciares previamente citadas, la progresiva recuperación de los ecosistemas que caracteriza la cronología comprendida entre 16.000-11.700 cal BP (Blockley et al., 2012), sufre una serie de retrocesos debido a pulsos climáticos áridos, que nuevamente tienen su origen en la intrusión de agua dulce en los mares del norte. El Oldest Dryas (o Heinrich Event 1, Clark et al., 2001) junto con el Mystery Interval (Williams et al., 2012) y el más famoso de ellos, el Younger Dryas (Broecker et al., 1989; Li y Piper, 2015) son los clásicos eventos milenarios que se citan ampliamente en la literatura. La progresiva retirada de los hielos en el Hemisferio Norte debido a cambios en los parametros orbitales, favoreció la acumulación de grandes cantidades de agua dulce en enormes reservorios lacustres (Hanebuth et al., 2000; Lowell et al., 2005; Condron y Winsor,

1. Introducción

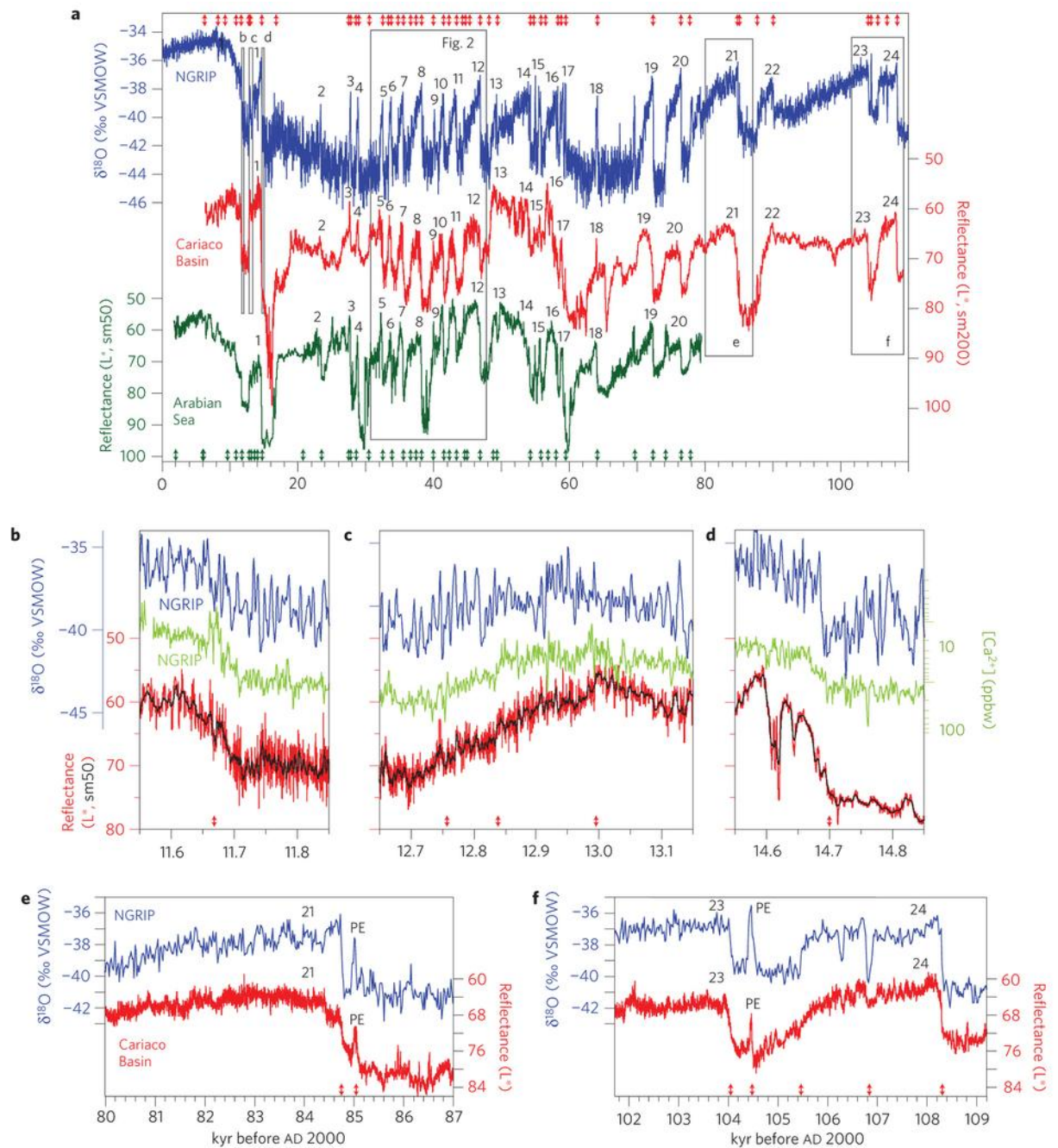
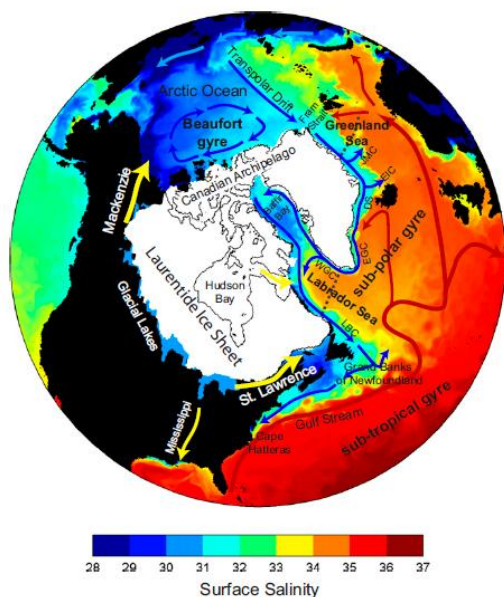


Figura 1.2. Variabilidad climática durante el Último Ciclo Glacial reconstruido mediante proxies geoquímicos, geofísicos e isotópicos aplicados a sondeos de hielo (NGRIP, en azul) y testigos marinos (Cuenca del Cariaco, en rojo; Mar de Arabia, en verde) (Deplazes et al., 2013).

2012), cuya fusión desencadenó una serie de retroalimentaciones y reajustes del sistema climático terrestre (Mikolajewicz et al., 1997; Zhou et al., 2015) (Figura 1.3). La Corriente del Golfo se ralentiza por completo y cesa el aporte de calor y humedad que brindaba a la Europa occidental en cuestión de décadas (Lane et al., 2013; Bartolomé et al., 2015). Se expanden una vez más los casquetes a la par que el paisaje estepico hace acto de presencia a escala continental, dejando una señal clara en la biostratigrafía Tardiglacial.

Existen otra serie de mecanismos que alteran el clima del planeta de manera notoria. Uno de los más remarcables son las erupciones volcánicas, a pesar de que sus repercusiones en el clima, han sido infravaloradas hasta hace bien poco, especialmente al elaborar modelos y simulaciones climáticas. Los gases y aerosoles

Figura 1.3. Mecanismo explicativo del Younger Dryas mediante la entrada masiva de agua dulce en la zona de formación de agua profunda (NADW), provocando la ralentización de la corriente termohalina.



sulfatados provenientes de diversas erupciones tienen el potencial de alterar el clima del planeta mediante un enfriamiento radiativo, ya que los aerosoles emitidos tienden a reflejar la luz solar y, por lo tanto, a enfriar la superficie terrestre.

Las reconstrucciones históricas realizadas para los últimos 2.500 años (Sigl et al., 2015), señalan que diversas erupciones han tenido grandes repercusiones, tanto a escala ambiental como social. Uno de los ejemplos más citados en la literatura paleoambiental es la erupción de volcán Thera, en Santorini (Friedrich et al., 2006). El enfriamiento producido por las miles de toneladas de aerosoles emitidos a la atmósfera fue registrado en los sondeos de hielo procedentes de Groenlandia (Clausen et al., 1997), además de que diversos registros dendrocronológicos verifican una disminución vegetativa en el verano de 1.628 BC (Baillie y Munro, 1988; Pearson et al., 2009). La erupción del Thera fue además uno de los detonantes de la caída de la civilización Minoica según la arqueología clásica (Bruins et al., 2008).

Para los últimos 1000 años se conoce a ciencia cierta la magnitud e impacto de numerosos eventos volcánicos, algunos de ellos de gran envergadura como la erupción del Huaynaputina en 1601, Tambora en 1815, Krakatoa en 1883 o Pinatubo en 1991 (Sigl et al., 2015) (Figura 1.4). Todos ellos modificaron, de manera directa, el

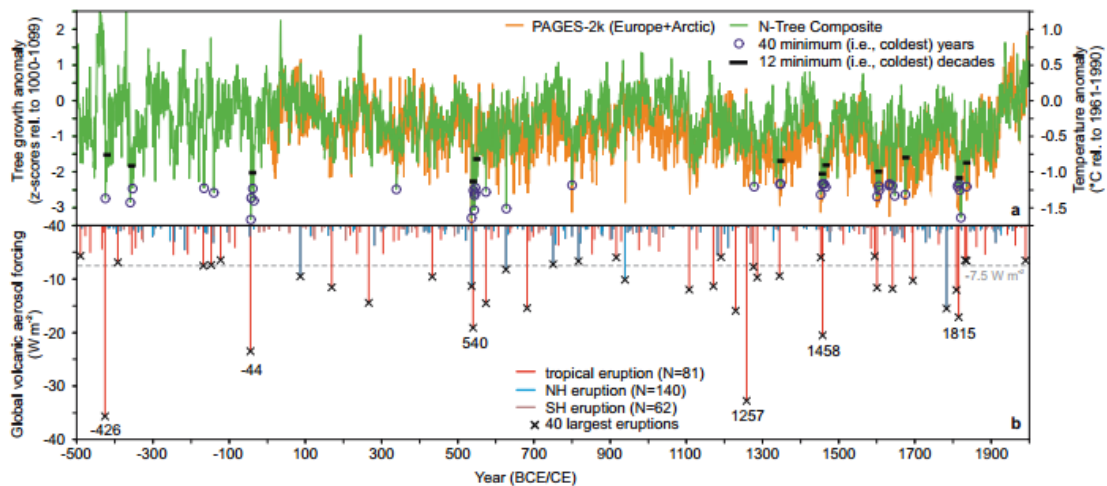


Figura 1.4: Anomalía en el crecimiento de los anillos de árboles (arriba) y su vinculación con las erupciones volcánicas para los últimos los últimos milenios (abajo) (Sigl et al., 2015). Se señalan las erupciones volcánicas de mayor envergadura con impactos con consecuencias climáticas a nivel planetario.

clima planetario (Mann et al., 2005) (Figura 1.4), identificados mediante estudios geoquímicos y marcadores mineralógicos en distintos depósitos de hielo (Clausen et al., 1997), además de ser excelentes indicadores cronológicos (Lane et al., 2012; Blockley et al., 2014).

Las oscilaciones climáticas de los últimos 1.000 años han estado en gran medida explicadas a partir de la variación de la actividad solar (Swingedouw et al., 2011). Gracias a las observaciones de astrónomos europeos y la recopilación de textos antiguos (Pang y Yau, 2002), se dispone de un registro del número de manchas solares observadas desde, al menos, el año 1.600 de nuestra era (Miyahara et al., 2010) (Figura 1.5). Estas manchas son, en definitiva, núcleos oscuros (umbra) de la fotosfera con cientos de grados inferiores al resto del cuerpo solar, por lo que emiten menos

radiación, excepto en su parte externa (penumbra), que es visiblemente más radiante. Existe una relación lineal entre el número de manchas solares que aparecen y la energía emitida por el sol, y por lo tanto, recibida por nuestro planeta.

Durante la Edad Media, entre los años 1.100-1.250 AD, se produjo un periodo de alta actividad solar denominado Medieval Solar Maximum (Jirikowic y Damon, 1994). Varios autores han relacionado el incremento de las temperaturas producido durante la conocida como Medieval Climate Anomaly (MCA) con una fase de incremento de manchas, seguida de periodos de baja actividad denominados el Mínimo de Wolf (1.300 AD), el Mínimo de Sporer (1500 AD), el Mínimo de Maunder (1.645-1.715 AD) y, por último, el Mínimo de Dalton (1.795-1.825 AD) (Shindell et al., 2001) (Figura 1.5). De

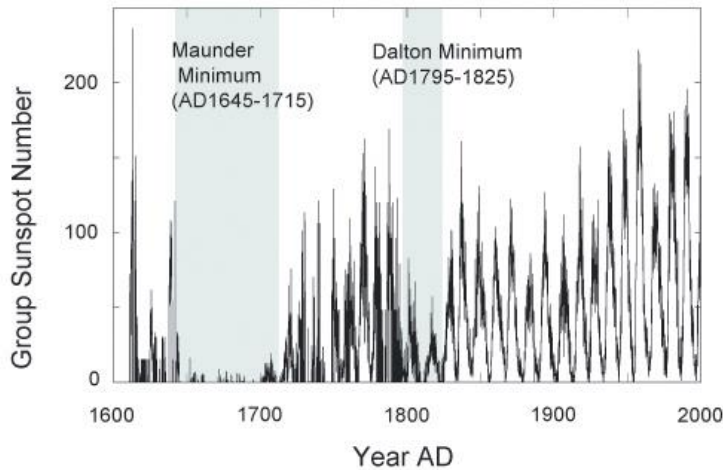


Figura 1.5. Variabilidad en el número de manchas solares durante los últimos 500 años (Miyahara et al., 2010). Se señalan el Mínimo de Maunder (1.645-1.715 AD) y el Mínimo de Dalton (1.795-1.825 AD).

los periodos señalados, el Mínimo de Maunder ha llamado más la atención a la comunidad científica. Se sabe por datos históricos que los inviernos fueron muy crudos en la Europa continental, llegando a congelarse en su totalidad varios ríos de gran caudal como son el Támesis o el Ebro (Diodato y Bellocchi, 2012). Los modelos arrojan una disminución de 3.5 Wm^{-2} (0.24%) en la actividad solar, lo que se traduce de media, en un enfriamiento climático de entre 0.2 y 0.6°C , llegando a 1 ó incluso 2°C a escala regional en Europa septentrional (Lean et al., 1995). La crudeza del clima afectó a las cosechas a escala continental, aumentando la mortalidad y la expansión de epidemias (Appleby, 1986).

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO), también se considera uno de los principales mecanismos atmosféricos que modulan las características climáticas globales a escala anual. La base física del comportamiento variable de la NAO, parte de la diferencia existente en el gradiente de presiones entre las latitudes altas

(Islandia, predominio de bajas presiones) y bajas (Azores, altas presiones), afectando directamente a la deriva de los vientos del oeste (westerlies) hacia Europa continental (Hurrell, 1995). Cuando predominan las altas presiones en ambos polos del gradiente durante los meses invernales (DEF), este se fortalece y se entra en un fase denominada NAO^+ (Figura 1.6). Las consecuencias climáticas son evidentes a nivel térmico a escala continental peninsular (Prieto et al., 2004), así como en la variabilidad pluviométrica (López-Moreno y Vicente-Serrano, 2008; Vicente-Serrano et al., 2008), en su intensidad (Queralt et al., 2009) y en la respuesta de los caudales hidrológicos (Lorenzo-Lacruz et al., 2011; Morán-Tejeda et al., 2011). A pesar de que existe controversia acerca de una posible ciclicidad en la NAO (Polyakov y Johnson, 2000), hasta ahora no hay indicios claros de cuáles son los mecanismos explicativos de su variación en una escala temporal larga. Varios autores relacionan las oscilaciones estacionales de la NAO con cambios en la modulación del ciclo solar (Kodera, 2002; Ogi et al., 2003). La evolución del índice de la NAO establecida para el último

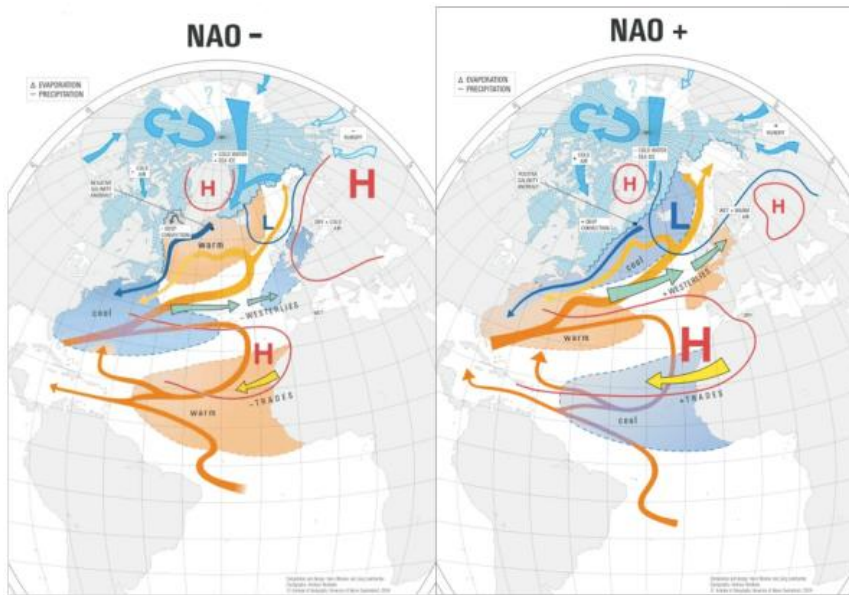


Figura 1.6. Mecanismo atmosférico explicativo de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y su influencia en el clima interanual del Hemisferio Norte.

siglo revela un incremento de la fase positiva entre 1.965-1.990. Durante este periodo, la diferencia de presiones es alta, es decir, persisten altas presiones y estabilidad al sur de Europa, mientras que incrementa el flujo zonal de los vientos del oeste en latitudes altas. Estos grandes bloqueos de presión han podido resultar persistentes durante escalas de tiempo largas (e.g. varios siglos), dando lugar a periodos como la Anomalía Climática Medieval o MCA y la Pequeña Edad del Hielo o LIA, tal y como se ha demostrado tanto a escala europea (Trouet et al, 2009; Luoto y Helama, 2010), como para la Cuenca Mediterránea (Roberts et al, 2012) o incluso a nivel peninsular (Moreno et al, 2012). Se hablará más en detalle de la variabilidad y consecuencias ambientales de la NAO en los siguientes apartados.

Existen muchas otras teleconexiones climáticas que, sin duda, alteran las condiciones climáticas planetarias. Entre ellas, y afectando

específicamente a la Península Ibérica, se encuentra el Índice de Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMOi) (Martín-Vide y López-Bustins, 2006; López-Bustins et al., 2008). Con un funcionamiento similar al de la NAO, este índice registra el gradiente de presión entre Padova y el Golfo de Cádiz, relacionando la precipitación en Levante, y en general el este peninsular (Moreno et al., 2014a), con fases de mayor o menor influencia del Anticiclón de las Azores o la baja de Liguria (Martín-Vide y López-Bustins, 2006). Además de ello, es imposible no nombrar el fenómeno de El Niño y su antifase La Niña (Brönnimann et al., 2007), la Oscilación Mediterránea (Roberts et al., 2011a), o la Oscilación del Ártico (Rimbu et al., 2003), entre otros.

1.2. La aportación de la palaeociencias al Cambio Global Actual

Resulta imprescindible concluir el capítulo de forzamientos climáticos dedicando un pequeño apartado a los gases de efecto invernadero, factor responsable del Cambio Global Actual (Solomon et al, 2009). El incremento de la emisión de CO₂ hasta alcanzar los valores de 404.08 ppm, Abril de 2016, según el observatorio de Mauna Loa (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>) (Figura 1.7), ha saltado las alarmas no sólo en la comunidad científica, sino también en la esfera social (Bord et al., 2000). Son y serán números los trabajos enfocados en esta pionera línea de investigación que intenta centrarse, por lo menos en el ámbito de las ciencias de la tierra y la biogeografía, en predecir la variabilidad pluviométrica y el aumento térmico así como la respuesta de los ecosistemas. Las áreas circum-Mediterráneas, hotspot de biodiversidad (Médail y Quézel, 1999) son especialmente vulnerables ante el incremento de la aridez (Diffenbaugh et al., 2007), invasiones biológicas (Gritti et al., 2006), así como la presión humana (Falcucci et al., 2007). Por ello, conocer su dinámica natural debe de ser primordial, imposible de alcanzar si se limita a analizar únicamente series temporales de alcance anual o decenal.

En este sentido, las secuencias paleoambientales y en especial los datos paleobotánicos, pueden arrojar información de gran utilidad acerca de cómo distintos ecosistemas han modulado su respuesta frente

a distintos cambios de origen climático (Seddon et al., 2014). Los datos de flora fósil han servido para trazar la distribución de especies en el pasado, información que puede utilizarse para conocer el dinamismo de las especies en la actualidad. De este modo, taxones que han visto reducido su nicho de distribución en la historia ambiental reciente, pueden ser objeto

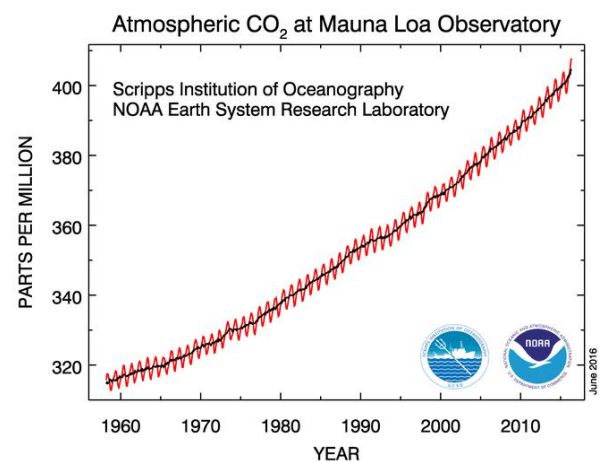


Figura 1.7. Tendencia del CO₂ atmosférico para los últimos 60 años medido en el observatorio de Mauna Loa, Hawái (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>).

de una exitosa política de conservación, promoviendo distintas prácticas de gestión ambiental (Willis et al., 2007; Froyd y Willis, 2008). No obstante, a pesar del desarrollo en las áreas de simulación y modelización climática, así como la integración de distintos proxies en las reconstrucciones ambientales, la aportación de la paleoecología a la ecología moderna ha sido poco considerada, siendo una

1. Introducción

de las cuestiones a avanzar en las líneas futuras. Basándose en el principio del actualismo, la paleoecología ofrece la visión a larga escala de la plasticidad de los ecosistemas y su respuesta a los cambios externos bien estén vinculados a oscilaciones naturales o antrópicas.

1.3. Variabilidad climática a escala milenaria durante el Tardiglacial y Holoceno en la Península Ibérica

La retirada de los grandes hielos tras la última fase fría, adquiere especial relevancia no sólo por los cambios climáticos e impactos en los ecosistemas terrestres y acuáticos que responden rápidamente, sino también por las reorganizaciones culturales que ampliamente han sido reconocidas a escala europea (Lowe y Hoek, 2001; Aura et al., 2011; Straus, 2011; Utrilla et al., 2012; Moreno et al., 2014). Supone la entrada en una nueva fase climática, definido por el progresivo desarrollo forestal, expansión de fauna y el modelado geomorfológico característico de las etapas interglaciares (subida del nivel del mar, denudación glacial, reactivación fluvial) culminando en el paisaje actual, en el que el rol humano resulta ser el principal agente de cambio. Existen numerosas escuelas que abogan por una nueva etapa en la estratigrafía Cuaternaria denominada Antropoceno (Smith y Zeder, 2013; Corlett, 2015; Zalasiewicz et al., 2015), de moda también entre diversas editoriales científicas con revistas como *The Anthropocene* o *The Anthropocene Review*. No obstante, *¿es posible precisar en la estratigrafía global el inicio de las prácticas humanas? ¿Y si es así, a qué cronología se remonta dicha evidencia?*

1.3.1. Sincronías y divergencias en la respuesta de los ecosistemas a la transición climática Tardiglacial/Holoceno

Tal y como se ha expuesto previamente, el último pulso frío del Pleistoceno, el Younger

Dryas, se define por ser una fase fría y árida con consecuencias claras en la paleohidrología (Moreno et al., 2010; Bartolomé et al., 2015; García-Ruiz et al., 2016), flora (Peñalba et al., 1997; Muñoz-Sobrino et al., 2013, Iriarte-Chiapusso et al., 2016) y fauna (Sommer et al., 2014) peninsular (Figura 1.8). No obstante, el impacto ambiental del evento muestra una marcada estructura espacial, con una contrastada respuesta ambiental que difiere entre la vertiente Atlántica o Eurosiberiana y el ámbito Mediterráneo (Carrion et al., 2010a). A pesar de que se han publicado numerosas secuencias, algunas de ellas cronológicamente bien delimitadas, el alcance e impacto del evento así como las causas de la sensibilidad inter-regional ante perturbaciones climáticas, no han sido profundizadas en detalle, quedando un nicho de investigación por explotar a día de hoy.

En la actualidad, el mundo Eurosiberiano Ibérico, caracterizado climáticamente por tener abundantes precipitaciones durante todo el año y temperaturas suaves a consecuencia de la influencia directa del Mar Cantábrico, alberga una flora bien adaptada a condiciones de humedad siendo común encontrar los bosques mixtos caducifolios prácticamente desde el nivel del mar hasta los 1.600 metros de altitud (Blanco-Castro et al., 1997). Apenas existe sequía estival o por lo menos su efecto no es tan acusado como en la zona Mediterránea. Las secuencias polínicas que cubren este intervalo temporal (transición Pleistoceno/Holoceno)

1. Introducción

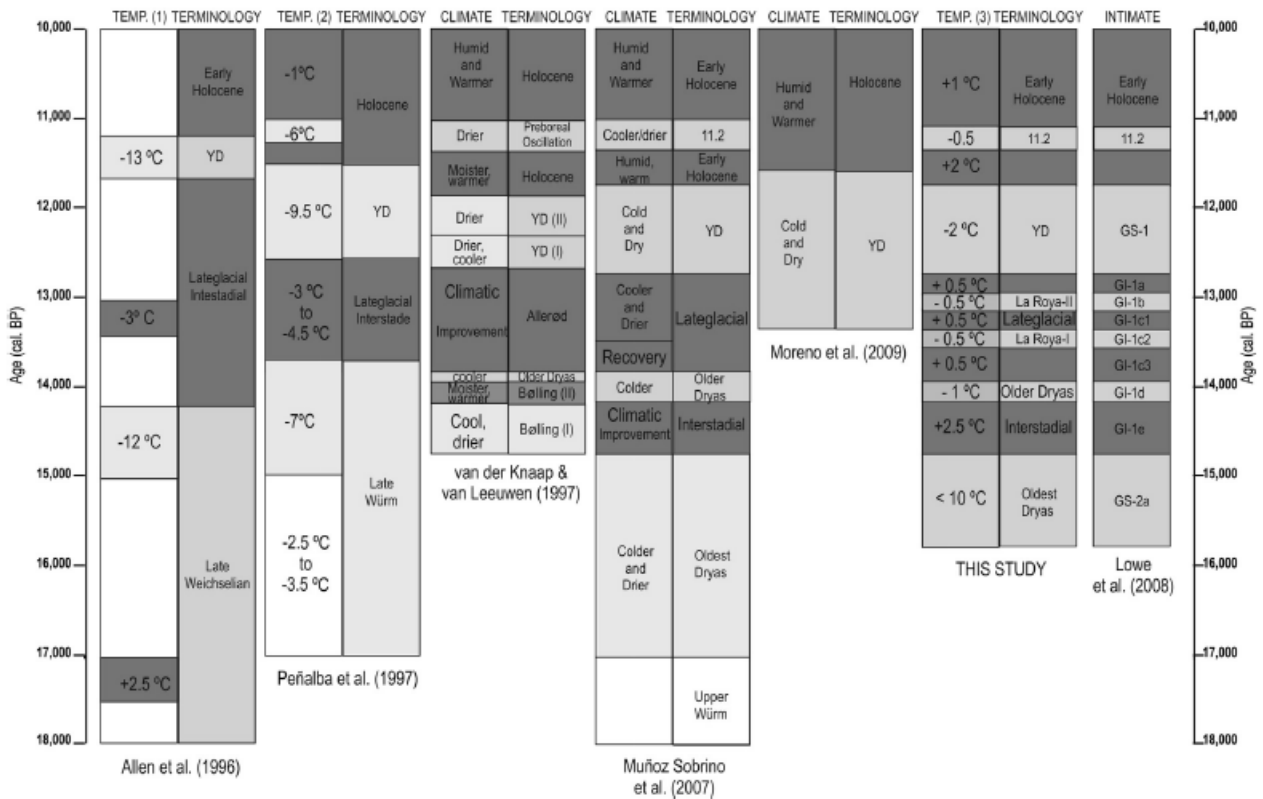


Figura 1.8. Dinámica del clima en el NO peninsular durante la última fase del Máximo Glacial y el Tardiglacial a partir de Muñoz-Sobrino et al. (2013). El Younger Dryas ha dejado una impronta clara en la bioestratigrafía de los registros polínicos estudiados.

ubicadas dentro de esta región bioclimática, como Lagoa de Lucenza (Santos et al., 2000; Muñoz-Sobrino et al., 2001), Pozo do Carballed (Muñoz-Sobrino et al., 1997), PRD-4 (López-Merino et al., 2012; Kaal et al., 2013) para Galicia; Enol (Moreno et al., 2011) en Asturias; Laguna de Sanguijuelas (Turner y Hannon, 1988; Muñoz-Sobrino et al., 2004), Laguna de la Roya (Allen et al., 1996; Muñoz-Sobrino et al., 2013) y Lleguna (Muñoz-Sobrino et al., 2004) en la región de Sanabria; Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994; Peñalba et al., 1997), Laguna Grande (Ruiz Zapata et al., 2002), Laguna del Hornillo (Ruiz Zapata et al., 2015) y Hoyos de Iregua (Gil-García et al., 2002) en la vertiente norte de la Ibérica; Tramacastilla (Monsterrat-Martí, 1992), Lago Burg (Pèlachs et al., 2007),

Banyoles (Pérez-Obiol y Julià, 1994) en los Pirineos y Lago de Estanya (Vegas-Vilarrúbia et al., 2013; González-Sampérez et al., en revisión) en el Pre-Pirineo, muestran una rápida respuesta al enfriamiento y aridez, con la típica caída del polen arbóreo y la sincrónica expansión del paisaje estépico dominado por *Juniperus*, *Helianthemum*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae* y *Compositae*, entre otros (González-Sampérez et al., 2005; Carrión et al., 2010a). Se registra una importante oscilación en los niveles lacustres debido a una directa reducción del input de precipitación (e.g., Enol, Moreno et al., 2011; Laguna Grande, Vegas, 2007), con una marcada disminución del polen de higo-hidrófitas (López-Merino et al., 2012), reducida preservación de diatomeas debido al

1. Introducción

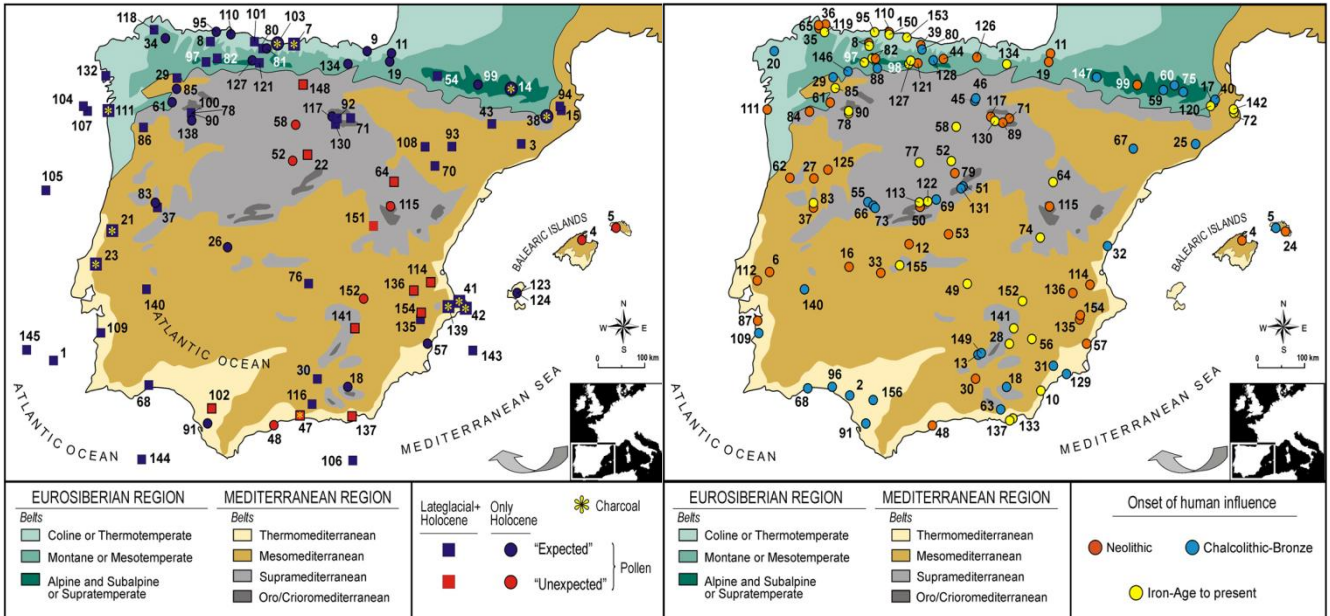


Figura 1.9. Revisión de las secuencias paleoambientales con cronología Holocena obtenidas a partir de depósitos naturales y contextos arqueológicos (izquierda). Cronología de las ocupaciones humanas y su impacto en el paisaje vegetal (derecha) (Carrión et al., 2010a).

incremento de alcalinidad de las aguas (Vegas-Vilarrúbia et al., 2013), así como cambios en la fauna de quironómidos (Muñoz-Sobrino et al., 2013). Numerosas secuencias muestran signos de esterilidad polínica debido a fases de desecación total o parcial (e.g., Fuentillejo, Vegas et al., 2010), mientras que los registros de saladas del Valle Central del Ebro apuntan a que los procesos de deflación eólica fueron comunes durante el Younger Dryas (González-Sampérez et al., 2008), ligados a la intensificación de los vientos y restablecimiento de condiciones áridas. Las secuencias de altitud se caracterizan por contener hiatos sedimentarios producidos por congelación de la superficie lacustre (p.e. El Portalet, González-Sampérez et al., 2006; Gil-Romera et al., 2014), o bien por re-avance glaciar (García-Ruiz et al., 2014, 2016).

En cambio, los efectos paleoambientales del Younger Dryas no son tan notorios en el ámbito continental Mediterráneo, donde prácticamente no existe una secuencia, al menos palinológica, que muestre una marcada respuesta vegetal al incremento del estrés climático. Se ha señalado en más de una ocasión que los procesos climáticos originarios de altas latitudes no han dejado una señal ambiental y/o cultural clara en el contexto Mediterráneo peninsular (Carrión et al., 2010a; Aura et al., 2011). Secuencias palinológicas como Navarrés (Carrión y van Geel, 1999) o Siles, (Carrión, 2002) con una alta resolución de muestreo y cronológicamente bien constatadas, no observan una retracción arbórea respecto a las etapas previas, las cuales registran la persistencia de pinares y

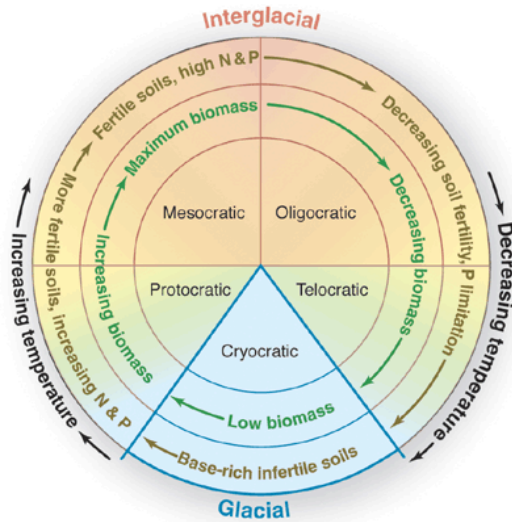


Figura 1.10. Modelo del desarrollo vegetal en la Europa occidental Atlántica durante las fases glaciales/postglaciales de acuerdo a Birks, (1986).

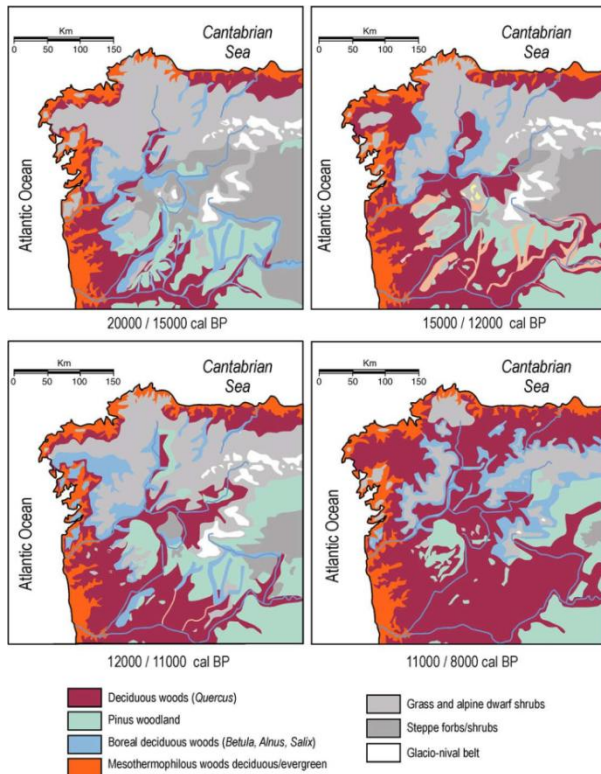
sabinares a lo largo de largas escalas de tiempo. En este sentido, hay que preguntarse si *¿existe un patrón espacial específico que module la respuesta ante el evento del Younger Dryas en la Península Ibérica?. ¿Son algunos ecosistemas más propicios a responder a eventos de índole global? Si es así, ¿cuáles son y de qué manera lo hacen?* Existen muchas incógnitas aún por resolver y para ello, resulta absolutamente necesario generar nueva información paleoambiental basada en una estrategia multiproxy donde indicadores hidrológicos y polínicos estén paralelamente estudiados, siempre con una buena resolución de muestreo y un control cronológico detallado.

En cuanto al Holoceno ya propiamente dicho (últimos 11.700 años), el incremento de secuencias Ibéricas publicadas en las últimas décadas (Figura 1.9), muestran, de manera similar a lo que ocurría durante el intervalo precedente (Younger Dryas), un intenso

asincronismo paleobiogeográfico entre el mundo Eurosiberiano y el Mediterráneo. La entrada en el Holoceno se caracteriza en la literatura paleoecológica Europea por ser un periodo incluso más húmedo y térmico que el actual (fase protocrática y mesocrática sensu Birks, (1986), Figura 1.10) donde la vegetación caducifolia adquiere su máxima extensión a nivel continental (Brewer et al., 2002; Petit et al., 2002; Davis et al., 2015), llegando a alcanzar regiones fuera de su distribución actual (Kullman, 2008; Seppä et al., 2015).

En la región Atlántica peninsular, las secuencias polínicas señalan la típica sucesión vegetal de *Betula-Corylus-Quercus-Tilia* (Santos et al., 2000; Muñoz-Sobrino et al., 2001, 2004, 2013; González-Sampériz et al., 2006; Iriarte-Chiapusso, 2009; Moreno et al., 2011; López-Merino et al., 2012; Kaal et al., 2013; Gil-Romera et al., 2014) (Figura 1.11) culminando en la máxima expansión del bosque caducifolio (valores máximos de polen arbóreo) durante los primeros dos milenios (ver revisión de Iriarte-Chiapusso et al., 2016). Los niveles lacustres muestran un incremento progresivo del nivel de agua (Moreno et al., 2011), al igual que se registra una expansión y aumento de diversidad faunística, que recoloniza la Cordillera Cantábrica (Iriarte-Chiapusso et al., 2016) y los Pirineos (Montes et al., 2016), en detrimento de especies previas, adaptadas al Younger Dryas (Sommer et al., 2014). Por el contrario, las condiciones de humedad y máxima expansión arbórea en la Iberia continental Mediterránea, no se hacen visibles hasta varios milenios más tarde. Los niveles de lagos continúan siendo

1. Introducción



reducidos entre 11.500-9.500 cal BP en las secuencias sedimentológicas de Estanya (Morellón et al., 2009) o Basa de la Mora (Pérez-Sánz et al., 2013).

Pinares y sabinars son las comunidades forestales dominantes en ámbito meso- y supra-Mediterráneo (Carrión et al., 2010a; Rubiales et al., 2010), con altas proporciones de estépicas y heliófitas que sugieren un paisaje tipo sabana. La clásica secuencia de Navarrés (Carrión y Dupré, 1996; Carrión y Van Geel, 1999), localizada en el interior valenciano, proporciona la visión a larga escala de la dinámica vegetal en ámbito continental Mediterráneo. Cubriendo los últimos 35.000 años, la historia de la vegetación se caracteriza por la estabilidad de un paisaje dominado por pinares (*Pinus*

Figura 1.11. Expansión del bosque caducifolio tras el Tardiglacial en la Iberia Atlántica (Carrión et al., 2010a). La historia de la vegetación en la Iberia Eurosiberiana sigue el desarrollo forestal establecido por Birks, (1986).

halepensis, *P. pinaster*), además de trazas puntuales de enebros y/o sabinas (Cupressaceae). De manera similar, la secuencia de Estanya, evidencia el predominio de coníferas durante la fase postglacial (Vegas Vilarrúbia et al., 2013; Pérez-Sanz, 2014; González-Sampéiz et al., en revisión), con valores de *Juniperus* en torno al 20%. La secuencia de alta resolución de Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013), al igual que la de Orihuela del Tremedal, localizada en la vertiente sur del Sistema Ibérico (Stevenson, 2000), señala una clara influencia Mediterránea, con una reducida presencia de mesófitas hasta prácticamente 9.500 cal BP. Los datos antracológicos procedentes del yacimiento arqueológico de Espantalobos, además de los niveles Mesolíticos del poblado de Cabezo de la Cruz (Alcolea et al., en prensa), constatan que los pinares termófilos dominaban ampliamente el sector central del Valle del Ebro, con sólo presencias esporádicas de taxones puramente Mediterráneos. En áreas más meridionales, los registros Holocenos de Villaverde (Carrión et al., 2001a), Les Alcusses (Tallón-Armada et al., 2014), El Sabinar (Carrión et al., 2004), Salines (Burjachs et al., in 2016) o la secuencia antracológica de Santa Maira (Aura et al., 2005) confirman la presencia local de coníferas desde el Tardiglacial hasta bien entrado el Holoceno (ca. 8.000 cal BP), sin apenas registrar indicios

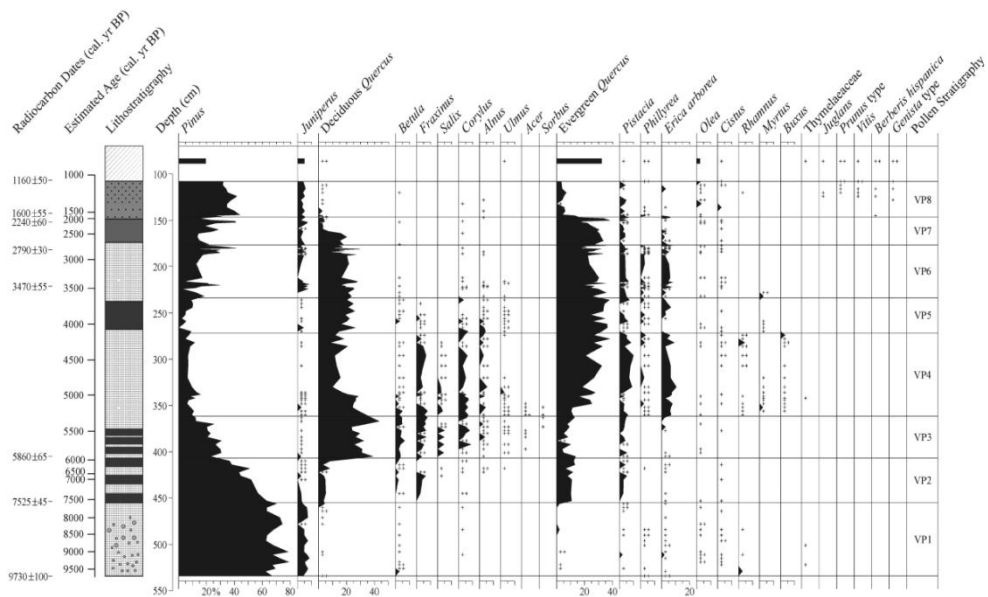


Figura 1.12: Persistencia de pinos y sabinas hasta ca. 7.500 cal BP en la Iberia continental Mediterránea. Diagrama de Villaverde (Carrión et al., 2001a) como ejemplo de la asincronía paleobiogeográfica entre el mundo Eurosiberiano y el Atlántico.

de flora planocaducifolia (Figura 1.12). Las secuencias polínicas del Sistema Central (Franco Múgica et al., 1998, 2001, 2005) y de la región de Tierra de Pinares (García-Antón et al., 2011), son claro ejemplo de que ciertas particularidades biogeográficas no pueden ser exclusivamente explicadas por variaciones climáticas, y que otros factores (ya sean bióticos o abióticos) han de tenerse en cuenta a la hora de hacer síntesis paleoecológicas regionales (Rubiales et al., 2010).

1.3.2. Óptimo Climático Holoceno en la Iberia Mediterránea

Uno de los aspectos más relevantes de la historia climática a escala de cuenca Mediterránea, se centra en conocer y desentrañar los mecanismos atmosféricos que explican el retardo temporal de la entrada del Óptimo Climático Holoceno, el cual cubre

cronológicamente el intervalo comprendido entre 8.000-5.000 cal BP (Carrión et al., 2010a; Pérez-Obiol et al., 2011; Sadori et al., 2011). Este periodo benigno, favoreció el rápido desarrollo de un paisaje Mediterráneo, salpicado por encinares y quejigares en la Iberia continental como bien lo atestiguan las secuencias polínicas del este (p.e., Banyoles, Revelles et al., 2015, Cova de la Guineau, Allué et al., 2009), noreste (p.e., Estanya, Pérez-Sanz, 2014; González-Sampérez et al., en revisión, Basa de la Mora, Perez-Sanz et al., 2013) y sureste (p.e., Villaverde, Carrión et al., 2001a, (Figura 1.12), El Sabinar, Carrión et al., 2004, Siles, Carrión, 2002, Les Alcusses, Tallón-Armada et al., 2014, Salines, Burjachs et al., 2016) o centro peninsular (p.e., Fuentillejo, Vegas et al., 2010).

Los niveles de lagos en las secuencias citadas alcanzan los valores máximos en este mismo periodo, fruto de un balance hídrico positivo que se vincula a una deriva meridional de los frentes de origen Atlántico (Benito et al., 2003) y a un descenso de la estacionalidad acusada. Además, el Óptimo Climático Holoceno en el Mediterráneo favoreció la expansión y diversificación de las actividades económicas y el progresivo incremento demográfico (Roberts et al., 2011a), ya que coincide con la instauración y difusión del Neolítico (Roberts et al., 2011b; Bernabeu Aubán et al., 2015) en prácticamente toda la Cuenca Mediterránea.

A su vez, en la franja litoral Mediterránea, se expande la típica asociación de especies termófilas (Carrión et al., 2010a), representadas en los diagramas polínicos y antracológicos por elementos de la actual maquia Mediterránea como *Olea*, *Pistacia* o *Rhamnus* (Badal et al., 1994; Yll et al., 1997; Pantaleón-Cano et al., 2003; Aura et al., 2005), además de la presencia de especies xero-termófilas conforme nos acercamos al sureste peninsular (Carrión et al., 2010b). El incremento de frecuencias polínicas de taxones como *Olea* en el ámbito meso-Mediterráneo, demuestra que las temperaturas invernales dejaron de ser tan bajas, o bien la continentalidad no era tan acusada como en las etapas previas. La expansión del boj (*Buxus balearica*) y la presencia del haya (*Fagus sylvatica*) en las Islas Baleares (Pérez-Obiol y Sadori, 2007), extintos a día de hoy en la región (Welker et al., 2014), suponen un claro ejemplo de los cambios climáticos ocurridos durante el Holoceno y sus

implicaciones en la biogeografía tanto de plantas como de animales.

Como bien se menciona en el párrafo anterior, el Holoceno Medio supone un notable cambio en la distribución de las diversas especies forestales, siendo los bosques de frondosas las principales comunidades que ven favorecida su expansión a consecuencia de la instalación de condiciones más húmedas. Algunas especies planocaudicfolias (e.g., *Betula*, *Corylus*, *Fagus*), alcanzan su máxima expansión durante dicho periodo, situándose en áreas mucho más amplias que las de su distribución actual. Los pinares y sabinares pierden su predominio en las parameras continentales (aunque sí que existen particularidades regionales: ver discusión y ejemplos en Rubiales et al., 2010), a diferencia de diversas quercíneas que, según la naturaleza litológica, adquieren protagonismo prácticamente en toda la geografía peninsular.

¿Cuáles han sido las áreas fuente y cuáles las rutas de colonización postglaciar de flora meso-termófila? suponen otras de las grandes incógnitas que cualquier paleobiogeógrafo se ha preguntado a la hora de trabajar con datos paleobotánicos. Son varias las teorías que explican los modos de colonización de la flora y la fauna tras un evento de índole global. En primer lugar, la literatura biogeográfica apunta a que la flora meso-termófila quedó acantonada en las penínsulas Mediterráneas durante el Último Máximo Glaciar (Médail y Quézel, 1999; Médail y Diadema, 2009), preferentemente cerca de las regiones litorales (Badal et al., 1994; Aura et al., 2002; Carrión et al., 2008;

Fiorentino y Parra, 2015). No obstante, los datos paleobotánicos producidos en las últimas décadas para la zona Cantábrica (Uzquiano, 2014) y regiones intra-montañas continentales (Cacho et al., 2012) apuntan a que la flora planocaducifolia habría podido quedar acantonada en micro-hábitats favorables, asociado a la termicidad y humedad ambiental disponible del Atlántico o de los cursos fluviales localizados en las inmediaciones.

De este modo, el estudio palinológico realizado en zonas de transición entre el mundo Atlántico y el Mediterráneo (p.e., Sistema Ibérico, Sistema Central), puede arrojar información esencial acerca de la dinámica espacio-temporal de especies vulnerables a los cambios ambientales, y de esta forma elaborar planes de gestión y conservación más realistas y fructíferos.

1.3.3. Expansión de flora Mediterránea durante el Holoceno Tardío: aridez climática vs impacto humano

La transición del Holoceno Medio-Tardío, se caracteriza a nivel de Cuenca Mediterránea por una serie de cambios climáticos que ocurren paralelamente a una importante expansión demográfica, y al incremento de las actividades humanas (Jalut et al., 2000, 2009; Roberts et al., 2011a). Culturalmente, este periodo comprende el Neolítico pleno y la Edad de Bronce (Roberts et al., 2011b). Son numerosos los registros que muestran una progresiva expansión de la vegetación esclerófila de tipo maquia en zonas litorales del Mediterráneo (e.g., Di Rita y Magri, 2009 en Italia; Di Rita y

Melis, 2013 en Cerdeña; Sadori y Narcisi, 2001; Noti et al., 2009; Tinner et al., 2009; Sadori et al., 2013 en Sicilia; Kouli, 2012 en Grecia, entre otros), mientras que el bosque mixto Mediterráneo dominado por quercíneas se expande en ámbito continental (p.e., Lago di Vico, Magri y Sadori, 1999; Lago Ledro, Joannin et al., 2014), ambos en Italia.

No obstante, y en contraposición a la visión tradicional del papel preponderante de la acción antropogénica como origen de los cambios de vegetación durante este periodo, indicadores independientes procedentes de reconstrucciones de niveles de lagos (Magny et al., 2002), confirman el rol del clima como agente modelador del paisaje, también durante la transición Holoceno Medio-Tardío (hace aproximadamente 6.000-5.000 cal BP). Diversos archivos lacustres ampliamente distribuidos por el sur de Europa, señalan una oscilación hidrológica hacia ambientes deposicionales más someros (Magny et al., 2012), imposible de ligar a particularidades locales. Paralelamente, los estudios isotópicos procedentes de estalagmitas apuntan un cambio en el régimen de precipitaciones a escala circum-Mediterránea (p.e., Cueva de Corchia, Zanchetta et al., 2014; Soreq Cave, Orland et al., 2012). Aunque los mecanismos atmosféricos no son fáciles de establecer, una posible oscilación en la posición de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ITCZ) estaría en el origen de la variación en el régimen de precipitaciones, ya que afectaría a largas bandas latitudinales (Jalut et al., 2009). De hecho, este periodo cronológicamente se asocia

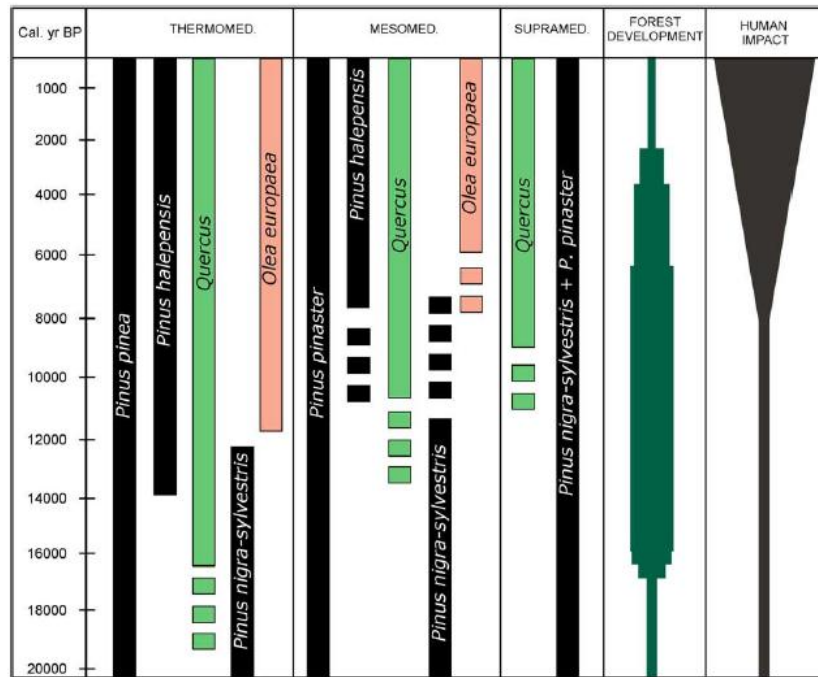


Figura 1.13: Instalación de condiciones áridas en el SE continental Mediterráneo y áreas litorales peninsulares hace 5.000 cal BP tras la máxima expansión de flora meso-termófila durante el Optimo Climático Holoceno (Carrión et al., 2010a).

a la terminación del Periodo Húmedo Africano y la expansión del Sahara (Renssen et al., 2003; Lézine et al., 2011; Berke et al., 2012), uno de los cambios paleoambientales más notorios de la historia del Holoceno Medio-Tardío.

En el caso de la Península Ibérica, la mayoría de las secuencias polínicas señalan la problemática de evaluar clima vs acción humana en la discusión de los trabajos publicados, incluso cuando no existe información arqueológica clara en el entorno del lugar de estudio (esencialmente lagos). El incremento de partículas de microcarbón, indicador de la actividad del fuego (Carcaillet et al., 2001), ha sido comúnmente utilizado como argumento para señalar la influencia antropogénica en el paisaje, olvidando que la frecuencia de incendios es un factor intrínseco d

de los ecosistemas Mediterráneos (Colombaroli et al., 2009; Gil-Romera et al., 2010; Vannièrè et al., 2011). Las secuencias de altitud (>2.000 m s.n.m.), alejados de la influencia directa del hombre, registran de manera simultánea un cambio hacia condiciones de aridez (Figura 1.13), con una drástica disminución de los niveles de agua en los lagos (p.e., Borreguiles de la Virgen, Jiménez-Moreno y Anderson, 2012). En la región Cantábrica y Pirenaica, la entrada en el Holoceno Tardío, muchas veces denominado Neoglacial (Martínez-Cortizas et al., 1999), debido a la reactivación de la actividad glaciaria durante este periodo (García-Ruiz et al., 2014), es bien conocida gracias a la progresiva expansión del brezal Atlántico (Ericaceae, *Calluna*, *Daboecia*), es decir, del paisaje tipo landa (p.e., Muñoz-Sobrino et al., 1997, 2001, 2005, 2012; Mighall et al., 2006;

López-Merino et al., 2010a, 2012; Morales del Molino et al., 2011, 2013; Connor et al., 2012; Pérez-Díaz et al., 2016; Pérez-Obiol et al., 2016; Silva-Sánchez et al., 2016), signo de la apertura forestal ante el incremento de la aridez (Moreno et al., 2011).

Por ello, *¿hasta qué punto entonces el hombre es agente modelador del paisaje? ¿Es posible trazar la diferencia entre clima y acción antropogénica mediante el estudio de archivos sedimentarios y utilizando proxis polínicos?* Una vez más, es necesaria hacer una re-evaluación de ciertas asunciones que han persistido en la paleoecología peninsular, y elaborar nuevas preguntas que son imposibles de responder sin una visión a escala regional, integrando el conjunto de proxis paleoambientales con la información arqueológica del entorno.

1.3.4. Los cambios climáticos abruptos: Impactos ambientales

A pesar de que el Holoceno ha sido considerado hasta décadas recientes como un periodo climáticamente estable, modulado por la sucesión de periodos húmedos y áridos a escala milenaria (tal y como brevemente se ha expuesto en los apartados precedentes), el incremento de secuencias de alta resolución evidencia la complejidad del sistema climático (O'Brien et al., 1995), salpicado por numerosos eventos de carácter frío y árido visibles escala global (Mayewski et al., 2004; Wanner et al., 2008) y que tienen su origen, en la mayoría de los casos, en latitudes boreales (Long et al., 2006). Con una periodicidad de 1.500 años (Bond et al., 1997, 2001), algunos autores

apuntan a la variabilidad solar como factor detonante de los Cambios Climáticos Abruptos (CCA) (Bond et al., 1997, 2001; Chapman y Shackleton 2000; Hu et al. 2003; Niggemann et al. 2003; Yu. et al. 2003; Gupta et al. 2005; Wang et al. 2005; Viau et al. 2006; Allen et al. 2007) mientras que otras escuelas atribuyen los CCA a los cambios internos del sistema oceánico (p.e., circulación termohalina), sin ninguna vinculación aparente a los forzamientos extraterrestres (ver discusión en Wanner et al., 2011). En cualquier caso, los CCA a escala Holocena, se traducen en eventos áridos y fríos, llegando a definir 8 eventos cronológicamente enmarcados hace 11.000, 10.300, 9.400, 8.100, 5.900, 4.300, 2.800, 1.400 y 400 cal BP, denominados los Ciclos de Bond (Bond et al., 1997) (Figura 1.14). Este mecanismo de reajuste oceánico modulando *a grosso modo* por la variabilidad cíclica (periodicidad de 1.500 años) del sistema solar (Bond et al., 1997; Haigh et al., 2001).

El 8.200 cal BP, definido como el mayor evento climático a escala Holocena (Alley y Ággúsdóttir, 2005), se asocia a las últimas fases de la fusión del casquete Laurentiano, siendo su impacto ambiental, ya sea a nivel paleohidrológico (Veski et al., 2004) o ecológico (Tinner y Lotter, 2001; Ghilardi y O'Connell, 2013), objeto de estudio a escala global. Los modelos climáticos reflejan un repentino enfriamiento debido a la entrada masiva de agua dulce, frenando así el mecanismo de hundimiento y producción de agua profunda, North Atlantic Deep Water (Bauer et al., 2004; Wiersma y Renssen, 2006), alterando de

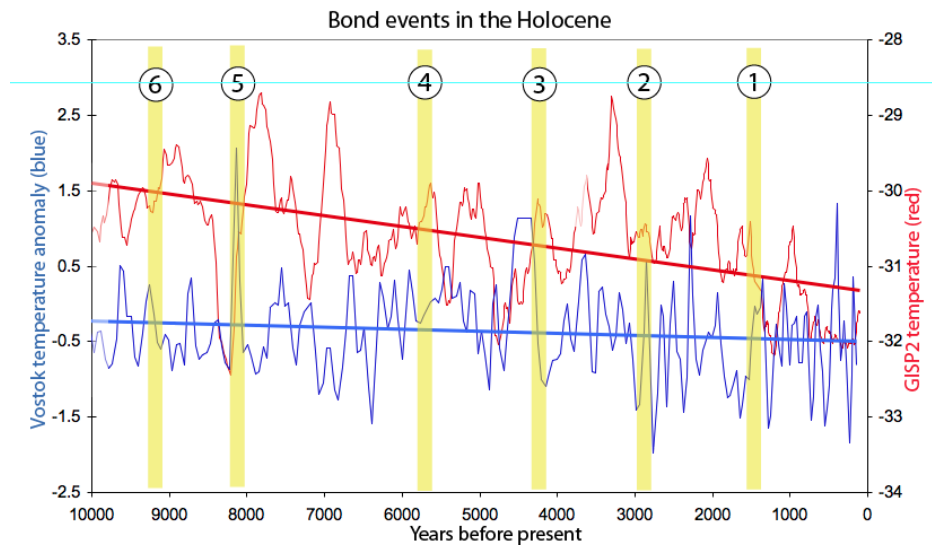


Figura 1.14. Posible correlación entre los Ciclos de Bond y la variabilidad climática a escala global. Los ciclos presentan según Bond et al. (2001) una periodicidad de 1.500 años.

manera inmediata la circulación termohalina, Meridian Overturning Circulation (Srokosz et al., 2012), e impactando directamente en el clima del Hemisferio Norte. Una vez más la respuesta de los ecosistemas terrestres ante esta perturbación, similar a otras de menor intensidad como la Oscilación reboreal (ca. 11.200 cal BP, Fisher et al., 2002), o el evento 9.400 cal PB (McDermott et al., 2001), ocurrió en pocas décadas, y supone un marcador claro en la bioestratigrafía Holocena de la mayoría de trabajos palinológicos europeos (Tinner y Lotter, 2001; Muñoz-Sobrino et al., 2005).

A nivel peninsular, la detección de eventos de carácter abrupto ha estado, en gran medida, enmascarada por la baja resolución de análisis de los indicadores biológicos, así como por la falta de precisión cronológica. Muchos de los cambios abruptos anteriormente citados se caracterizan por ser inmediatos con una corta

duración (ca. 200 años) por lo que resulta crucial disponer de unos buenos archivos sedimentarios y unos modelos de edad robustos, que permitan detectar las oscilaciones fuera de las tendencias generales, así como las variaciones propias de los indicadores a estudiar. A día de hoy, se están generando muy buenas secuencias basadas en una estrategia multiproxy que permiten establecer un patrón espacial que, una vez más, difiere entre el mundo Eurosiberiano y el Mediterráneo (Carrion et al., 2010a; González-Sampérez et al., 2010; Pérez-Obiol et al., 2011). Probablemente sea el Pirineo la zona geográfica donde mejor se evidencia el carácter abrupto de los cambios climáticos Holocenos a nivel peninsular (González-Sampérez et al., en revisión). La secuencia de El Portalet (González-Sampérez et al., 2006; Gil-Romera et al., 2014) (Figura 1.15), localizado en el Pirineo Central, ha sido la secuencia de referencia durante la última

1. Introducción

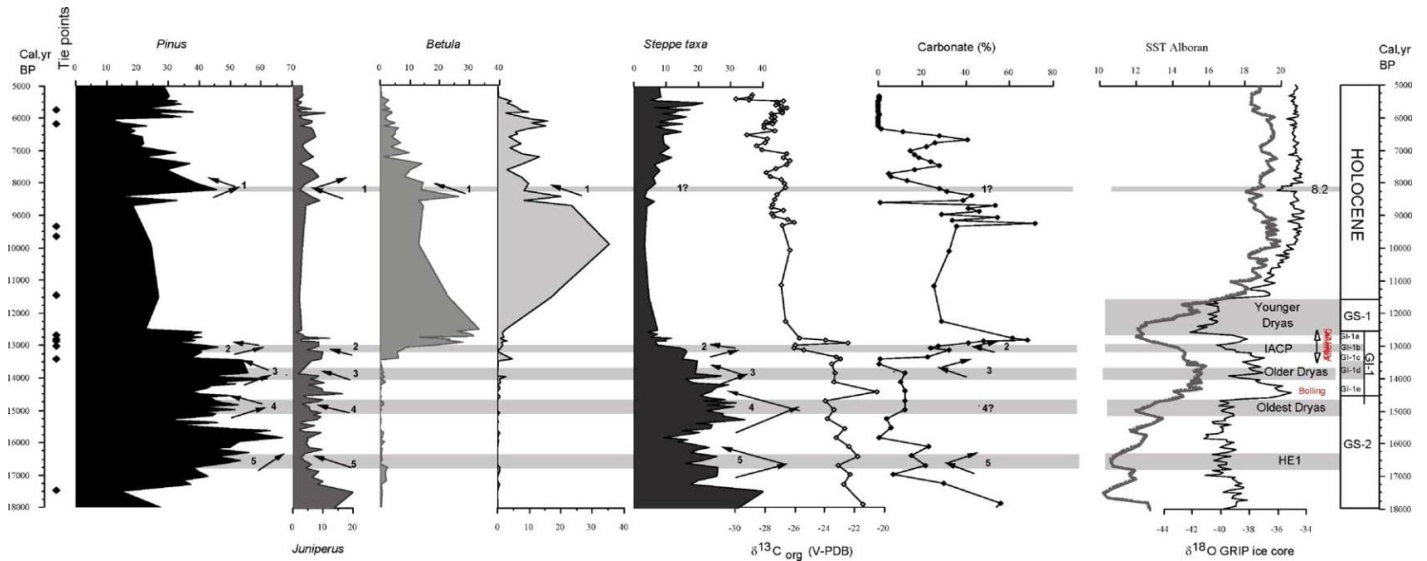


Figura 1.15. Sensibilidad de la vegetación Eurosiberiana ante eventos climáticos globales. La secuencia multiproxy de El Portalet (González-Sampériz et al., 2006) como ejemplo de la variabilidad climática en el NE peninsular en los últimos 33.000 cal BP.

década, claro ejemplo de la sensibilidad y la inmediata respuesta de los ecosistemas ante eventos áridos y fríos. Así pues, los bosques mixtos caducifolios son reemplazados por un paisaje de heliófitas y herbáceas estépicas, tal y como bien lo demuestran las secuencias de alta resolución como la mencionada de El Portalet (González-Sampériz et al., 2006) (Figura 1.15), o la de la Basa de la Mora (Pérez-Sánz et al., 2013). Los registros del lago Burg (Pèlachs et al., 2011) y Redó (Pla y Catalán, 2005), muestran una clara respuesta a la disminución del input de precipitación. Este mismo patrón también es visible en la cornisa Cantábrica y regiones adyacentes, donde estudios multiproxys concuerdan con un déficit hidrológico (Domínguez-Villar et al., 2009), una sincrónica reducción de los niveles lacustres (p.e., Lago de Sanabria, Jambrina-Enriquez et al., 2014), y la retracción de taxones mesotermófilos como *Corylus* y deciduous *Quercus*,

paralelamente a la expansión de *Juniperus*, *Artemisia* y *Poaceae*, entre otros taxa xerófilos (p.e., PRD-4, López-Merino et al., 2012; Lago de Enol, Moreno et al., 2011; entorno de Sanabria, Muñoz-Sobrino et al., 2004; Galicia, Muñoz-Sobrino et al., 2005, 2007; Iriarte-Chiapusso et al., 2016).

A escala más regional y siguiendo un patrón latitudinal, el evento 4.200 se presenta como una prolongada crisis de aridez (Arz et al., 2006), con una marcada impronta en secuencias sedimentológicas procedentes de Oriente Próximo (Cullen et al., 2000; Enzel et al., 2003; Arz et al., 2006; Lamy et al., 2006), o norte de África (Ruan et al., 2016), así como en diversas curvas isotópicas del registro estalagmítico del Golfo de Omán (Bar-Matthews et al., 2000; Fleitmann et al., 2003) o Buca della Ranella en Italia (Drysdale et al., 2006). Todos los proxys concuerdan con una brusca

reducción del input hidrológico e incremento de las condiciones de aridez, encuadrándose cronológicamente entre 4.400-4.000 cal BP e indicando, a su vez, un cambio atmosférico en las bandas de presión subtropicales. El incremento de partículas de polvo sahariano (Moreno et al., 2002) y polen de flora norafricana (Magri y Parra, 2002), ambos comúnmente utilizados como indicador de la dirección de los vientos dominantes, testifican la influencia de masas de aire de origen africano en la dinámica climática del continente europeo durante el Holoceno Tardío. No obstante, su impacto ecológico y social, el alcance geográfico (Magny et al., 2009), así como los mecanismos que lo han originado, no se han establecido en detalle en la literatura paleoambiental.

No existen claras evidencias del impacto del evento 4.200 a nivel peninsular, o por lo menos las secuencias palinológicas publicadas hasta a día de hoy, no son capaces de discernir entre la dinámica a larga escala de la xerofitización (sensu Carrión et al., 2010a,b), y el carácter abrupto del evento. Para ello, una vez más, es necesario disponer de una base de datos regional, una alta resolución de los indicadores estudiados, una cronología robusta y sobretodo trabajar en un equipo multidisciplinar donde factores abióticos y bióticos sean intercalados, para dar respuesta a preguntas de escala global.

1.3.5. Los cambios climáticos abruptos: Consecuencias culturales

El impacto de los cambios climáticos y la respuesta de las sociedades pre- y protohistóricas ha sido una de las grandes temáticas a estudiar, tanto desde la perspectiva paleoclimática como de la vertiente arqueológica (Haug et al., 2003; Mercuri et al., 2011). La mayor parte de los trabajos se han ceñido en desentrañar los mecanismos físicos que han propiciado o han sido detonante de la caída de numerosas civilizaciones (e.g. Hunt y Iliott, 2005). El ejemplo mejor estudiado proviene del colapso de la Civilización Maya (Haug et al., 2003; Hodell et al., 2005; Webster et al., 2007). Se conoce por distintos registros que el desplazamiento septentrional de la Zona de Convergencia Intertropical desencadenó una sucesión de sequías intensas y muy próximas en el tiempo entre los años 850 y 925 AD (Medina-Elizalde et al., 2010; Medina-Elizalde y Rohling, 2012), culminando en la desestabilización social y política (Kennett et al., 2012). De forma similar, existen muchos ejemplos donde los cambios ambientales repentinos, en la mayoría de casos de origen climático, han sido factor clave para el ocaso de numerosas poblaciones. La re-organización espacial de las poblaciones Mesolíticas a causa del evento 8.200 cal BP (Weninger et al., 2006; Wicks y Mithen, 2014), la caída del Imperio Acadio (Riehl, 2008) y la reducción demográfica en la Meseta China (Wenxiang y Tungsheng, 2004; An et al., 2005), coincidentes con el evento 4.200 cal BP (Weiss et al., 1993; Staubwasser et al., 2003; Drysdale et al., 2006), de la Pequeña Edad de Hielo en Europa, ya en

1. Introducción

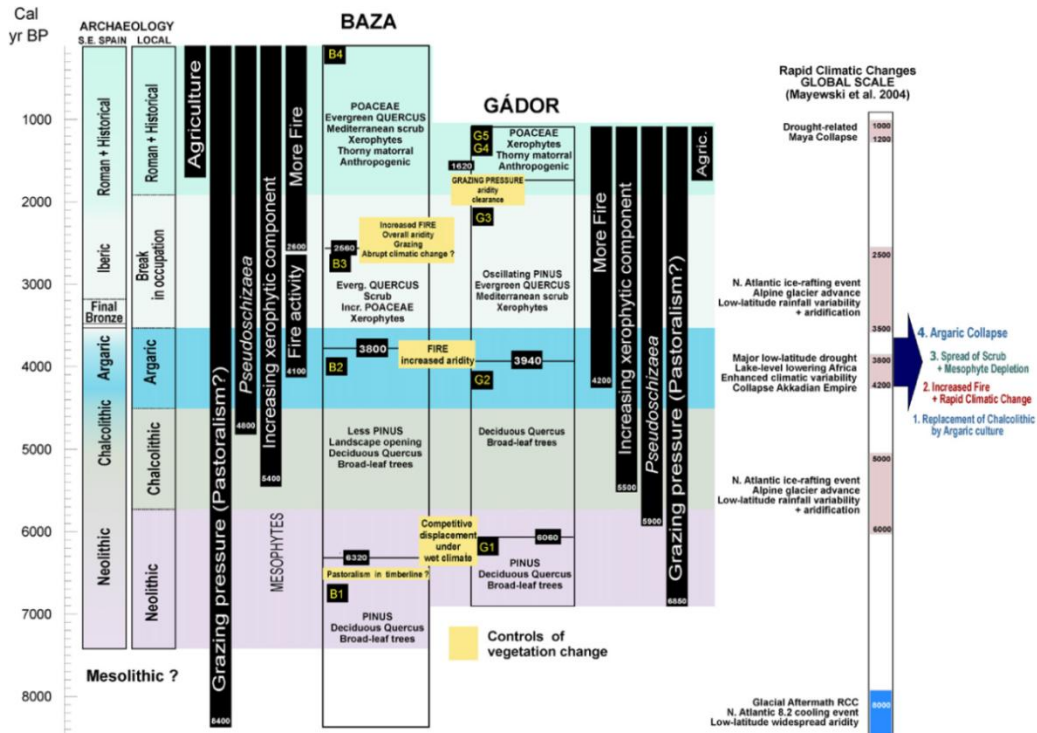


Figura 1.16. Colapso de la cultura Argárica en el SE peninsular y sus posibles causas ambientales (Carrión et al., 2007). Las secuencias palinológicas e indicadores hidrológicos de las inmediaciones reflejan una tendencia hacia condiciones más áridas cronológicamente emplazadas entorno al 4.500 cal BP.

la retirada de las poblaciones vikingas desde Groenlandia (Ogilvie et al., 2000) o el impacto época histórica (Pfister y Brázdil, 2006), ponen de manifiesto cuál vulnerables han sido y son las sociedades humanas ante eventos climáticos extraordinarios.

En el contexto peninsular existen numerosas evidencias de impacto o de adaptación de sociedades prehistóricas frente a cambios rápidos de origen climático (González-Sampérez et al., 2009; Montes et al., in 2016). Aura et al. (2011) reconoce el reajuste en los modos de vida de los pobladores Mediterráneos ante el Younger Dryas. Existe un notable cambio en la industria lítica respecto al Magdaleniense (Utrilla et al., 2012), a pesar de que los modos de ocupación y estrategias de subsistencia no muestran una variación considerable hasta bien

entrado el Epipaleolítico (Aura et al., 2011; Strauss, 2011). De manera similar, la literatura relativa a asentamientos portugueses, concretamente de los concheros del Valle de Muge, señalan una exitosa adaptación de las poblaciones localizados en medios litorales al incremento de aridez y a la variación de la fauna y el paisaje vegetal (Bicho et al., 2011).

El evento abrupto 8.200 cal BP impacto de manera significativa a los pobladores del Bajo Aragón (NE Iberia), donde el rápido incremento de las condiciones de aridez, desencadenaron una rápida migración y el abandono de una región que había sido intensamente poblada y explotada durante varios milenios (González-Sampérez et al., 2009).

Siguiendo con más ejemplos, el evento 7.200 cal BP, coincidente a nivel cultural con la transición Mesolítico-Neolítico en el sur peninsular (Cortés Sánchez et al., 2008), provocó un cambio radical en la paleogeografía litoral, prácticamente abandonado las actividades extractivas (marisqueo y pesca, p.e., Cueva de Nerja) por parte de los pobladores locales (Cortés Sánchez et al., 2012). El evento, caracterizado por una notable oscilación en la circulación termohalina (Jiménez-Espejo et al., 2008), impactó en las comunidades de plancton, y éste a su vez, en las diversas poblaciones de fauna. Asimismo, supuso la inundación de múltiples marismas y humedales litorales (Goy et al., 1996), reduciendo drásticamente las áreas de ocupación. En definitiva, la arqueología del sur peninsular ejemplifica la vinculación de los cambios ambientales derivados de una pequeña oscilación climática, con el reajuste de los modos de vida de las comunidades prehistóricas, teniendo grandes repercusiones culturales (Cortés Sánchez et al., 2012).

Ya en épocas más recientes, es imposible no citar el caso de la cultura Argárica, ampliamente desarrollada en el sureste peninsular entre 4.400-3.550 cal BP (Lull et al., 2010). Caracterizada por ser una civilización metalúrgica (Murillo-Barroso et al., 2015), las causas de su ocaso se han vinculado a un colapso ecológico debido al incremento de la deforestación y la instalación de condiciones áridas en el SE peninsular (Carrión et al., 2007; Lillios et al., 2016) (Figura 1.16).

No obstante, no debe de olvidarse que el clima también ha jugado un papel crucial en la proliferación de diversas civilizaciones, donde el establecimiento de unas condiciones climáticas benignas ha favorecido el resurgimiento de diversas urbes y grandes asentamientos (Fagan, 2008; Roberts et al., 2011a), así como el desarrollo de la agricultura ya en la etapa postglacial (Willcox et al., 2009; Haldorsen et al., 2011). Resulta sorprendente encontrar vestigios Neolíticos coincidentes con el denominado Periodo Húmedo Africano (Hoelzmann et al., 2001; Mercuri, 2008; Giraudi et al., 2013) actualmente enterrados bajo la región hiperárida del Sahara Central (Cremaschi et al., 2014). Centrándonos en el Neolítico peninsular, el incremento de temperaturas y especialmente el input de precipitación durante el Holoceno Medio (8.000-5.000 cal BP) favoreció la proliferación de núcleos en torno a ambientes fluvio-lacustres. El caso mejor estudiado proviene del noreste peninsular, concretamente del asentamiento Neolítico de La Draga, en Banyoles. El trabajo liderado por Revelles et al. (2015), revela que los primeros asentamientos localizados en las inmediaciones del lago ocurrieron bajo unas condiciones climáticas más húmedas que las actuales, alcanzando unos niveles de lago más altos y con una vegetación regional dominada por bosques de frondosas. Las condiciones ambientales favorecieron la rápida adquisición de la agricultura (Palomo et al., 2011), modificando de manera directa el paisaje vegetal del entorno local (Caruso Ferme y Piqué i Huerta, 2014; Revelles et al., 2015). Este mismo patrón de asentamiento en contextos lacustres continentales ha sido

también registrado en otras zonas Mediterráneas en cronologías similares (p.e., Lago di Mezzano, Sadori et al., 2004; región de Apulia, Fiorentino et al., 2013; Terramara, Cremaschi et al., 2016; antigua ciudad de Tharros, Sicilia, Di Rita y Melis, 2013), siempre asociado al establecimiento de fases húmedas (Sadori et al., 2011). No obstante, existen pocos casos de estudio para el contexto Ibérico, probablemente asociado a que la estrategia multiproxy ha sido poco aplicada a cuestiones arqueológicas o se ha centrado en temas muy concretos (p.e., impacto de la minería, Martínez-Cortizas et al., 2013; Pontevedra-Pombal et al., 2013; López-Merino et al., 2014; Silva-Sánchez et al., 2014).

En este sentido, la relación entre clima-actividades humanas es intrínseca, en muchos casos difícil de discernir entre impactos individualizados y factores detonantes. El clima, tal y como se ha ejemplificado mediante numerosos casos, determina los patrones de asentamiento o limita las actividades que se realizan en el territorio, de la misma forma que las actividades humanas modifican el paisaje vegetal y alteran los procesos geomórficos y edáficos locales. La estrategia multiproxy a la que se adapta la presente Tesis Doctoral tiene como objetivo desentrañar los drivers de cambio

ambiental, ya sean por causas climáticas o bien por factores de origen antrópico.

1.4. La estrategia multiproxy y los cambios ambientales de origen antropogénico: Evidencias arqueobotánicas de agricultura Neolítica peninsular

Tradicionalmente se ha considerado que la agricultura en Iberia comenzó en el este peninsular, y se desarrolló como consecuencia directa de las oleadas migratorias procedentes del este del Mediterráneo (Zilhao, 2001; Gamba et al., 2012).

Las primeras evidencias inequívocas de agricultura en Iberia provienen del yacimiento de Mas d'Is (Bernabeu-Aubán et al., 2003), donde los resultados arqueobotánicos apuntan el cultivo de trigo (*Triticum aestivum/durum*, *Triticum monococcum*), en fechas tempranas de 6600±50 AMS ¹⁴C (Zapata et al., 2004; Antolín et al., 2015). Acompañado siempre por otros cereales como la cebada (*Hordeum vulgare*), los cereales van adquiriendo progresiva importancia en el noreste peninsular (Can Sadurní, Antolín y Buxó, 2011; La Draga, Palomo et al., 2011; Revelles et al., 2015), así como en Levante (Cova de les Cendres, Badal et al., 1994 y Cova de l'Or, Hopf, 1966) y Andalucía (Cueva de Murcielagos, Cueva del Toro, Buxó, 1997, Cueva de Bajondillo, Cortés Sánchez et al., 2012 y Cueva de Nerja, Cortés Sánchez et al., 2012, entre otros).

Posteriormente, y ya en el ámbito del interior continental, el estudio liderado por Stika, (2005), señala en el Valle de Ambrona (Soria), la aparición de una agricultura monoespecífica dominada por *Triticum monococcum* y *dicoccum*, con trazas puntuales de *Hordeum*

vulgare, a la vez que la fauna ovicaprina domina el espectro arqueozoológico. Todas las dataciones de los asentamientos de la zona fueron realizadas en material de vida corta (restos carpológicos) demostrando que en menos de 200 años respecto a la costa Mediterránea, la meseta norte ya fue colonizada por diversas oleadas de grupos Neolíticos (Rojo-Guerra et al., 2006). Este nuevo modelo y paradigma de Neolitización peninsular arroja nuevas perspectivas para el interior de Iberia, no sólo en lo referente a la cronología de su aparición (muy anterior a lo considerado en la arqueología tradicional), sino también en cuanto a la definición de las posibles rutas de colonización, profundización en la relación hombre-ambiente, explotación de recursos e incluso en el posible rol del clima respecto a las diversas etapas de colonización de nuevos territorios.

La trazabilidad polínica del grupo Cerealia (ya sea el tipo *Triticum/Hordeum* o *Secale cereale*) en contextos alejados de yacimientos arqueológicos, suele ser complicada (Mercuri et al., 2013a) debido a la baja capacidad de dispersión a causa del gran tamaño que presenta el grano polínico (Fyfe, 2006). En muchos casos, las morfologías similares a otras gramíneas silvestres, como por ejemplo el género *Avena* (Tweddle et al., 2005), dificultan la separación entre los cereales cultivados, incluso cuando diversos análisis biométricos son aplicados al espectro obtenido (Joly et al.,

2007). Por ello, tal como sugiere la literatura arqueobotánica, resulta crucial integrar los resultados palinológicos, carentes de precisión taxonómica detallada, con los procedentes de otros indicadores botánicos de yacimientos arqueológicos (Mercuri et al., 2013a), ya sean en forma de fitolitos (Lancelotti et al., 2014; Ball et al., 2016) o restos carpológicos (Sadori et al., 2010).

1.5. Breve introducción sobre el origen autóctono vs alóctono de taxa arbóreos significativos (*Castanea sativa*, *Juglans regia*, *Olea europea*)

La conquista romana supuso, en términos botánicos, un cambio radical en el paisaje vegetal del sur de Europa, no sólo por las modificaciones forestales asociadas al establecimiento de un nuevo modelo de producción (deforestación a gran escala, expansión de campos de labor, extracción minera y metalurgia) (López-Merino et al., 2014; Silva-Sánchez et al., 2014), sino por la intensificación de una serie de cultivos de gran valor económico que, previamente, aparecían infra-representados en términos paleobotánicos. Durante muchas décadas, la aparición de taxones relevantes en asentamientos romanos como *Castanea sativa* (castaño), *Juglans regia* (nogal), *Ficus carica* (higuera), *Vitis vinifera* (vid) o incluso *Olea europea* (olivo), se asociaban a la introducción o re-introducción durante las primeras conquistas a escala peninsular (Tomqvist et al., 1989), asumiendo erróneamente que se trataba de especies extintas en las etapas gélidas del Último Ciclo Glacial (ver Carrión et al., 1992 para *Juglans regia*, Carrión et al., 2010 para *Olea europea*, Sánchez Goñi, 1988; Conedera et al., 2004; Krebs et al., 2004 para *Castanea sativa*). Pocos trabajos paleobotánicos, ya sea a partir de la palinología o de la antracología, han sido tenidos en cuenta a la hora de discutir el origen de especies clave en la biogeografía histórica peninsular, incluso cuando los resultados fósiles han supuesto una indiscutible evidencia.

Es bien cierto que la conquista romana supuso la expansión de la arboricultura, donde el castaño era una de las especies arbóreas más propicias a ser cultivada (Conedera et al., 2004), especialmente en el centro-norte peninsular, tal y como lo demuestran las secuencias polínicas en el entorno de la Molina (López-Merino et al., 2014), las turberas de Cruz de Bocelo (Silva-Sánchez et al., 2014), y Peña Negra (Abel-Schaad y López-Sáez, 2012), el Lago de Somolinos (Currás et al., 2012), la Sierra de Xistral (Mighall et al., 2006) o zonas próximas al litoral gallego (Desprat et al., 2003).

Arqueobotánicamente, *Castanea sativa* adquiere un rol importante en los espectros carpológicos y antracológicos de diversos castros como el de Las Medulas (López-Merino et al., 2010b). Comparte presencias junto con el nogal y taxones claramente exóticos como *Prunus persica* (Alonso, 2005) o *Cupressus sempervirens*, este último hallado por vez primera en Portugal con una cronología de 135-335 AD (Costa Vaz et al., 2016). En Italia, por ejemplo, la típica asociación de *Olea*, *Juglans*, *Castanea*, es un claro ejemplo de la antropización del paisaje y marcador claro de prácticas agrícolas en las inmediaciones del sitio de estudio (Mercuri et al., 2013b). Este mismo espectro se remonta varios milenios atrás en contextos arqueológicos de Grecia, Turquía y Próximo Oriente (Vermoere et al., 2002; Hajar et al., 2008; Kouli, 2012).

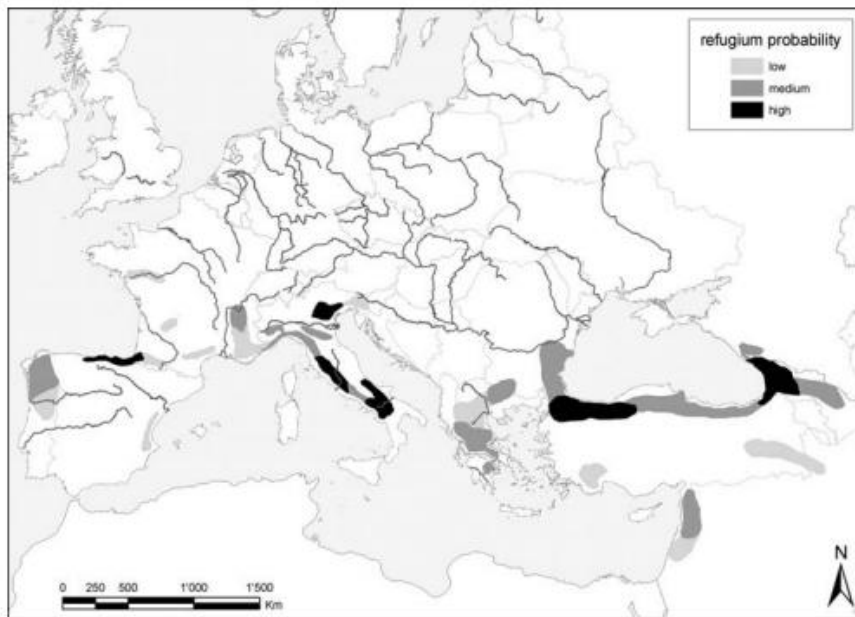


Figura 1.17. Regiones probables para albergar poblaciones de *Castanea sativa* durante el Último Máximo Glacial según la metodología establecida por Krebs et al. (2004). Las base de datos paleobotánica para la realización de dicho modelo se sustenta en Conedera et al. (2004).

No obstante, el origen autóctono del castaño ha sido ampliamente constatado mediante secuencias paleobotánicas claves (Postigo-Mijarra et al., 2008, 2010; González-Sampéiz et al., 2010), cronológicamente delimitadas al Pleistoceno Medio (Valdeolillos-Rodríguez et al., 2011), y Superior (Gómez-Orellana et al., 2007), así como al Tardiglacial (Muñoz-Sobriano et al., 2004). Su presencia durante el Último Máximo Glacial en áreas próximas al litoral cantábrico ha sido también demostrada mediante datos antracológicos (Uzquiano, 1992, 2014; Conedera et al., 2004) y modelos de probabilidad (Krebs et al., 2004) (Figura 1.17). Su expansión postglacial, directamente relacionada con el establecimiento de unas condiciones más húmedas y térmicas (especialmente en la vertiente norte peninsular), supone un claro ejemplo de supervivencia y confirma la existencia de refugios de flora meso-

termófila regionalmente (Ramil-Rego et al., 1998; Magri et al., 2006). De la misma forma, la presencia de *Juglans regia* en etapas previas a la expansión romana ya fue bien constatada por Carrión y Sánchez, (1992) mediante presencias puntuales en numerosas secuencias, tanto Eurosiberianas (Uzquiano et al., 2012; Ruiz-Zapata et al., 2015), como Mediterráneas (Carrión y Sánchez, 1992; Carrión et al., 1995).

Por último, y ya en ámbito puramente Mediterráneo, el olivo (*Olea europaea*) se presenta como claro ejemplo de flora autóctona sensible a los cambios climáticos (Terral and Arnold-Simard, 1996). Distribuido a lo largo de la actual banda termo-Mediterránea (Figura 1.18), las primeras evidencias paleobotánicas se remontan al Mioceno Inferior, Aquitaniense, hace 22 millones de años (Palamarev, 1989). Su persistencia hasta el día de hoy queda

explicada mediante la adaptación evolutiva a los cambios climáticos registrados desde el Neógeno (Terral et al., 2004). La presencia de flora termófila en el sur de Iberia se registra en numerosas secuencias palinológicas (ver revisión de González-Sampériz et al., 2010), de manera similar a otras penínsulas Mediterráneas (Tzedakis et al., 2002; Médail y Diadema, 2009). Los resultados obtenidos en el análisis antracológico de Buraca Grande (Portugal), emplazan presencia *in situ* de *Olea europaea* en pleno Máximo Glacial, 17.850±200 BP (Figueiral y Terral, 2002).

Durante el Tardiglacial, se expande por la costa Mediterránea (e.g., Gorham's Cave, Carrión et al., 2008; Levante, Aura et al., 2005; Andalucía, Aura et al., 2002) y Atlántica portuguesa (Figueiral y Terral, 2002). No obstante, será durante el Holoceno Medio cuando las poblaciones de olivos adquieran su máxima distribución (Carrión et al., 2010) (Figura 1.18), alcanzando áreas bajo la influencia continental y cotas relativamente elevadas (Badal et al., 1994; Rodríguez-Ariza y Moya, 2005). Su difusión ya como cultivo (p.e., Andalucía) comienza en la Edad de Bronce (ver mapas de distribución en Rodríguez-Ariza y Moya, 2005, Breton et al., 2009) con diversas secuencias polínicas señalando frecuencias por encima del 20% (p.e., Zoñar, Martín-Puertas et al., 2008)

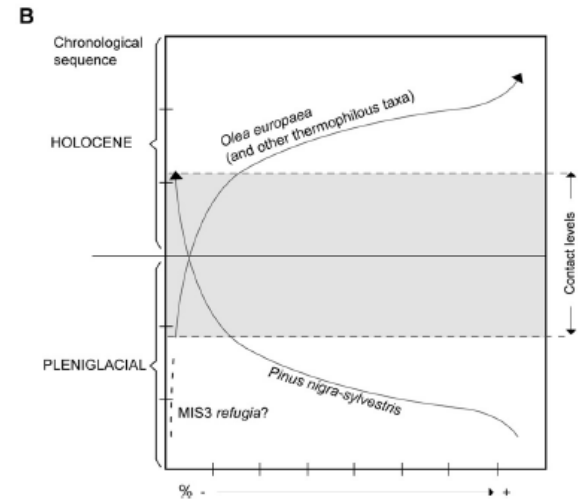
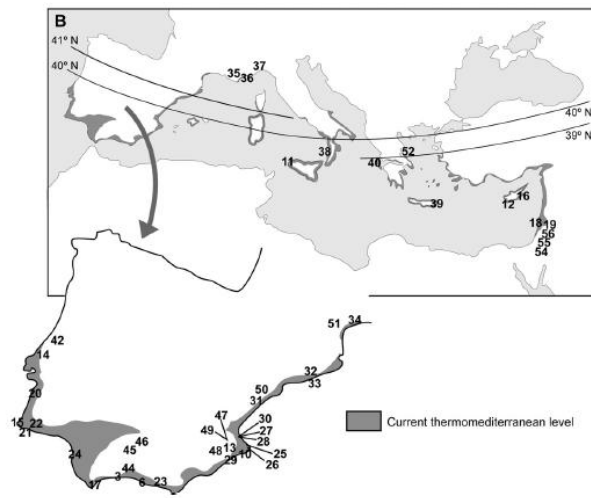
La trazabilidad de *Olea* gracias a su fácil identificación paleobotánica ha servido para visualizar el límite termo-Mediterráneo a lo largo del tiempo, así como para determinar la introducción y difusión de su cultivo. Para el

palinólogo supone un reto inferir variables climáticas o valorar la distribución de la vegetación natural basándose exclusivamente en diagramas polínicos, especialmente en periodos donde el impacto humano es reducido a escala regional y éste no deja una señal clara en los registros fósiles. Además de ello, muchos indicadores como las xerófitas, comúnmente englobados bajo la categoría de ruderales, no pueden utilizarse de manera unidireccional, ya que su ecología es compleja y son múltiples los nichos abarcables por ellas (ver discusión sobre *Artemisia* en Pérez-Sanz et al., 2013). De este modo, las inferencias realizadas a partir de indicadores arqueobotánicos han de ser estudiados desde un punto de vista multiproxy, considerando siempre la asociación polínica, y teniendo en cuenta otro tipo de indicadores, ya sean de carácter geológico o biológico. Señales puntuales obtenidas en secuencias de yacimientos arqueológicos esencialmente, pueden estar fácilmente afectadas por contaminación polínica y no pueden ser consideradas de manera aislada y/o individual. Es necesario explorar nuevos archivos sedimentarios, como por ejemplo terrazas fluviales, tobas y travertinos Cuaternarios, externos a la información arqueológica, donde la combinación de estudios palinológicos clásicos pueden ser confrontados con la caracterización anatómica del material vegetal preservado, testificando así, de manera segura la presencia local de la especie vegetal a discutir (p.e., Follieri et al., 1986; Ali et al., 2003). De este modo, es posible inferir la distribución pretérita de especies de interés biogeográfico, tal y como se ha realizado exitosamente para diversas

1. Introducción

especies como *Pinus nigra* (García-Amorena et al., 2011; Roiron et al., 2013), *P. sabiniana* (Whitaker et al., 2014), *Abies alba* (Di Pasquale et al., 2014), *Taxus baccata* (Uzquiano et al., 2014) o la previamente citada *Olea europaea* (Carrión et al., 2010) (Figura 1.18).

Figura 1.18. Presencia de *Olea europaea* durante el Pleniglacial y el Holoceno Medio en la Cuenca Mediterránea (izquierda). Modelo teórico de zonas de refugio y desarrollo postglacial de *Olea europaea* en la banda termo-Mediterránea (derecha) (Carrión et al., 2010).



Referencias

- Abel-Schaad, D., López-Sáez, J.A., 2012. Vegetation changes in relation to fire history and human activities at the Peña Negra mire (Bejar Range, Iberian Central Mountain System, Spain) during the past 4,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 199–214.
- Alcolea, M., en prensa. Mesolithic fuel use and woodland in the Middle Ebro Valley (NE Spain) through wood charcoal analysis. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.029
- Ali, A.A., Carcaillet, C., Guendon, J.-L., Quinif, Y., Roiron, P., Terral, J.-F., 2003. The Early Holocene treeline in the southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography* 12, 411–419.
- Allen, J.R.M., Huntley, B., Watts, W.A., 1996. The vegetation and climate of northwest Iberia over the last 14 000 yr. *Journal of Quaternary Science* 11, 125–147.
- Allen, J.R.M., Long, A.J., Ottley, C.J., Pearson, D.G., Huntley, B., 2007. Holocene climate variability in northernmost Europe. *Quaternary Science Reviews* 26, 1432-1453.
- Allué, E., Vernet, J.-L., Cebrià, A., 2009. Holocene vegetational landscapes of NE Iberia: charcoal analysis from Cova de la Guineu, Barcelona, Spain. *The Holocene* 19, 765-773.
- Alonso, N., 2005. Agriculture and food from the Roman to the Islamic Period in the North-East of the Iberian peninsula: archaeobotanical studies in the city of Lleida (Catalonia, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 341–361.
- An, C.-B., Tang, L., Barton, L., Chen, F.-H., 2005. Climate change and cultural response around 4000 cal yr B.P. in the western part of Chinese Loess Plateau. *Quaternary Research* 63, 347–352.
- Antolín, F., Buxó, R., 2011. Proposal for the systematic description and taphonomic study of carbonized cereal grain assemblages: A case study of an early Neolithic funerary context in the cave of Can Sadurní (Begues, Barcelona province, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 20, 53–66.
- Antolín, F., Jacomet, S., Buxó, R., 2015. The hard knock life. Archaeobotanical data on farming practices during the Neolithic (5400–2300 cal BC) in the NE of the Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science* 61, 90–104.
- Appleby, A.B., 1986. Epidemics and Famine in the Little Ice Age. *The Journal of Interdisciplinary History* 10, 643-663.
- Arz, H.W., Lamy, F., Pätzold, J., 2006. A pronounced dry event recorded around 4.2 ka in brine sediments from the northern Red Sea. *Quaternary Research* 66, 432–441.
- Aura, J.E., Jordá Pardo, J.F., Pérez Ripoll, M., Rodrigo García, M.J., Badal García, E., Guillem Calatayud, P., 2002. The far south: the Pleistocene–Holocene transition in Nerja Cave (Andalucía, Spain). *Quaternary International* 93–94, 19–30.
- Aura, J.E., Carrión, Y., Estrelles, E., Jordà, G.P., 2005. Plant economy of hunter-gatherer groups at the end of the last Ice Age: plant macroremains from the cave of Santa Maira (Alacant, Spain) ca. 12000–

1. Introducción

- 9000 b.p. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 542–550.
- Aura, J.E., Jordá, J.F., Montes, L., Utrilla, P., 2011. Human responses to Younger Dryas in the Ebro valley and Mediterranean watershed (Eastern Spain). *Quaternary International* 242, 348–359.
- Badal, E., Bernabeu, J., Vernet, J.L., 1994. Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age (7000–4000 B.P.) in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 155–166.
- Baillie, M.G.L., Munro, M. a. R., 1988. Irish tree rings, Santorini and volcanic dust veils. *Nature* 332, 344–346.
- Ball T., Chandler-Ezell K., Dickau R., Duncan N., Hart T.C., Iriarte J., Lentfer C., Logan A., Lu H., Madella M., Pearsall D.M., Piperno D.R., Rosen A.M., Vrydaghs L., Weisskopf A., Zhang J., 2016. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world, *Journal of Archaeological Science* 68, 32–45.
- Bartolomé, M., Moreno, A., Sancho, C., Stoll, H.M., Cacho, I., Spötl, C., Belmonte, Á., Edwards, R.L., Cheng, H., Hellstrom, J.C., 2015. Hydrological change in Southern Europe responding to increasing North Atlantic overturning during Greenland Stadial 1. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 6568–6572.
- Bar-Matthews M., Ayalon A., and Kaufman A., 2000. Timing and hydrological conditions of Saproel events in the Eastern Mediterranean, as evident from speleothems, Soreq Cave, Israel. *Chemical Geology* 169, 145–156.
- Bauer, E., Ganopolski, A., Montoya, M., 2004. Simulation of the cold climate event 8200 years ago by meltwater outburst from Lake Agassiz. *Paleoceanography* 19, PA3014.
- Benito, G., Sopeña, A., Sánchez-Moya, Y., Machado, M.J., Pérez-González, A., 2003. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary Science Reviews* 22, 1737–1756.
- Berger, A., 1988. Milankovitch theory and climate. *Review of Geophysics* 26, 624–657.
- Berke, M.A., Johnson, T.C., Wern, J.P., Schouten, S., Damste, J.S.S., 2012. A mid-Holocene thermal maximum at the end of the African Humid Period. *Earth and Planetary Science Letters* 351–352, 95–104.
- Bernabeu-Aubán, J., Orozco-Köhler, T., Díez-Castillo, A., Gómez-Puche, M., Molina-Hernández, F. J. 2003. Mas d'Is (Penàguila, Alicante): Aldeas y recintos monumentales del neolítico inicial en el valle del Serpis. *Trabajos de Prehistoria* 60, 39–59.
- Bernabeu Aubán, J., Barton, M., Pardo Gordó, S., Bergin, S. M., 2015. Modeling initial Neolithic dispersal. The first agricultural groups in West Mediterranean. *Ecological Modelling* 307, 22–31.
- Bicho, N., Haws, J., Almeida, F., 2011. Hunter-gatherer adaptations and the Younger Dryas in central and southern Portugal. *Quaternary International* 242, 336–347.
- Birks, H.J.B., 1986. Late Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene*

1. Introducción

palaeoecology and palaeohydrology. Wiley, Chichester, pp. 3-65.

Blanco-Castro, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., Garcia, M., Genova, M., Gomez, A., Go´mez, F., Moreno, J.C., Morla, C., Regato, P., Sainz, H., 1997. Los Bosques Ib´ericos: Una Interpretaci3n Geobot´anica. Editorial Planeta, Barcelona, Spain.

Blockley, S.P.E., Lane, C.S., Hardiman, M., Rasmussen, S.O., Seierstad, I.K., Steffensen, J.P., Svensson, A., Lotter, A.F., Turney, C.S.M., Bronk Ramsey, C., 2012. Synchronisation of palaeoenvironmental records over the last 60,000 years, and an extended INTIMATE1 event stratigraphy to 48,000 b2k. *Quaternary Science Reviews*, 36, 2–10.

Blockley, S.P.E., Bourne, A.J., Brauer, A., Davies, S.M., Hardiman, M., Harding, P.R., Lane, C.S., MacLeod, A., Matthews, I.P., Pyne-O'Donnell, S.D.F., Rasmussen, S.O., Wulf, S., Zanchetta, G., 2014. Tephrochronology and the extended INTIMATE (integration of ice-core, marine and terrestrial records) event stratigraphy 8-128 ka b2k. *Quaternary Science Reviews* 106, 88-100.

Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., 1997. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. *Science* 278, 1257-1266.

Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas, I., Bonani, G., 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science* 294, 2130 – 2136.

Bord, R.J., O'Connor, R.E., Fisher, A., 2000. In what sense does the public need to understand global climate change? *Public Understanding of Science* 9, 205–218.

Breton, C., Terral, J.-F., Pinatel, C., M´edail, F., Bonhomme, F., Bervill´e, A., 2009. The origins of the domestication of the olive tree. *Comptes Rendus Biologies* 332, 1059–1064.

Brewer, S., Cheddadi, R., De Beaulieu, J.L., Reille, M., 2002. The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management* 156, 27–48.

Broecker, W.S., Kennett, J.P., Flower, B.P., Teller, J.T., Trumbore, S., Bonani, G., Wolfi, W., 1989. Routing of meltwater from the Laurentide ice sheet during the Younger Dryas cold episode. *Nature* 341, 318-321.

Bronnimann, S., Xoplaki, E., Casty, C., Pauling, A., Luterbacher, J., 2007. ENSO influence on Europe during the last centuries. *Climate Dynamics* 28, 181–197.

Bruins, H.J., MacGillivray, J.A., Synolakis, C.E., Benjamini, C., Keller, J., Kisch, H.J., Klügel, A., van der Plicht, J., 2008. Geoarchaeological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini. *Journal of Archaeological Science* 35, 191–212.

Burjachs, F., Jones, S.E., Giralt, S., Fern´andez-L3pez de Pablo, 2016. Lateglacial to Early Holocene recursive aridity events in the SE Mediterranean Iberian Peninsula: The Salines playa lake case study. *Quaternary International* 403, 187-200.

Bux3, R., 1997. *Arqueolog´ia de las plantas*. Cr´itica, Grijalbo Mondadori.

1. Introducción

- Cacho, C., Martos, J.A., Jordá-Pardo, J., Yravedra, J., Sese, C., Zapata, L., Avezuela, B., Valdivia, J., Ruiz, M., Marquer, L., Martín-Lerma, I., Tejero, J.M., 2012. Human landscapes of the Late Glacial Period in the interior of the Iberian Peninsula: La Pena de Estebanvela (Segovia, Spain). *Quaternary International* 272, 42-54.
- Carcaillet, C., Bouvier, M., Fréchette, B., Larouche, A.C., Richard, P.J.H., 2001. Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *The Holocene* 11, 467-476.
- Carrión, J.S., 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews* 21, 2047-2066.
- Carrion, J.S., Sanchez-Gomez, P., 1992. Palynological data in support of the survival of walnut (*Juglans regia* L.) in the western Mediterranean area during last glacial times. *Journal of Biogeography* 19, 623-630.
- Carrion, J.S., Dupre, M., 1996. Late Quaternary vegetational history at Navarrés, Eastern Spain. A two core approach. *New Phytologist* 134, 177-191.
- 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.
- Carrión, J.S., Dupré, M., Fumanal, M.P., Montes, R., 1995. A Palaeoenvironmental Study in Semi-arid Southeastern Spain: the Palynological and Sedimentological Sequence at Perneras Cave (Lorca, Murcia). *Journal of Archaeological Science* 22, 355-367.
- Carrión, J.S., Andrade, A., Bennett, K.D., Navarro, C., Munuera, M., 2001a. Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11, 635-653.
- Carrión, J.S., Munuera, M., Dupré, M., Andrade, A., 2001b. Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene. *Journal of Ecology* 89, 783-797.
- Carrión, J.S., Yll, E.I., Willis, K.J., Sánchez, P., 2004. Holocene forest history of the eastern plateaux in the Segura Mountains (Murcia, southeastern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 132, 219-236.
- Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J.C., Fernández, S., Andrade, A., 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26, 1455-1475.
- Carrión, J.S., Finlayson, C., Fernández, S., Finlayson, G., Allué, E., López-Sáez, J.A., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G., González-Sampériz, P., 2008. A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: Palaeoecological investigations in Gorham's Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 27, 2118-2135.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010a. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the

1. Introducción

Iberian Peninsula and Balearic Islands. Review of Palaeobotany and Palynology 162, 458–475.

Carrión, J.S., Fernández, S., Jiménez-Moreno, G., Fauquette, S., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Finlayson, C., 2010b. The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. Journal of Arid Environments 74, 731–736.

Carrión, Y., Ntinou, M., Badal, E., 2010. *Olea europaea* L. in the North Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early-Middle Holocene. Quaternary Science Reviews 29, 952–968.

Caruso-Fermé, L., Piqué, R., 2014. Landscape and forest exploitation at the ancient Neolithic site of La Draga. The Holocene 24, 266–273.

Chapman, M.R., Shackleton, N.J., 2000. Evidence of 550-year and 1000-year cyclicities in North Atlantic circulation patterns during the Holocene. The Holocene 10, 287–291.

Clark, P. U., Marshall, S. J., Clarke, G. K., Hostetler, S. W., Licciardi, J. M., and Teller, J. T., 2001. Freshwater forcing of abrupt climate change during the last glaciation, Science, 293, 283–287.

Clausen, H.B., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Dahl-Jensen, D., Steffensen, J.P., Kipfstuhl, J., Legrand, M., 1997. A comparison of the volcanic records over the past 4000 years from the Greenland Ice Core Project and Dye 3 Greenland ice cores. Journal of Geophysical Research 102, 26707–26723.

Colombaroli, D., Tinner, W., Van Leeuwen, J., Noti, R., Vescovi, E., Vannièrè, B., Magny, M., Schmidt, R., Bugmann, H., 2009. Response of broadleaved evergreen Mediterranean forest vegetation to fire disturbance during the Holocene: insights from the

peri-Adriatic region. Journal of Biogeography 36, 314–326.

Condron, A., Winsor, P., 2012. Meltwater routing and the Younger Dryas. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109, 19928-19933.

Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. Vegetation History and Archaeobotany 13, 161–179.

Connor, S.E., Araújo, J., van der Knaap, W.O., van Leeuwen, J.F.N., 2012. A long-term perspective on biomass burning in the Serra da Estrela, Portugal. Quaternary Science Reviews 55, 114-124.

Corlett, R.T., 2015. The Anthropocene concept in ecology and conservation. Trends in Ecology and Evolution 30, 36-41.

Cortés-Sánchez, M., Jiménez Espejo, F.J., Simón Vallejo, M.D., Gibaja Bao, J.F., Carvalho, A.F., Martínez-Ruiz, F., Gamiz, M.R., Flores, J.-A., Paytan, A., López Sáez, J.A., Peña-Chocarro, L., Carrión, J.S., Morales Muñiz, A., Roselló Izquierdo, E., Riquelme Cantal, J.A., Dean, R.M., Salgueiro, E., Martínez Sánchez, R.M., De la Rubia de Gracia, J.J., Lozano Francisco, M.C., Vera Peláez, J.L., Rodríguez, L.L., Bicho, N.F., 2012. The Mesolithic–Neolithic transition in southern Iberia. Quaternary Research 77, 221-234.

Cortés-Sánchez, M., Jiménez-Espejo, F. J., Simón-Vallejo, M. D. Gibaja-Bao, J. F., Faustino-Carvalho, A., Martínez-Ruiz, F., Rodrigo-Gamiz, M., Flores, J. A., Paytan, A., López-Sáez, J. A., Peña-Chocarro, L., Carrión, J. S., Morales-Muñiz, A., Roselló-Izquierdo, E., Riquelme-Cantal, J. A., Dean, R. M., Salgueiro,

1. Introducción

- E., Martínez-Sánchez, R. M., De-la-Rubia-de-Gracia, J. J., Lozano-Francisco, M. C., Vera-Peláez, J. L., Llorente-Rodríguez, L., Bicho, N. F. 2012. The Mesolithic–Neolithic transition in southern Iberia. *Quaternary Research* 77, 221–234.
- Costa Vaz, F., Martín-Seijo, M., Carneiro, S., Tereso, J.P., 2016. Waterlogged plant remains from the Roman healing spa of Aquae Flaviae (Chaves, Portugal): Utilitarian objects, timber, fruits and seeds. *Quaternary International* 404, 86–103.
- Cremaschi, M., Zerboni, A., Mercuri, A.M., Olmi, L., Biagetti, S., di Lernia, S., 2014. Takarkori rock shelter (SW Libya): an archive of Holocene climate and environmental changes in the Central Sahara. *Quaternary Science Reviews* 101, 36–60.
- Cremaschi, M., Mercuri, A.M., Torri, P., Florenzano, A., Pizzi, C., 2016. Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during the Bronze Age: New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio. *Quaternary Science Reviews* 136, 153–172.
- Cullen, H.M., deMenocal, P.B., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F.H., Guilderson, T., Sirocko, F., 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence from the deep sea. *Geology* 28, 379–382.
- Currás, A., Zamora, L., Reed, J.M., García-Soto, E., Ferrero, S., Armengol, X., Mezquita-Joanes, F., Marqués, M.A., Riera, S., Julià, R., 2012. Climate change and human impact in central Spain during Roman times: High-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl). *Catena* 89, 31–53.
- Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N.S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjornsdottir, A.E., Jouzel, J., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364, 218–220.
- Davis, M.B., Shaw, R.G., 2001. Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science* 292, 673–679.
- Davis, B.A.S., Collins, P.M., Kaplan, J.O., 2015. The age and post-glacial development of the modern European vegetation: a plant functional approach based on pollen data. *Vegetation History and Archaeobotany* 24, 303–317.
- Deplazes, G., Lückge, A., Peterson, L.C., Timmermann, A., Hamann, Y., Hughen, K.A., Röhl, U., Laj, C., Cane, M.A., Sigman, D.M., Haug, G.H., 2013. Links between tropical rainfall and North Atlantic climate during the last glacial period. *Nature Geoscience* 6, 213–217.
- Desprat, S., Sanchez Goñi, M.F., 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.
- Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F., Gao, X., 2007. Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters* 34, L11706.
- Di Pasquale, G., Allevato, E., Cocchiara, A., Moser, D., Pacciarelli, M., Saracino, A., 2014. Late Holocene persistence of *Abies alba* in low-mid altitude deciduous forests of central and southern Italy: new perspectives from charcoal data. *Journal of Vegetation Science* 25, 1299–1310.

1. Introducción

- Di Rita, F., Magri, D., 2009. Holocene drought, deforestation and evergreen vegetation development in the central Mediterranean: A 5500 year record from Lago Alimini Piccolo, Apulia, southeast Italy. *The Holocene* 19, 295–306.
- Di Rita, F., Melis, R.T., 2013. The cultural landscape near the ancient city of Tharros (central West Sardinia): Vegetation changes and human impact. *Journal of Archaeological Science* 40, 4271–4282.
- Diodato, N., Bellocchi, G., 2012. Discovering the anomalously cold Mediterranean winters during the Maunder minimum. *The Holocene* 22, 589–596.
- Domínguez-Villar, D., Fairchild, I.J., Baker, A., Wang, X., Edwards, R.L., Cheng, H., 2009. Oxygen isotope precipitation anomaly in the North Atlantic region during the 8.2 ka event. *Geology* 37, 1095–1098.
- Drysdale, R., Zanchetta, G., Hellstrom, J., Maas, R., Fallick, A., Pickett, M., Cartwright, I., Piccini, L., 2006. Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone. *Geology* 34, 101–104.
- Enzel, Y., Bookman (Ken Tor), R., Sharon, D., Gvirtzman, H., Dayan, U., Ziv, B., Stein, M., 2003. Late Holocene climates of the Near East deduced from Dead Sea level variations and modern regional winter rainfall. *Quaternary Research* 60, 263–273.
- Fagan, B., 2008. *The Great Warming: Climate Change and the Rise and Fall of Civilizations*. Bloomsbury, New York. 282 pp.
- Falcucci, A., Maiorano, L., Boitani, L., 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology* 22, 617–631.
- Figueiral, I., Terral, J.-F., 2002. Late Quaternary refugia of Mediterranean taxa in the Portuguese Estremadura: charcoal based palaeovegetation and climatic reconstruction. *Quaternary Science Reviews* 21, 549–558.
- Fiorentino, G., Parra, I., 2015. “Lost” postglacial littoral environments in SE Italy: Anthracological evidence at Grotta delle Mura. *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 198–203.
- Fiorentino, G., Caldara, M., Santis, V.D., D’Oronzo, C., Muntoni, I.M., Simone, O., Primavera, M., Radina, F., 2013. Climate changes and human–environment interactions in the Apulia region of southeastern Italy during the Neolithic period. *The Holocene* 23, 1297–1316.
- Fisher, T.G., Smith, D.G., Andrews, J.T., 2002. Preboreal oscillation caused by a glacial Lake Agassiz flood. *Quaternary Science Reviews* 21, 873–878.
- Fleitmann, D., Burns, S.J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., Matter, A., 2003. Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman. *Science* 300, 1737–1739.
- Follieri, M., Magri, D., Sadori, L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytologist* 103, 269–273.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Sainz Ollero, H., 1998. Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain. *The Holocene* 8, 69–82.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Maldonado Ruiz, J., Morla Juaristi, C., Sainz Ollero, H., 2001.

1. Introducción

The Holocene history of *Pinus* forests in the Spanish Northern Meseta. *The Holocene* 11, 343–358.

Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado-Ruiz, J., Morla-Juaristi, C., Sainz-Ollero, H., 2005. Ancient pine forest on inland dunes in the Spanish northern meseta. *Quaternary Research* 63, 1-14.

Friedrich, W.L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T., Talamo, S., 2006. Santorini eruption radiocarbon dated to 1627–1600 B.C. *Science* 312, 548.

Floyd, C. A., Willis, K.J., 2008. Emerging issues in biodiversity and conservation management: the need for a palaeoecological perspective. *Quaternary Science Reviews* 27, 1723-1732.

Fyfe, R., 2006. GIS and the application of a model of pollen deposition and dispersal: a new approach to testing landscape hypotheses using the POLLANDCAL models. *Journal of Archaeological Science* 33, 483–493

Gamba, C., Fernández, E., Tirado, M., Deguilloux, M.F., Pemonge, M.H., Utrilla, P., Edo, M., Molist, M., Rasteiro, R., Chikhi, L., Arroyo-Pardo, E., 2012. Ancient DNA from an Early Neolithic Iberian population supports a pioneer colonization by first farmers. *Molecular Ecology* 21, 45–56.

García-Amorena, I., Rubiales, J.M., Moreno Amat, E., Iglesias González, R., Gómez-Manzanaque, F., 2011. New macrofossil evidence of *Pinus nigra* Arnold on the Northern Iberian Meseta during the Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163, 281–288.

García Antón, M., Franco-Múgica, F., Morla-Juaristi, C., Maldonado-Ruiz, J., 2011. The biogeographical role of *Pinus* forest on the Northern Spanish Meseta:

a new Holocene sequence. *Quaternary Science Reviews* 30, 757-768.

García-Ruiz, J.M., Palacios, D., Andres, N., de Valero-Garcés, B.L., López-Moreno, J.I., Sanjuán, Y., 2014. Holocene and “Little Ice Age” glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene* 24,1439-1452.

García-Ruiz, J.M., Palacios, D., González-Sampériz, P., de Andrés, N., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gómez-Villar, A., 2016. Mountain glacier evolution in the Iberian Peninsula during the Younger Dryas. *Quaternary Science Reviews* 138, 16-30.

Ghilardi, B., O’Connell, M., 2012. Early Holocene vegetation and climate dynamics with particular reference to the 8.2 ka event: pollen and macrofossil evidence from a small lake in western Ireland. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 99–114.

Gil-García, M.J., Dorado-Valiño, M., Valdeolmillos Rodríguez, A., Ruiz-Zapata, M.B., 2002. Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International* 93-94, 13-18.

Gil-Romera, G., Carrión, J.S., Pausas, J.G., Sevilla-Callejo, M., Lamb, H.F., Fernández, S., Burjachs, F., 2010. Holocene fire activity and vegetation response in South-Eastern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 29, 1082-1092.

Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J.S., Pérez Sanz, A., Aranbarri, J., García-Prieto, E., 2014. Biomass-modulated fire dynamics during the last glacial-interglacial transition at the Central Pyrenees (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 402, 113-124.

1. Introducción

- Giraudi, C., Mercuri, A.M., Esu, D., 2013. Holocene palaeoclimate in the northern Sahara margin (Jefara Plain, northwestern Libya). *The Holocene* 23, 339–352.
- Gómez-Orellana, L., Ramil-Rego, P., Muñoz Sobrino, C., 2007. The Würm in NW Iberia, a pollen record from Area Longa (Galicia). *Quaternary Research* 67, 438–452.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Carrión, J.S., Peña-Monné, J.L., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., 2005. Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: New data and a review. *Quaternary International* 140–141, 4–20.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66, 38–52.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., 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.
- González-Sampérez, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena, M., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez-Bea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71, 121–132.
- González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427–457.
- Goy, J., Zazo, C., Dabrio, C.J., Lario, J., Borja, F., Sierro, F.J., Flores, J., 1996. Global and regional factors controlling changes of coastlines in Southern Iberia (Spain) during the holocene. *Quaternary Science Reviews* 15, 773–780.
- Gritti, E.S., Smith, B., Sykes, M.T., 2006. Vulnerability of Mediterranean Basin ecosystems to climate change and invasion by exotic plant species. *Journal of Biogeography* 33, 145–157.
- Gupta, A.K., Das, M., Anderson, D.M., 2005. Solar influence on the Indian summer monsoon during the Holocene. *Geophysical Research Letters* 32, L17703.
- Haigh, J.D., 2003. The effects of solar variability on the Earth's climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 361, 95–111.
- Hajar, L., Khater, C., Cheddadi, R., 2008. Vegetation changes during the late Pleistocene and Holocene in Lebanon: a pollen record from the Bekaa Valley. *The Holocene* 18, 1089–1099.
- Haldorsen, S., Akan, H., Çelik, B., Heun, M., 2011. The climate of the Younger Dryas as a boundary for Einkorn domestication. *Vegetation History and Archaeobotany* 20, 305–318.
- Hanebuth, T., Stattegger, K., Grootes, P.M., 2000. Rapid flooding of the Sunda Shelf: a late-glacial sea-level record. *Science* 288, 1033–1035.
- Haug, G.H., Günther, D., Peterson, L.C., Sigman, D.M., Hughen, K.A., Aeschlimann, B., 2003. Climate

1. Introducción

and the Collapse of Maya Civilization. *Science* 299, 1731–1735.

Hodell, D. A., M. Brenner, and J. H. Curtis: 2005a, Terminal Classic drought in the northern Maya lowlands inferred from multiple sediment cores in Lake Chichancanab (Mexico). *Quaternary Science Reviews* 24, 1413–1427.

Hoelzmann, P., Keding, B., Berke, H., Kropp, S., Kruse, H.-J., 2001. Environmental change and archaeology: lake evolution and human occupation in the Eastern Sahara during the Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 169, 193–217.

Hopf, M., 1966. *Triticum monococcum* y *Triticum dicoccum* en el Neolítico antiguo español. *Archivo de Prehistoria Levantina* 11, 53–74.

Hu, F.S., Kaufman, D., Yoneji, S., Nelson, D., Shemesh, A., Huang, Y., Tian, J., Bond, G., Clegg, B., Brown, T., 2003. Cyclic Variation and Solar Forcing of Holocene Climate in the Alaskan Subarctic. *Science* 301, 1890–1893.

Hunt, B.G., Elliott, T.I., 2005. A Simulation of the Climatic Conditions Associated with the Collapse of the Maya Civilization. *Climatic Change* 69, 393–407.

Hurrell, J.W., 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science* 269, 676–679.

Iriarte-Chiapusso, M.J., 2009. Vegetation landscape and the anthropization of the environment in the central sector of the Northern Iberian Peninsula: Current status. *Quaternary International* 200, 66–76.

Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., Hernández-Beloqui, B., García-

Moreiras, I., Fernández Rodríguez, C., Heiri, O., Lotter, A.F., Ramil-Rego, P., 2016. Reviewing the Lateglacial-Holocene transition in NW Iberia: a palaeoecological approach based on the comparison between dissimilar regions. *Quaternary International* 403, 211–236.

Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255–290.

Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200, 4–18.

Jambrina-Enríquez, M., Rico, M., Moreno, A., Leira, M., Bernárdez, P., Prego, R., Recio, C., Valero-Garcés, B.L., 2014. Timing of deglaciation and postglacial environmental dynamics in NW Iberia: the Sanabria Lake record. *Quaternary Science Reviews* 94, 136–158.

Jiménez-Espejo, F.J., Martínez-Ruiz, F., Rogerson, M., González-Donoso, J.M., Romero, O., Linares, D., Sakamoto, T., Gallego-Torres, D., Rueda Ruiz, J.L., Ortega-Huertas, M., Pérez Claros, J.A., 2008. Detrital input, productivity fluctuations, and water mass circulation in the westernmost Mediterranean Sea since the last glacial maximum. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 9.

Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., 2012. Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Research* 77, 44–53.

1. Introducción

- Jirikowic, J.L., Damon, P.E., 1994. The medieval solar activity maximum. *Climatic Change* 26, 309–316.
- Joannin, S., Magny, M., Peyron, O., Vannière, B., Galop, D., 2014. Climate and land-use change during the late Holocene at Lake Ledro (southern Alps, Italy). *The Holocene* 24, 591-602.
- Joly, C., Barill e, L., Barreau, M., Mancheron, A., Visset, L., 2007. Grain and annulus diameter as criteria for distinguishing pollen grains of cereals from wild grasses. *Review of Palaeobotany and Palynology* 146, 221-233.
- Kaal, J., Criado-Boado, F., Costa-Casais, M., López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Mighall, T., Carrión, Y., Silva Sánchez, N., Martínez Cortizas, A., 2013. Prehistoric land use at an archaeological hot-spot (the rock art park of Campo Lameiro, NW Spain) inferred from charcoal, synanthropic pollen and non-pollen palynomorph proxies. *Journal of Archaeological Science* 40, 1518–1527.
- Kennett, D.J., Breitenbach, S.F.M., Aquino, V.V., Asmerom, Y., Awe, J., Baldini, J.U.L., Bartlein, P., Culleton, B.J., Ebert, C., Jazwa, C., Macri, M.J., Marwan, N., Polyak, V., Prufer, K.M., Ridley, H.E., Sodemann, H., Winterhalder, B., Haug, G.H., 2012. Development and disintegration of Maya political systems in response to climate change. *Science* 338, 788-791.
- Kodera, K., 2002. Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the NAO, *Geophysical Research Letters* 29, 14557-14560.
- Kouli, K., 2012. Vegetation development and human activities in Attiki (SE Greece) during the last 5,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 267–278.
- Krebs, P., Conedera, M., Pradella, M., Torriani, D., Felber, M., Tinner, W., 2004. Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 285–285.
- Kullman, L., 2008. Early postglacial appearance of tree species in northern scandinavia: review and perspective. *Quaternary Science Reviews* 27, 2467–2472.
- Lancelotti, C., Balbo, A.L., Madella, M., Iriarte, E., Rojo-Guerra, M., Royo, J.I., Tejedor, C., Garrido, R., García, I., Arcusa, H., Pérez Jord , G., Peña-Chocarro, L., 2014. The missing crop: investigating the use of grasses at Els Trocs, a Neolithic cave site in the Pyrenees (1564 m asl). *Journal of Archaeological Science* 42, 456–466.
- Lane, C.S., Blockley, S.P.E., Lotter, A.F., Finsinger, W., Filippi, M.L., Matthews, I.P., 2012. A regional tephrostratigraphic framework for central and southern European climate archives during the Last Glacial to Interglacial Transition: comparisons north and south of the Alps. *Quaternary Science Reviews* 36, 50-58.
- Lane, C.S., Brauer, A., Blockley, S.P.E., Dulski, P., 2013. Volcanic ash reveals time-transgressive abrupt climate change during the Younger Dryas. *Geology* 41, 1251-1254.
- Lean, J., Beer, J., Bradley, R., 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophysical Research Letters* 22, 3195–3198.

1. Introducción

- Lézine, A.-M., Hély, C., Grenier, C., Braconnot, P., Krinner, G., 2011. Sahara and Sahel vulnerability to climate changes, lessons from Holocene hydrological data. *Quaternary Science Reviews* 30, 3001–3012.
- Li, G., Piper, D.J.W., 2015. The influence of meltwater on the Labrador Current in Heinrich event 1 and the Younger Dryas. *Quaternary Science Reviews* 107, 129–137.
- Lillios, K. T., Blanco-González, A., Drake, B. L., López-Sáez, J. A., 2016. Mid-late Holocene climate, demography, and cultural dynamics in Iberia: A multi-proxy approach. *Quaternary Science Reviews* 135, 138-153.
- Long, A.J., Roberts, D.H., Dawson, S., 2006. Early Holocene history of the west Greenland Ice Sheet and the GH-8.2 event. *Quaternary Science Reviews* 25, 904–922.
- Lopez-Bustins, J.-A., Martín-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A., 2008. Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change* 63, 171–176.
- López-Merino, L., Martínez Cortizas, A., López-Sáez, J.A., 2010a. Early agriculture and palaeoenvironmental history in the North of the Iberian Peninsula: a multi-proxy analysis of the Monte Areo mire (Asturias, Spain). *Journal of Archaeological Science* 37, 1978–1988.
- López-Merino, L., Peña-Chocarro, L., Ruiz Alonso, M., López-Saez, J., Sánchez Palencia, F., 2010b. Beyond nature: the management of a productive cultural landscape in Las Medulas area (El Bierzo, Leon, Spain) during pre-Roman and Roman times. *Plant Biosystems* 144, 909-923
- López-Merino, L., Silva Sánchez, N., Kaal, J., López-Sáez, J.A., Martínez Cortizas, A., 2012. Post-disturbance vegetation dynamics during the Late Pleistocene and the Holocene: An example from NW Iberia. *Global and Planetary Change* 92–93, 58–70.
- López-Merino, L., Cortizas, A.M., Reher, G.S., López-Sáez, J.A., Mighall, T.M., Bindler, R., 2014. Reconstructing the impact of human activities in a NW Iberian Roman mining landscape for the last 2500 years. *Journal of Archaeological Science* 50, 208–218.
- López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., 2008. Extreme phases of the wintertime North Atlantic oscillation and drought occurrence over Europe: a multi-temporal-scale approach. *Journal of Climate* 21, 1220–1243.
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., González-Hidalgo, J.C., Morán-Tejeda, E., 2011. The response of Iberian rivers to the North Atlantic Oscillation. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 2581–2597.
- Lowe, J.J., Hoek, W., INTIMATE Group, 2001. Inter-regional correlation of palaeoclimatic records for the Last Glacial-Interglacial Transition: a protocol for improved precision recommended by the INTIMATE project group. *Quaternary Science Reviews* 20, 1175-1187.
- Lowell, T.V., Fisher, T.G., Comer, G.C., Hajdas, I., Waterson, N., Glover, K., Loope, H.M., Schaefer, J.M., Rinterknecht, V., Broecker, W., Denton, G.H., Teller, J.T., 2005. Testing the Lake Agassiz meltwater trigger for the Younger Dryas. *EOS* 86, 365-373.
- Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., 2010. Metal y relaciones sociales de producción durante I III y II

1. Introducción

milenio ANE en el sudeste de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 67, 323–347.

Luoto, T.P., Helama, S., 2010. Palaeoclimatological and palaeolimnological records from fossil midges and tree-rings: the role of the North Atlantic Oscillation in eastern Finland through the Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age. *Quaternary Science Reviews* 29, 2411–2423.

Magny, M., Miramont, C., Sivan, O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 186, 47–59.

Magny, M., Vannière, B., Zanchetta, G., Fouache, E., Touchais, G., Petrika, L., Coussot, C., Walter-Simonnet, A.-V., Arnaud, F., 2009. Possible complexity of the climatic event around 4300–3800 cal. BP in the central and western Mediterranean. *The Holocene* 19, 823–833.

Magny, M., Peyron, O., Sadori, L., Ortu, E., Zanchetta, G., Vanniere, B., and Tinner, W.: 2012. Contrasting patterns of precipitation seasonality during the Holocene in the south- and northcentral Mediterranean, *Journal of Quaternary Science*, 27, 290–296.

Magri, D., Sadori, L., 1999. Late Pleistocene and Holocene pollen stratigraphy at Lago di Vico, central Italy. *Vegetation History and Archaeobotany* 8, 247–260.

Magri, D., Parra, I., 2002. Late Quaternary western Mediterranean pollen records and African winds. *Earth and Planetary Science Letters* 200, 401–408.

Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gõmõry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., van der Knaap, W.O., Petit, R.J., de Beaulieu, J.-L., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 171, 199–221.

Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 218, 267–284.

Mann, M., Cane, M.A., Zebiak, S.E., Clement, A., 2005. Volcanic and solar forcing of the tropical Pacific over the past 1000 years. *Journal of Climate* 18, 447–456.

Martínez-Cortizas, A., Pontevedra-Pombal, X., García-Rodeja, E., Nóvoa-Muñoz, J.C., Shotyk, W., 1999. Mercury in a Spanish Peat Bog: Archive of Climate Change and Atmospheric Metal Deposition. *Science* 284, 939–942.

Martínez-Cortizas, A., López-Merino, L., Bindler, R., Mighall, T., Kylander, M., 2013. Atmospheric Pb pollution in N Iberia during the late Iron Age/Roman times reconstructed using the high-resolution record of La Molina mire (Asturias, Spain). *Journal of Paleolimnology* 50, 71–86.

Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C., Shackleton, N.J., 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research* 27, 1–29.

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Mata, M.P., González-Sampériz, P., Bao, R., Moreno, A., Stefanova, V., 2008. Arid and humid phases in

1. Introducción

southern Spain during the last 4000 years: the Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene* 18, 907-921.

Martin-Vide, J., Lopez-Bustins, J.-A., 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26, 1455–1475.

Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Curt Stager, J., Karlén, W., Maasch, K.A., David Meeker, L., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveland, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R., Steig, E.J., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62, 243-255.

McDermott, F., Matthey, D.P., Hawkesworth, C., 2001. Centennial-scale Holocene climate variability revealed by a high-resolution Speleothem $\delta^{18}O$ record from SW Ireland. *Science* 294, 1328–1331.

Medail, F., Quezel, P., 1999. Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology* 13, 1510–1513.

Medail, F., Diadema, K., 2009. Glacial refugia influence plant diversity patterns in the 1104 Mediterranean Basin. *Journal of Biogeography* 36, 1333-1345.

Medina-Elizalde, M., Rohling, E.J., 2012. Collapse of Classic Maya civilization related to modest reduction in precipitation. *Science* 335, 956–959.

Medina-Elizalde, M., S. J. Burns, D. W. Lea, Y. Asmerom, L. von Gunten, V. Polyak, M. Vuille, and A. Karmalkar., 2010. High resolution stalagmite climate record from the Yucatán Peninsula spanning the Maya terminal classic period, *Earth and Planetary Science Letters*, 298, 255–262.

Mercuri, A.M., 2008. Human influence, plant landscape, evolution and climate inferences from the archaeobotanical records of the Wadi Teshuinat area (Libyan Sahara). *Journal of Arid Environments*. 72, 1950-1967.

Mercuri, A.M., Sadori, L., Uzquiano, P., 2011. Mediterranean and north-African cultural adaptations to mid-Holocene environmental and climatic changes. *The Holocene* 21, 189–206.

Mercuri, A.M., Bandini Mazzanti, M., Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rattighieri, E., Torri, P., 2013a. Anthropogenic Pollen Indicators (API) from archaeological sites as local evidence of human-induced environments in the Italian peninsula. *Annali di Botanica* 3, 143–153.

Mercuri, A.M., Bandini Mazzanti, M., Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rattighieri, E., 2013b. *Olea*, *Juglans* and *Castanea*: The OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula. *Quaternary International* 303, 24–42.

Mighall, T.M., Martínez Cortizas, A., Biester, H., Turner, S.E., 2006. Proxy climate and vegetation changes during the last five millennia in NW Iberia: Pollen and non-pollen palynomorph data from two ombrotrophic peat bogs in the North Western Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 141, 203–223.

Mikolajewicz, U., Crowley, T.J., Schiller, A., Voss, R., 1997. Modeling teleconnections between the North Atlantic and North Pacific during the Younger Dryas. *Nature* 387, 384–387.

Milankovitch, M., 1920. *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. XVI, 338 S. - Paris: Gauthier-Villars,

1. Introducción

- Miyahara, H., K. Kitazawa, K. Nagaya, Y. Yokoyama, H. Matsuzaki, K. Masuda, T. Nakamura., Y. Muraki., 2010. Is the Sun heading for another Maunder Minimum? -Precursors of the grand solar minima, *Journal of Cosmology* 8, 1970–1982.
- Montes, L., Domingo, R., González-Sampériz, P., Sebastián, M., Aranbarri, J., Castañón, P., García-Simón, J.L., Alcolea, M., Laborda, R., 2016. Landscape, resources and people during the Mesolithic and Neolithic times in NE Iberia: the Arba de Biel Basin. *Quaternary International* 403, 133-150.
- 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.
- Morales-Molino, C., García-Antón, M., Postigo-Mijarra, J.M., Morla, C., 2013a. Holocene vegetation, fire and climate interactions on the westernmost fringe of the Mediterranean Basin. *Quaternary Science Reviews* 59, 5–17.
- Morán-Tejeda, E., López-Moreno, I., Ceballos, A., Vicente-Serrano, S., 2011. Evaluating Duero's basin (Spain) response to the NAO phases: spatial and seasonal variability. *Hydrological Processes* 25, 1313–1326.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: the Lake Estanya record (NE Spain) *Quaternary Science Reviews* 28, 2582–2599.
- Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Prins, M.A., Sánchez-Goni, M.-F., Grimalt, J.O., Weltje, G.J., 2002. Saharan Dust Transport and High-Latitude Glacial Climatic Variability: The Alboran Sea Record. *Quaternary Research* 58, 318–328.
- Moreno, A., Stoll, H., Jiménez-Sánchez, M., Cacho, I., Valero-Garcés, B., Ito, E., Edwards, R.L., 2010. A speleothem record of glacial (25–11.6 kyr BP) rapid climatic changes from northern Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change* 71, 218–231.
- Moreno, A., López-Merino, L., Leira, M., Marco-Barba, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., López-Sáez, J.A., Santos, L., Mata, P., Ito, E., 2011. Revealing the last 13,500 years of environmental history from the multiproxy record of a mountain lake (Lago Enol, northern Iberian Peninsula). *Journal of Paleolimnology* 46, 327–349.
- Moreno, A., Pérez, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., Martrat, B., González-Sampériz, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Cacho, I., Herrera, G., Canals, M., Grimalt, J.O., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B.L., 2012. The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews* 43, 16–32.
- Moreno, A., Sancho, C., Bartolomé, M., Oliva-Urcia, B., Delgado-Huertas, A., Estrela, M.J., Corell, D., López-Moreno, J.I., Cacho, I., 2014a. Climate controls on rainfall isotopes and their effects on cave drip water and speleothem growth: the case of Molinos cave (Teruel, NE Spain). *Climate Dynamics* 43, 221–241.
- Moreno, A., Svensson, A., Brooks, S.J., Connor, S., Engels, S., Fletcher, W., Genty, D., Heiri, O., Labuhn, I., Persiou, A., Peyron, O., Sadori, L., Valero-Garcés, B., Wulf, S., Zanchetta, G., 2014b. A compilation of Western European terrestrial records 60-8 ka BP:

towards an understanding of latitudinal climatic gradients. *Quaternary Science Reviews* 106, 167-185.

Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Rodríguez Guitián, M.A., 1997. Upland vegetation in the north-west peninsula after the last glaciation: forest history and deforestation dynamics. *Vegetation History and Archaeobotany* 6, 215–233.

Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Rodríguez Guitián, M.A., 2001. Vegetation in the mountains of northwest Iberia during the last glacial–interglacial transition. *Vegetation History and Archaeobotany* 10, 7–21.

Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., 2004. Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 1–22.

Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., Varela, R.A.D., 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas* 34, 381–400.

Muñoz Sobrino, C., García-Gil, S., Iglesias, J., Martínez Carreño, N., Ferreiro da Costa, J., Díaz Varela, R.A., Judd, A., 2012a. Environmental change in the Ría de Vigo, NW Iberia, since the mid-Holocene: new palaeoecological and seismic evidence. *Boreas* 41, 578-601.

Muñoz Sobrino, C., Heiri, O., Hazekamp, M., van der Velden, D., Kirilova, E.P., García-Moreiras, I., Lotter, A.F., 2013. New data on the Lateglacial period of SW Europe: a high resolution multiproxy record from Laguna de la Roya (NW Iberia). *Quaternary Science Reviews* 80, 58–77.

Murillo-Barroso, M., Ruiz, I. M., Jiménez, G. A., 2015. An insight into the organisation of metal production in the Argaric society. *Journal of Archaeological Science: Reports* 2, 141-155.

Niggemann, S., Mangini, A., Mudelsee, M., Richter, D. K., Wurth, G., 2003. Sub-Milankovitch climatic cycles in Holocene stalagmites from Sauerland, Germany, *Earth and Planetary Science Letters* 216, 539–547.

Noti R, van Leeuwen JFN, Colombaroli D, Vescovi E, Pasta S, La Mantia Tet al. (2009) Mid and late Holocene vegetation and fire history of Biviere di Gela, a coastal lake in southern Sicily. *Vegetation History and Archaeobotany* 8: 371–387.

O'Brien, S.R., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S., Whitlow, S.I., 1995. Complexity of Holocene climate as reconstructed from a Greenland ice core. *Science* 270, 1962 – 1964

Ogi, M., Yamazaki, K., Tachibana, Y., 2003. Solar cycle modulation of the seasonal linkage of the North Atlantic Oscillation (NAO). *Geophysical Research Letters* 30 22, 2170.

Ogilvie, A.E., Barlow, L.K., Jennings, A.E., 2000. North Atlantic climate c AD 1000 –millennial reflections on the Viking discoveries of Iceland, Greenland and North America. *Weather* 55, 34–45.

Orland, I.J., Bar-Matthews, M., Ayalon, A., Matthews, A., Kozdon, R., Ushikubo, T., Valley, J.W., 2012. Seasonal resolution of Eastern Mediterranean climate change since 34 ka from a Soreq Cave speleothem. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 89, 240–255.

Palamarev, E., 1989. Paleobotanical evidences of the Tertiary history and origin of the Mediterranean

1. Introducció

sclerophyll dendroflora. *Plant Systematics and Evolution* 162, 93–107.

Palomo, A., Gibaja, J.F., Piqué, R., Bosch, A., Chinchilla, J., Tarrús, J., 2011. Harvesting cereals and other plants in Neolithic Iberia: the assemblage from the lake settlement at La Draga. *Antiquity* 85, 759–771.

Pang, K.D., Yau, K.K., 2002. Ancient observations link changes in Sun's brightness and Earth's climate. *Eos Transactions of the American Geophysical Union* 83, 481–490.

Pantaléon-Cano, J., Yll, E.-I., Pérez-Obiol, R., Roure, J.M., 2003. Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain). *The Holocene* 13, 109–119.

Parducci, L., Jørgensen, T., Tollefsrud, M.M., Elverland, E., Alm, T., Fontana, S.L., Bennett, K.D., Haile, J., Matetovici, I., Suyama, Y., Edwards, M.E., Andersen, K., Rasmussen, M., Boessenkool, S., Coissac, E., Brochmann, C., Taberlet, P., Houmark-Nielsen, M., Larsen, N.K., Orlando, L., Gilbert, M.T.P., Kjær, K.H., Alsos, I.G., Willerslev, E., 2012. Glacial Survival of Boreal Trees in Northern Scandinavia. *Science* 335, 1083–1086.

Pearson, C., Dale, D., Brewer, P., Kuniholm, P., Lipton, J., Manning, S.W., 2009. Dendrochemical analysis of a tree-ring growth anomaly associated with the late bronze age eruption of Thera. *Journal of Archaeological Science* 36, 1206–1214.

Pèlachs, A., Soriano, J.M., Nadal, J., Esteban, A., 2007. Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science* 3: 421–429.

Pèlachs, A., Julià, R., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Bal, M.-C., Cunill, R., Catalan, J., 2011. Potential influence of Bond events on mid-Holocene climate and vegetation in southern Pyrenees as assessed from Burg lake LOI and pollen records. *The Holocene* 21, 95–104.

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, J., Duplessy, J.C., de Beaulieu L.J., 1997. Termination of the last glaciation in the Iberian Peninsula inferred from the pollen sequence of Quintanar de la Sierra. *Quaternary Research* 48, 205–214.

Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Pontevedra-Pombal, X., Souto-Souto, M., Galop, D., 2016. 8000 years of vegetation history in the northern Iberian Peninsula inferred from the palaeoenvironmental study of the Zalama ombrotrophic bog (Basque-Cantabrian Mountains, Spain). *Boreas*. DOI: 10.1111/bor.12182.

Pérez-Obiol, R., Julià, R., 1994. Climatic Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30,000-Yr Pollen Record from Lake Banyoles. *Quaternary Research* 41, 91–98.

Pérez-Obiol, R., Sadori, L., 2007. Similarities and dissimilarities, synchronisms and diachronisms in the Holocene vegetation history of the Balearic Islands and Sicily. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 259–265.

Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21, 75–93.

1. Introducción

- Pérez-Obiol, R., García-Codron, J. C., Pèlach, A., Pérez-Haase, A., Soriano, J. M., 2016. Landscape dynamics and fire activity since 6740 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain). *Quaternary Science Reviews* 135, 65-78.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampériz, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., Navas, A., 2013. Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 73, 149–169.
- Petit, R.J., Brewer, S., Borda'cs, S., Burg, K., Cheddadi, R., Coart, E., Cottrell, J., Csaikl, U.M., van Dam, B.C., Deans, J.D., Fineschi, S., Finkeldey, R., Glaz, I., Goicoechea, P.G., Jensen, J.S., Köhlig, A.O., Lowe, A.J., Madsen, S.F., Ma'tya's, G., Munro, R.C., Popescu, F., Slade, D., Tabbener, H., de Vries, S.M.G., Ziegenhagen, B., de Beaulieu, J.-L., Kremer, .2002. Identification of refugia and postglacial colonization routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management*. 156, 49–74.
- Pfister, C., Brázdil, R., 2006. Social vulnerability to climate in the "Little Ice Age": an example from Central Europe in the early 1770s. *Climate of the Past* 2, 115–129.
- Pla, S., Catalan, J., 2004. Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene. *Climate Dynamics* 24, 263–278.
- Polyakov, I.V., Johnson, M.A., 2000. Arctic decadal and interdecadal variability. *Geophysical Research Letters* 27, 4097–4100.
- Pontevedra-Pombal, X., Mighall, T.M., Nóvoa-Muñoz, J.C., Peiteado-Varela, E., Rodríguez-Racedo, J., García-Rodeja, E., Martínez-Cortizas, A., 2013. Five thousand years of atmospheric Ni, Zn, As, and Cd deposition recorded in bogs from NW Iberia: prehistoric and historic anthropogenic contributions. *Journal of Archaeological Science* 40, 764–777.
- Postigo-Mijarra, J.M., Morla, C., Barrón, E., Morales-Molino, C., García, S., 2010. Patterns of extinction and persistence of Arctotertiary flora in Iberia during the Quaternary. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162, 416–426.
- Prieto, L., Herrera, R.G., Díaz, J., Hernández, E., del Teso, T., 2004. Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain. *Global and Planetary Change* 44, 59–71.
- Queralt, S., Hernández, E., Barriopedro, D., Gallego, D., Ribera, P., Casanova, C., 2009. North Atlantic Oscillation influence and weather types associated with winter total and extreme precipitation events in Spain. *Atmospheric Research* 94, 675-683.
- Ramil-Rego, P., Rodríguez-Gutián, M., Muñoz-Sobrinho, C., 1998. Sclerophyllous vegetation dynamics in the north of the Iberian Peninsula during the last 16,000 years. *Global Ecology Biogeography* 7, 335–351.
- Renssen, H., Brovkin, V., Fichefet, T., Goosse, H., 2003. Holocene climatic instability during the termination of the African Humid Period. *Geophysical Research Letters* 30, 1184.

1. Introducción

- Revelles, J., Cho, S., Iriarte, E., Burjachs, F., van Geel, B., Palomo, A., Piqué, R., Peña-Chocarro, L., Terradas, X., 2015. Mid-Holocene vegetation history and Neolithic land-use in the Lake Banyoles area (Girona, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 435, 70-85.
- Riehl, S., 2008. Climate and agriculture in the ancient Near East: a synthesis of the archaeobotanical and stable carbon isotope evidence. *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 43–51.
- Rimbu, N., Lohmann, G., Kim, J.-H., Arz, H.W., Schneider, R., 2003. Arctic/North Atlantic Oscillation signature in Holocene sea surface temperature trends as obtained from alkenone data. *Geophysical Research Letters* 30, 1280.
- Roberts, N., Brayshaw, D., Kuzucuoğlu, C., Perez, R., Sadori, L., 2011a. The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *The Holocene* 21, 3–13.
- Roberts, N., Eastwood, W.J., Kuzucuoğlu, C., Fiorentino, G., Caracuta, V., 2011b. Climatic, vegetation and cultural change in the eastern Mediterranean during the mid-Holocene environmental transition. *The Holocene* 21, 147-162.
- Roberts, N., Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., Corella, J.P., Jones, M., Allcock, S., Woodbridge, J., Morellón, M., Luterbacher, J., 2012. Palaeolimnological evidence for a bipolar climate see-saw in the Mediterranean since AD900. *Global and Planetary Change* 84-85, 23-34.
- Rodríguez-Ariza, M.O., Moya, E.M., 2005. On the origin and domestication of *Olea europaea* L. (olive) in Andalucía, Spain, based on the biogeographical distribution of its finds. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 551–561.
- Roiron, P., Chabal, L., Figueiral, I., Terral, J.-F., Ali, A.A., 2013. Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: A review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 194, 1–11.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2006. La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina*. 26 pp. 30–100.
- Ruan, J., Kherbouche, F., Genty, D., Blamart, D., Cheng, H., Dewilde, F., Hachi, S., Edwards, R.L., Régnier, E., Michelot, J.-L., 2016. Evidence of a prolonged drought ca. 4200 yr BP correlated with prehistoric settlement abandonment from the Guedaman GLD1 Cave, Northern Algeria. *Climate of the Past* 12, 1–14.
- Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Hernández, L., Génova, M., Martínez, F., Manzaneque, F.G., Morla, C., 2010. Late Quaternary dynamics of pinewoods in the Iberian Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 476-491.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil García, M.J., Dorado Valiño, M., Valdeolillos Rodríguez, A., Vegas, J., Pérez-González, A., 2002. Clima y vegetación durante el pleistoceno superior y el holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico noroccidental). *Cuaternario y Geomorfología* 16, 9–20.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Vegas, J., Pérez-González, A., 2015. Registro polínico y eventos climáticos de los últimos 30.000 años en la Laguna del Hornillo – LHN (Sierra de Urbión, Sistema Ibérico, España). XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada 2015.

1. Introducción

- Sadori, L., Narcisi, B., 2001. The Postglacial record of environmental history from Lago di Pergusa, Sicily. *The Holocene* 11, 655-671.
- Sadori, L., Giraudi, C., Petitti, P., Ramrath, A., 2004. Human impact at Lago di Mezzano (central Italy) during the Bronze Age: a multidisciplinary approach. *Quaternary International* 113, 5-17.
- Sadori, L., Mercuri, A.M., Mariotti Lippi, M., 2010. Reconstructing past cultural landscape and human impact using pollen and plant macroremains. *Plant Biosystems* 144, 940-951.
- Sadori, L., Jahns, S., Peyron, O., 2011. Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean. *The Holocene* 21, 117-129.
- Sadori, L., Ortu, E., Peyron, O., Zanchetta, G., Vannière, B., Desmet, M., Magny, M., 2013. The last 7 millennia of vegetation and climate changes at Lago di Pergusa (central Sicily, Italy). *Climate of the Past* 9, 1969-1984.
- Sanchez Goni, M.F., 1988. A propos de la présence du pollen de *Castanea* et de *Juglans* dans les sédiments arch ologiques w rmiens anciens du Pays Basque espagnol. *Travaux de la section scientifique et technique. Institut français de Pondichéry* 25, 73-82.
- Santos, L., Vidal Romani, J.R., Jalut, G., 2000. History of vegetation during the Holocene in the Courel and Queixa Sierras, Galicia, northwest Iberian Peninsula. *Journal of Quaternary Science* 15, 621-632.
- Seddon, A.W.R., Mackay, A.W., Baker, A.G., et al., 2014. Looking forward through the past: identification of 50 priority research questions in palaeoecology. *Journal of Ecology* 102, 256-267.
- Seppä, H., Bjune, A.E., Telford, R.J., Birks, H.J.B., Veski, S., 2009. Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. *Climate of the Past* 5, 523-535.
- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., K hl, N., Renssen, H. and Salonen, J.S. 2015. Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *The Holocene* 25:1, 53-63.
- Shindell, D.T., Schmidt, G.A., Mann, M.E., Rind, D., Waple, A., 2001. Solar Forcing of Regional Climate Change During the Maunder Minimum. *Science* 294, 2149-2152.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almqvist-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I., Smeed, D.A., 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature* 423, 853-858.
- Sigl, M., Winstrup, M., McConnell, J.R., Welten, K.C., Plunkett, G., Ludlow, F., Büntgen, U., Caffee, M., Chellman, N., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Kipfstuhl, S., Kostick, C., Maselli, O.J., Mekhaldi, F., Mulvaney, R., Muscheler, R., Pasteris, D.R., Pilcher, J.R., Salzer, M., Sch pbach, S., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Woodruff, T.E., 2015. Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years. *Nature* 523, 543-549.
- Silva-Sánchez, N., Martínez Cortizas, A., López-Merino, L., 2014. Linking forest cover, soil erosion and mire hydrology to late-Holocene human activity and climate in NW Spain. *The Holocene* 24, 714-725.
- Silva-Sánchez, N., Cortizas, A.M., Abel-Schaad, D., López-Sáez, J.A., Mighall, T.M., 2016. Influence of climate change and human activities on the organic and inorganic composition of peat during the "Little

1. Introducción

- Ice Age" (El Payo mire, W Spain). The Holocene. doi:10.1177/0959683616638439
- Smith, B.D., Zeder, M.A., 2013. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene* 4, 8–13.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R., Friedlingstein, P., 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, 1704–1709.
- Sommer, R.S., Kalbe, J., Ekström, J., Benecke, N., Liljegren, R., 2014. Range dynamics of the reindeer in Europe during the last 25,000 years. *Journal of Biogeography* 41, 298–306.
- Srokosz, M., Baringer, M., Bryden, H., Cunningham, S., Delworth, T., Lozier, S., Marotzke, J., Sutton, R., 2012. Past, Present, and Future Changes in the Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, 1663–1676.
- Staubwasser, M., Sirocko, F., Grootes, P.M., Segl, M., 2003. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophysical Research Letters* 30, 1425.
- Straus, L.G., 2011. Were there human responses to Younger Dryas in Cantabrian Spain? *Quaternary International* 242, 328–335.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene Forest History of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603–610.
- Stika, H.-P., 2005. Early Neolithic agriculture in Ambrona, Provincia Soria, central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 189–197.
- Swingedouw, D., Terray, L., Cassou, C., Voldoire, A., Salas-Méla, D., Servonnat, J., 2011. Natural forcing of climate during the last millennium: fingerprint of solar variability. *Climate Dynamics* 36, 1349–1364.
- Tallón-Armada, R., Costa-Casais, M., Schellekens, J., Taboada Rodríguez, T., Vives-Ferrándiz Sánchez, J., Ferrer García, C., Abel Schaad, D., López-Sáez, J.A., Carrión Marco, Y., Martínez Cortizas, A., 2014. Holocene environmental change in Eastern Spain reconstructed through the multiproxy study of a pedo-sedimentary sequence from Les Alcusses (Valencia, Spain). *Journal of Archaeological Science* 47, 22–38.
- Terral, J.-F., Arnold-Simard, G., 1996. Beginnings of Olive Cultivation in Eastern Spain in Relation to Holocene Bioclimatic Changes. *Quaternary Research* 46, 176–185.
- Terral, J.-F., Alonso, N., Capdevila, R.B. i, Chatti, N., Fabre, L., Fiorentino, G., Marinval, P., Jordá, G.P., Pradat, B., Rovira, N., Alibert, P., 2004. Historical biogeography of olive domestication (*Olea europaea* L.) as revealed by geometrical morphometry applied to biological and archaeological material. *Journal of Biogeography* 31, 63–77.
- Tinner, W., Lotter, A.F., 2001. Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology* 29, 551–554.
- Tinner, W., van Leeuwen, J.F.N., Colombaroli, D., Vescovi, E., van der Knaap, W.O., Henne, P.H., Pasta, S., D'Angelo, S., La Mantia, T., 2009. Holocene environmental and climatic changes at Gorgo Basso, a coastal lake in southern Sicily, Italy. *Quaternary Science Reviews* 28, 1498–1510.
- Tornqvist, T.E., Janssen, C.R., Alberti, A.P., 1989. Degradación antropogénica de la vegetación en el

1. Introducción

noroeste de Galicia durante los últimos 2500 años. Cuadernos de Estudios Gallegos 38, 175–198.

Trouet, V., Esper, J., Graham, N.E., Baker, A., Scourse, J.D., Frank, D.C., 2009. Persistent positive north Atlantic oscillation mode dominated the medieval climate anomaly. *Science* 324, 78–80.

Turner, C., Hannon, G.E., 1988. Vegetational Evidence for Late Quaternary Climatic Changes in Southwest Europe in Relation to the Influence of the North Atlantic Ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 318, 451–485.

Tweddle, J.C., Edwards, K.J., Fieller, N.R.J., 2005. Multivariate statistical and other approaches for the separation of cereal from wild Poaceae pollen using a large Holocene dataset. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 15–30.

Tzedakis, P.C., Andrieu, V., de Beaulieu, J.-L., Crowhurst, S., Follieri, M., Hooghiemstra, H., Magri, D., Reille, M., Sadori, L., Shackleton, N.J., Wijmstra, T.A., 1997. Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500,000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 150, 171–176.

Tzedakis, P.C., Lawson, I.T., Frogley, M.R., Hewitt, G.M., Preece, R.C., 2002. Buffered Tree Population Changes in a Quaternary Refugium: Evolutionary Implications. *Science* 297, 2044–2047.

Utrilla, P., Domingo, R., Montes, L., Mazo, C., Rodanés, J.M., Blasco, F., Alday, A., 2012. The Ebro Basin in NE Spain: A crossroads during the Magdalenian. *Quaternary International* 272–273, 88–104.

Uzquiano, P., 1992. The Late Glacial/Postglacial Transition in the Cantabrian Cordillera (Asturias and

Cantabria, Spain) Based on Charcoal Analysis. *Palaios* 7, 540–547.

Uzquiano, P., 2014. Wood resource exploitation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS 2 vegetation dynamics. *Quaternary International* 337, 154–162.

Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornel, L., Piqué, R., Zapata, L., 2014. All about yew: on the trail of *Taxus baccata* in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. *Vegetation History Archaeobotany* 24, 229–247.

Valdeolillos-Rodríguez, A., Dorado-Valiño, M., Ruiz-Zapata, M.B., Alonso-Zarza, A.M., 2011. Middle Pleistocene variations in palaeoclimate, palaeoenvironment and vegetation of the Las Tablas de Daimiel National Park (Spain). *Journal of Quaternary Science* 26, 128–140.

Vannière, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Daniau, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500–2500 cal. BP). *The Holocene* 21, 53–73.

Vegas, J., 2007. Caracterización de eventos climáticos del Pleistoceno superior/Holoceno mediante el estudio sedimentológico de la Laguna Grande (Sierra Neila, NO Sistema Ibérico). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 20, 53–70.

Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, Á., Gil-García, M.J., Pérez-González, A., Gallardo-Millán, J.L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 cal. ka

1. Introducción

- BP from the Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *Journal of Quaternary Science* 25, 1051-1062.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., Valero-Garcés, B., 2013. Diatom and vegetation responses to late glacial and Early-Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392, 335-249.
- Vermoere, M., Bottema, S., Vanhecke, L., Waelkens, M., Paulissen, E., Smets, E., 2002. Palynological evidence for late-Holocene human occupation recorded in two wetlands in SW Turkey. *The Holocene* 12, 569–584.
- Veski, S., Seppä, H., Ojala, A.E.K., 2004. Cold event at 8200 yr B.P. recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. *Geology* 32, 681–684.
- Viau, A.E., Gajewski, K., Sawada, M.C., Fines, P., 2006. Millennial-scale temperature variations in North America during the Holocene. *Journal of Geophysical Research* 111 (D9), D09102.
- Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., 2008a. The nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation. *Journal of Geophysical Research* 113, D20120.
- Wang, Y., Cheng, H., Edwards, R.L., He, Y., Kong, X., An, Z., Wu, J., Kelly, M.J., Dykoski, C.A., Li, X., 2005. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate. *Science* 308, 854–857.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M., 2008. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews* 27, 1791–1828.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S., Jetel, M., 2011. Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews* 30, 3109-3123.
- Webster, J.W., Brook, G.A., Railsback, L.B., Cheng, H., Edwards, R.L., Alexander, C., Reeder, P.P., 2007. Stalagmite evidence from Belize indicating significant droughts at the time of Preclassic Abandonment, the Maya Hiatus, and the Classic Maya collapse. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 250, 1–17.
- Weiss, H., Courtney, M.-A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R., Curnow, A., 1993. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science* 261, 995–1004.
- Welker, F., Duijm, E., van der Gaag, K.J., van Geel, B., de Knijff, P., van Leeuwen, J., Mol, D., van der Plicht, J., Raes, N., Reumer, J., Gravendeel, B., 2014. Analysis of coprolites from the extinct mountain goat *Myotragus balearicus*. *Quaternary Research* 81, 106-116.
- Weninger, B., Alram-Stern, E., Bauer, E., Clare, L., Danzeglocke, U., Jöris, O., Kubatzki, C., Rollefson, G., Todorova, H., van Andel, T., 2006. Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Quaternary Research* 66, 401–420.
- Whitaker, A.R., Rosenthal, J.S., Wohlgemuth, E., 2014. The Holocene biogeography of *Pinus sabiniana* Douglas ex D. Don (gray pine) in

1. Introducción

- California. *Vegetation History and Archaeobotany* 23, 683–692.
- Wicks, K., Mithen, S., 2014. The impact of the abrupt 8.2 ka cold event on the Mesolithic population of western Scotland: a Bayesian chronological analysis using 'activity events' as a population proxy. *Journal of Archaeological Science* 45, 240–269.
- Wiersma, A., Renssen, H., 2006. Model-data comparison for the 8.2 ka BP event: Confirmation of a forcing mechanism by catastrophic drainage of Laurentide Lakes. *Quaternary Science Reviews* 25, 63–88.
- Willcox, G., Buxó, R., Herveux, L., 2009. Late Pleistocene and early Holocene climate and the beginnings of cultivation in northern Syria. *The Holocene* 19, 151–158.
- Williams, J.W., Blois, J.L., Shuman, B.N., 2011. Extrinsic and intrinsic forcing of abrupt ecological change: case studies from the late Quaternary. *Journal of Ecology* 99, 664–677.
- Williams, C., Flower, B.P., Hastings, D.W., 2012. Seasonal Laurentide Ice Sheet melting during the "Mystery Interval" (15.5–14.5 ka). *Geology* 40, 955–958.
- Willis, K.J., van Andel, T.H., 2004. Trees or no trees? The environments of central and eastern Europe during the Last Glaciation. *Quaternary Science Reviews* 23, 2369–2387.
- Willis, K.J., Rudner, E., Sümegei, P., 2000. The Full-Glacial Forests of Central and Southeastern Europe. *Quaternary Research* 53, 203–213.
- Willis, K.J., Araújo, M.B., Bennett, K.D., Figueroa-Rangel, B., Froyd, C.A., Meyers, N., 2007. How can a knowledge of the past help to conserve the future? Biodiversity conservation and the relevance of long-term ecological studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362, 175–186.
- Yokoyama, Y., Lambeck, K., De Deckker, P., Johnston, P., Fifield, I.K., 2000. Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature* 406, 713–716.
- Yll, E.-R., Perez-Obiol, R., Pantaleon-Cano, J., Roure, J.M., 1997. Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca Balearic Islands. *Quaternary Research* 48, 339–347.
- Yu, Z., Campbell, I.D., Campbell, C., Vitt, D.H., Bond, G.C., Apps, M.J., 2003. Carbon sequestration in western Canadian peat highly sensitive to Holocene wet-dry climate cycles at millennial timescales. *The Holocene* 13, 801–808.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M.A., Fairchild, I.J., Grinevald, J., Haff, P.K., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirer, C., Richter, D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, J.P.M., Vidas, D., Wagerich, M., Wing, S.L., Wolfe, A.P., Zhisheng, A., Oreskes, N., 2015b. Disputed start dates for Anthropocene. *Nature* 520, 436.
- Zanchetta, G., Bar-Matthews, M., Drysdale, R.N., Lionello, P., Ayalon, A., Hellstrom, J.C., Isola, E., Regattieri, E., 2014. Coeval dry events in the central and eastern Mediterranean basin at 5.2 and 5.6 ka recorded in Corchia (Italy) and Soreq caves (Israel) speleothems. *Global and Planetary Change* 122, 130–139.
- Zapata, L., Peña-Chocarro, L., Pérez, G., Stika, H.P., 2004. Early Neolithic agriculture in the Iberian

1. Introducción

Peninsula. *Journal of World Archaeology* 18, 285-326.

Zhou, C., M. D. Zelinka., A. E. Dessler., S. A. Klein., 2015. The relationship between interannual and long-term cloud feedbacks. *Geophysical Research Letters* 42, 10,463–10,469.

Zilhão, J., 2001. Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization at the origins of farming in west Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98, 14180–14185.

2 Hipótesis y Objetivos

La localización geográfica de la Península Ibérica, a caballo entre los dominios climáticos Atlántico y Mediterráneo, ha puesto de manifiesto, tal y como se ha ejemplificado en la introducción de la Tesis, una gran diversidad de respuestas ambientales a los cambios climáticos de origen global a lo largo del Cuaternario. La desigualdad de las respuestas, y de aquí parte la hipótesis principal de este trabajo, es fruto de la magnitud del impacto de los cambios climáticos abruptos y de la composición florística de los ecosistemas que condicionarán el paisaje de una región geográfica determinada.

En este sentido, se ha considerado la necesidad de centrar esfuerzos en una de las zonas más complejas y menos estudiadas de Iberia: el interior continental. De hecho, como punto de partida inicial al proyectar esta Tesis Doctoral se planteó la necesidad de testar si, tal como se ha demostrado para zonas de altitud en áreas de ecotono (González-Sampériz et al., 2006; Pérez-Sanz et al., 2013; Camarero et al., 2015), ecosistemas sometidos a extremos, del tipo que sean, son siempre igual de sensibles ante cambios climáticos de diferente o igual magnitud. Teóricamente, un área tipo sometida a extremos es el interior de Iberia, ya que se registran extremos tanto de temperaturas máximas y mínimas por efecto de la continentalidad estacional contrastada como en lo referente a la precipitación (generalmente de escasa a moderada), y por lo tanto a la disponibilidad hídrica existente, altamente influenciada y mermada por las altas tasas de

evapotranspiración potencial que se registran en la actualidad.

Por ello, la región de estudio de la presente Tesis Doctoral se centra en el Sistema Ibérico, área geográfica de grandes contrastes tanto a nivel climático, como geomorfológico o biogeográfico, que difieren a grandes rasgos entre la vertiente norte (de influencia Eurosiberiana) y la sur (Mediterránea continental). Los pocos datos paleoambientales disponibles para el Tardiglacial y el Holoceno han sido obtenidos a partir de turberas y lagos localizados en cotas elevadas (1.200-1.600 m s.n.m.), y han reconstruido la dinámica de la vegetación supra-Mediterránea y su sensibilidad a los cambios climáticos milenarios de manera precisa. Las respuestas de los ecosistemas terrestres ante cambios ambientales han sido especialmente visibles en aquellos registros localizados en la vertiente norte del Sistema Ibérico, como la clásica secuencia de Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994) en la cual registra una de las pocas evidencias a alta resolución del evento del Younger Dryas (Peñalba et al., 1997) a escala peninsular y que divergen con los estudios más meridionales del Sistema Ibérico donde la historia de la vegetación se caracteriza por ser resiliente en largas escalas temporales (p.e., Navarrés, Carrión y van Geel, 1999). Continuando con el Holoceno y siguiendo con ejemplos procedentes de la zona geográfica en la que esta Tesis Doctoral se encuadra, parece existir una inercia o cierto retraso en los cambios de vegetación de acuerdo a los trabajos publicados por Sanchez Goñi y

Hannon, (1999); van Geel y Carrión, (1999); Stevenson, (2000); Ruiz Zapata et al. (2002, 2015); Gil García et al. (2002).

Por lo tanto, y ya planteándonos preguntas concretas, *¿son todas las zonas geográficas igualmente sensibles a la hora de registrar impactos de cambios climáticos abruptos o existe un patrón espacial fruto de las distintas características biogeofísicas de los ecosistemas a estudiar? ¿Es la intervención humana en el paisaje el principal o único agente modelador de la dinámica vegetal a partir del Neolítico o se mantiene cierta sinergia con la variabilidad climática natural? Y si es así, ¿hasta cuándo? ¿Se pueden considerar los cambios de periodos más recientes totalmente desconectados de la acción del clima, independientemente de la localización, características biogeográficas y contingencias históricas de cada ecosistema?*

El principal objetivo de esta tesis por lo tanto se centra en desentrañar cuál ha sido la variabilidad climática del Tardiglacial y Holoceno en el ámbito meso-Mediterráneo del Sistema Ibérico y cuál su impacto en la dinámica de la vegetación. Para ello, se ha seleccionado una estrategia multiproxy aplicada a dos paleolagunas continentales (El Cañizar de Villarquemado y Laguna de Conquezueta), así como a diversos depósitos tobáceos ubicados en las inmediaciones del Parque Natural del Moncayo. La identificación de los factores que han modulado el paisaje vegetal a lo largo del tiempo, las correlaciones existentes con parámetros e indicadores hidrológicos en

distintas escalas espaciales (local, regional, macro-regional y global), así como la sensibilidad de los diferentes ecosistemas ante la acción de eventos climáticos globales son los objetivos esenciales que se persiguen en este trabajo. Complementariamente, se ha pretendido trazar el origen y la historia biogeográfica de especies meso-termófilas en distintas ventanas espacio-temporales dentro del periodo considerado en la Tesis Doctoral.

Además de ello, los objetivos específicos son:

- 1) Detallar a respuesta de los ecosistemas terrestres a las diferentes oscilaciones climáticas de escala milenaria acaecidas durante los últimos 13.500 años en ámbito Mediterráneo continental.
- 2) Detectar el posible impacto de cambios climáticos abruptos (CCA) a partir de nuevas secuencias polínicas y sedimentológicas de alta resolución y cronológicamente bien delimitadas en aquellas áreas donde los estudios paleoambientales son fragmentarios.
- 3) Establecer un modelo bioestratigráfico para las regiones continentales Mediterráneas a partir de la correlación de secuencias.
- 4) Distinguir entre los forzamientos climáticos y antropogénicos durante el Holoceno Medio-Tardío mediante la comparación de datos sedimentológicos, geoquímicos, palinológicos y arqueobotánicos.

2. Hipótesis y Objetivos

5) Indagar en el posible rol de la variabilidad climática en la dinámica de las ocupaciones humanas así como su papel en la expansión de diversas actividades socio-económicas.

6) Explorar el potencial paleoambiental de archivos de origen terrestre poco utilizados para estudios palinológicos como tobas y travertinos Cuaternarios para ampliar el conocimiento de la paleoflora peninsular.

7) Determinar el origen nativo vs introducido de especies arbóreas de especial interés a nivel palinológico y antracológico con el objetivo de detallar su historia y distribución paleobiogeográfica.

8) Conocer la ubicación de la flora meso-termófila en Iberia, utilizando como ejemplo el avellano (*Corylus avellana*), durante el Último Máximo Glacial y su expansión posterior, a partir de la revisión y tratamiento crítico del material publicado hasta a día de hoy a escala peninsular.

En definitiva, los objetivos de la Tesis Doctoral se centran en generar nueva información paleoambiental, utilizando como indicador primario el contenido polínico de distintos archivos sedimentarios, correlacionando los resultados con proxies de naturaleza geológica (sedimentología y geoquímica, esencialmente). El material analizado por lo tanto, arrojará datos novedosos sobre la dinámica de la vegetación a escala cuaternaria y sus posibles implicaciones climáticas y/o humanas en una zona donde la

información paleoambiental se caracteriza por ser fragmentaria y poco detallada.

Referencias

- Camarero, J.J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Oliva, J., Vicente-Serrano, S.M., 2015. To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *Journal of Ecology* 103, 44–57.
- 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.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66, 38-52.
- 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, J., Duplessy, J.C., de Beaulieu J.S. L.J., 1997. Termination of the last glaciation in the Iberian Peninsula inferred from the pollen sequence of Quintanar de la Sierra. *Quaternary Research* 48, 205–214.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampériz, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., Navas, A., 2013. Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 73, 149-169.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil García, M.J., Dorado Valiño, M., Valdeolillos Rodríguez, A., Vegas, J., Pérez-González, A., 2002. Clima y vegetación durante el pleistoceno superior y el holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico noroccidental). *Cuaternario y Geomorfología* 16, 9–20.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Vegas, J., Pérez-González, A., 2015. Registro polínico y eventos climáticos de los últimos 30.000 años en la Laguna del Hornillo – LHN (Sierra de Urbión, Sistema Ibérico, España). XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada 2015.
- Sánchez Goñi, M.F., Hannon, G.E., 1999. High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *The Holocene* 9, 39-57.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene forest history of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603-610.

3

Área de Estudio

3.1 El entorno lacustre del Cañizar de Villarquemado

La Laguna del Cañizar de Villarquemado se sitúa en el valle del Alto Jiloca, dentro del ámbito geológico del Sistema Ibérico y encuadrado en la unidad geomorfológica denominada Fosa del Jiloca. A una cota de 987 m s.n.m., limita al oeste con la Sierra de Albarracín y al este con la Sierra de Palomera (Figura 3.1).

La depresión del Jiloca, con una largura de 60 km y 6-10 km de ancho, constituye una cuenca endorreica delimitada en su parte oriental por una serie de fallas, las cuales generan una fosa tectónicamente activa de edad Plio-Cuaternaria (Simón, 1989) (Figura 3.1). Además, la cuenca está afectada por un rebajamiento kárstico de tipo polje, cuyo origen parece vincularse a los mencionados procesos neotectónicos (Gracia et al., 2003; Gutiérrez et al., 2008, 2012; Lafuente et al., 2011). En las parameras de la fosa del Jiloca diversos glaciares y conos aluviales cuaternarios representan las geoformas más características del valle (Figura 3.1) formando un paisaje activo, salpicado por unos suelos pobres y poco evolucionados que condicionan, en gran medida, el paisaje vegetal del entorno. A nivel geológico, la cuenca forma parte de una serie de sistemas intramontanosos del Sistema Ibérico, que se originaron en la fase extensional que comenzó en el Plioceno Superior (Simón, 1989; Casas-Sáinz y de Vicente, 2009; Simón et al., 2010). La apertura hacia condiciones exorreicas no ocurre hasta el Neógeno y Plio-

Cuaternario (Gutiérrez y Gracia, 1997) que es cuando la red de drenaje, dominada por el Río Jiloca, captura y erosiona las cuencas. El centro de la fosa se mantuvo endorreica, explicando la presencia de la Laguna del Cañizar de Villarquemado a lo largo del Pleistoceno Superior y el Holoceno. No obstante, la laguna fue completamente drenada de manera artificial en el siglo XVIII, después de varios intentos a lo largo del último milenio (Rubio, 2004).

La laguna del Cañizar se sustenta sobre depósitos Cuaternarios de origen lacustre, intercalados por múltiples capas de material aluvial procedente de las Sierras Albarracín y Palomera (Figura 3.1). Los materiales acumulados son de origen Mesozoico y se caracterizan por estar formados por calizas y dolomías del Jurásico, afloramientos de areniscas y cuarcitas del Ordovícico y Silúrico y margas del Permo-Trias (Figura 3.1).

3. Área de Estudio

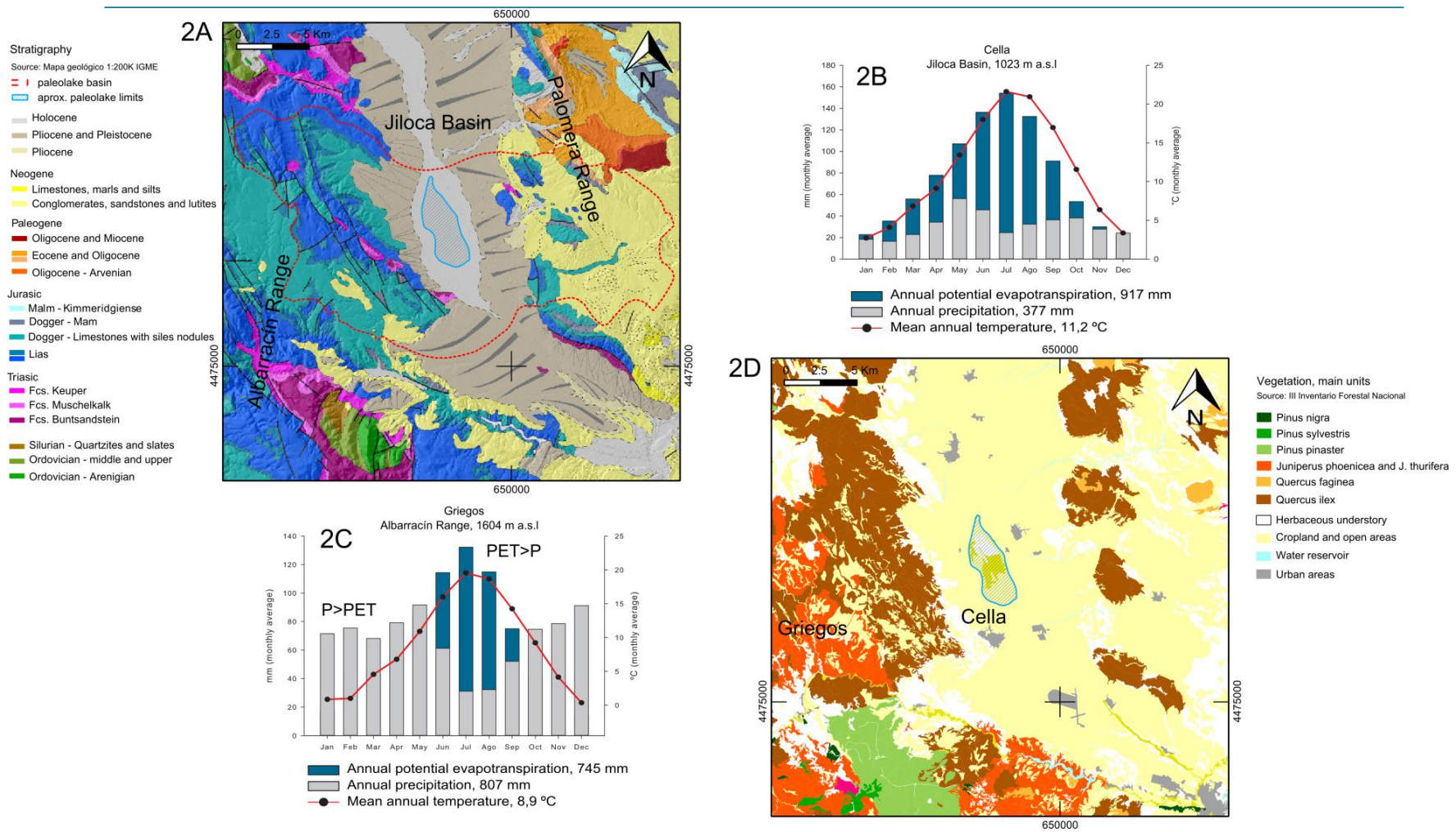


Figura 3.1. Aspectos más relevantes de la geología y geomorfología de la Fosa del Jiloca (2A), así como su régimen termopluviométrico (2B, 2C) y sus comunidades forestales dominantes (2D). Se señala también la localización de la laguna.

Según los resultados de la Tesis Doctoral de Rubio, (2004), la extensión alcanzada por la laguna era de unos 11,3 km², con una lámina de agua entre 1,7 y 2,8 m, la cual la convertía en una de las lagunas continentales más extensas a nivel peninsular. Tal y como se ha mencionado anteriormente, la laguna fue totalmente desecada para erradicar las fiebres palúdicas y evitar problemas de higiene. La desecación se realizó mediante la construcción de una acequia, la “Acequia Madre” cuya longitud alcanzaba los 22 km y que sigue formando parte del paisaje de la zona. Merece destacar que la Laguna del Cañizar comenzó a recuperarse en 2006 gracias al ímpetu y la ardua labor promovida por la Fundación Laguna del Cañizar, convirtiéndola en un ecosistema único en la zona y con un gran potencial para albergar numerosas poblaciones de aves y fauna adaptada a ambientes lacustres. Por desgracia, la falta de apoyos por parte de las instituciones y sobretodo la presión ejercida por numerosos colectivos locales (agricultores esencialmente), han provocado el abandono de la laguna y la disrupción ecológica del mismo.

El clima a nivel regional se caracteriza por ser del tipo Mediterráneo continental, con unas oscilaciones térmicas acusadas tanto a escala diaria como estacional. La temperatura media anual es de 11°C, con una amplitud térmica que llega a alcanzar los 15-20°C en la propia depresión (Figura 3.1, estación meteorológica de Cella) Las heladas son comunes entre Noviembre y Marzo. La precipitación anual es de unos 400 mm, aumentando ligeramente

conforme nos acercamos a las estribaciones montañosas (López-Martín et al., 2007). La escasez pluviométrica es explicada por su localización geográfica, ubicada a sotavento del Sistema Ibérico y en particular de la Sierra de Albarracín, dificultando la penetración de frentes de origen Atlántico además de los Mediterráneos, que rápidamente son interceptados por las Sierras exteriores de Gúdar-Javalambre.

En cambio, las zonas elevadas de la Sierra de Albarracín reciben un input de precipitación asociado al gradiente orográfico (Figura 3.1, estación meteorológica de Griegos). Una baja temperatura mensual junto con una distribución equitativa de las precipitaciones se traduce en una reducida tasa de evapotranspiración en comparación a las parameras del valle, factores climáticos que facilitan la presencia de vegetación planocaducifolia en el piso supra-Mediterráneo.

La heterogeneidad geológica explica en gran medida la gran diversidad de paisajes vegetales que encontramos en la zona de estudio (Figura 3.2). La laguna del Cañizar de Villarquemado se ubica en el piso meso-Mediterráneo, caracterizado por un bosque esclerófilo dominado por encinares (*Quercus ilex*) y quejigales (*Q. faginea*) con abundante matorral xerofítico (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Genista scorpius*, *Ephedra fragilis*) (Figura 3.1). En las parameras calcícolas con suelos pobremente evolucionados, son los

sabinares los que adquieren protagonismo (*Juniperus phoenicea*, *J. thurifera*) (Ollero y van Staalduin, 2012) (Figura 3.2).

En las zonas por encima de 1.500 m, ya en plena Sierra de Albarracín y en las inmediaciones de Orihuela del Tremedal, los pinares de tipo albar y negro (*Pinus sylvestris* y *P. nigra*, respectivamente) predominan en el piso supra-Mediterráneo (Figura 3.1), acompañado por abundante matorral compuesto por *Buxus sempervirens*, *Juniperus sabina*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Erinacea anthyllis*, *Berberis vulgaris* y *Amelanchier ovalis*. Asimismo, en las vaguadas y zonas de umbria diversas especies caducifolias aparecen acantonadas, como el abedul (*Betula pendula*), melojos (*Quercus pyrenaica*), avellanos (*Corylus avellana*) y arces (*Acer monspessulanum*), entre otros.

Cabe destacar el predominio del pinar de rodeno (*Pinus pinaster*) sobre las areniscas del Buntsandstein (Figura 3.1) junto con la típica asociación de matorral acidófilo dominado por jaras (*Cistus* sp.) y brezos (*Ericaceae*), principalmente.

En los cursos fluviales los chopos (*Populus nigra*), álamos (*Populus alba*, *P. tremula*), olmos (*Ulmus minor*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*), sauces (*Salix atrocinerea*) y saúcos (*Sambucus nigra*, *S. ebulus*), componen el bosque ripario. De la misma forma, la vegetación de la Laguna del Cañizar, comprende la típica vegetación lacustre de ambientes poco profundos, cuyas

especies características, se listan como *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *T. dominguensis*, y *Scirpus lacustris* subsp. *lacustris*, prados húmedos de *Agrostis stolonifera*, además de las plantaciones de *Populus canadensis*, *Salix alba*, *S. fragilis*, mimbreras (*Salix purpurea*) y *Tamarix africana*. En los prados salinos predominan *Limonium costae*, *Artemisia caerulea*, *Suaeda spicata*, *Plantago maritima*, *Linum maritimum*, *Glaux maritima*, además de diversas especies nitrófilas como *Echium vulgare*, *Bassia scoparia*, *Malva sylvestris*, *Verbena officinalis*, *Portulaca oleracea*, *Atriplex patula*, *Amaranthus* sp., *Chenopodium album*, entre otros.

A pesar de que existen vestigios arqueológicos en la provincia, cronológicamente emplazados en el Pleistoceno Medio-Superior (e.g., Las Callejuelas, Domingo et al., en prensa), Magdalenense (Utrilla et al., 2012) y ya recientemente al Epipaleolítico Superior o Mesolítico (e.g., Los Baños de Ariño, Badal, 2004; González-Sampériz, 2004; Utrilla y Rodanes, 2004; Alcolea, en prensa; Angel I, Alcolea, en prensa), la densidad de ocupación a lo largo de la prehistoria turolense no se caracteriza por ser excesivamente alta (Montes et al., 2006). Las primeras evidencias notorias de impacto humano en el paisaje vegetal se remontan a la Edad de Bronce (Burillo y Picazo, 1991), donde destaca la explotación minera de la Loma de la Tejería en la Sierra de Albarracín (Montero Ruiz y Rodríguez de la Esperanza, 2008), pero es especialmente visible ya en época romana cuando se fundan los núcleos

3. Área de Estudio

urbanos de Cella y Gea de Albarracín (Vicente-Redón, 2002) y se expanden las actividades económicas en la región (Rubio, 2004).

3. Área de Estudio



Figura 3.2. Ejemplo de las diferentes comunidades de las inmediaciones de Villarquemado y la Sierra de Albarracín. Sabinars sobre suelos calcáreos (superior izquierda), encinares y quejigares en las inmediaciones de la Sierra Palomera (superior derecha), pinares de alta montaña (inferior izquierda) y pinares de rodeno (inferior derecha).

3.2. El paisaje del Valle de Conquezueta-Ambrona y su relevancia arqueo-paleontológica

El Valle de Conquezueta-Ambrona se localiza en la provincia de Soria, concretamente en la conexión entre el Sistema Ibérico y el Sistema Central, a unos 1000 m.s.n.m. Su geología se encuadra en el extremo oriental del Sistema Central, concretamente en la cuenca Terciaria de Almazán, donde se desarrolla un polje en estructura anticlinal (Polje de Conquezueta) (Pérez-González et al., 1997a). En ella, se reconocen diversas superficies de erosión de cronología Neógena además de los procesos de ladera y la rápida erosión fluvial activada durante el Pleistoceno Medio. Los materiales que afloran pertenecen al Triásico, facies Bundtsestein, Muschelkalk y Keuper, siendo también reconocibles materiales del Jurásico y del Cretácico (Figura 3.3).

A nivel geomorfológico y de acuerdo a los trabajos llevados a cabo por Butzer (1965) y Howell et al. (1995), las terrazas fluviales son las geoformas características del paisaje del Valle de Ambrona, cronológicamente emplazadas en el Cuaternario reciente, y que son resultado de la erosión remontante producida por el Río Masegar. A esta serie de aterrazado fluvial, denominada Formación Torralba (Pérez-González et al., 1997a; Sántoja y Pérez-González, 2010), se vinculan los yacimientos Pleistocenos de Ambrona (350.000 años BP) y Torralba (250.000 años BP) (Falguères et al., 2006), los cuales, tal y como se mencionará posteriormente, contienen abundante restos de fauna vertebrada bien

adaptada a un ecosistema lacustre (Pérez-González et al., 1997b; Villa et al., 2005) dominado regionalmente por un paisaje de coníferas y vegetación Mediterránea (Ruiz-Zapata et al., 2003). La Formación Torralba, está constituida esencialmente por depósitos detríticos de ladera y fluviales intercalados por margas de origen lacustre somero, que atestiguan el desarrollo de una enorme laguna cuyo origen es previo a la glaciación Riss-Wurm (Pérez-González et al., 1997a).

La Laguna de Conquezueta fue desecada en el año 1969 para expandir diversas actividades agrícolas en el valle y facilitar la concentración parcelaria de las tierras. En el año 2009, se redactó un proyecto para la recuperación parcial de laguna y de re-vegetación de la misma. No obstante, a día de hoy el proyecto no se ha llevado a cabo.

A nivel climático, la región de Conquezueta se emplaza dentro del clima Mediterráneo continental, caracterizado por inviernos fríos, veranos suaves y con una oscilación térmica acusada. La temperatura anual en la estación meteorológica de Valdecubo, ubicada a 1100 m s.n.m., es de 10.8 °C con una precipitación media de 470 mm. El régimen pluviométrico, asociado a la deriva meridional de los frentes atlánticos, es típicamente Mediterráneo, mostrando los valores máximos en los meses primaverales, seguido de un segundo repunte en los meses de otoño. El desarrollo de

.tormentas convectivas a finales de verano, contribuye en parte al input pluviométrico. No obstante, existe una sequía estival acusada entre los meses de Julio-Septiembre que produce un déficit hidrológico negativo a nivel de cuenca, siendo los valores de evapotranspiración de 700 mm.

La vegetación de las inmediaciones de la laguna ha sido modificada notablemente (Figura 3.4), siendo los campos de girasoles, de trigo y de lino, el paisaje característico del valle de Conquzuela-Amborna en la actualidad (Stika, 2005). Las zonas boscosas relictas, emplazadas en el piso meso-Mediterráneo, están formadas por encinares (*Quercus rotundifolia*) y quejigares (*Q. faginea*) con matorral denso dominado por *Juniperus communis*, *Cistus laurifolius*, *Thymus zygis*, *T. vulgaris*, *T. mastichinia* y *Lavandula pedunculata*. Los melojares (*Q. pyrenaica*) con *Crataegus monogyna*, *Rosa canina* y *Prunus spinosa*, predominan sobre el sustrato ácido del Bundtsestein (Figura 3.3).

Las comunidades vegetales de las parameras calcáreas, actualmente degradadas debido a la presión ganadera y a la expansión de las actividades agrícolas, se caracterizan por un matorral xerofítico dominado por *Genista scorpius*, *G. pumila* y *Erinacea anthyllis* (Figura 3.3). El estrato arbóreo es prácticamente inexistente o aparece puntualmente salpicado por alguna sabina.

3. Área de Estudio

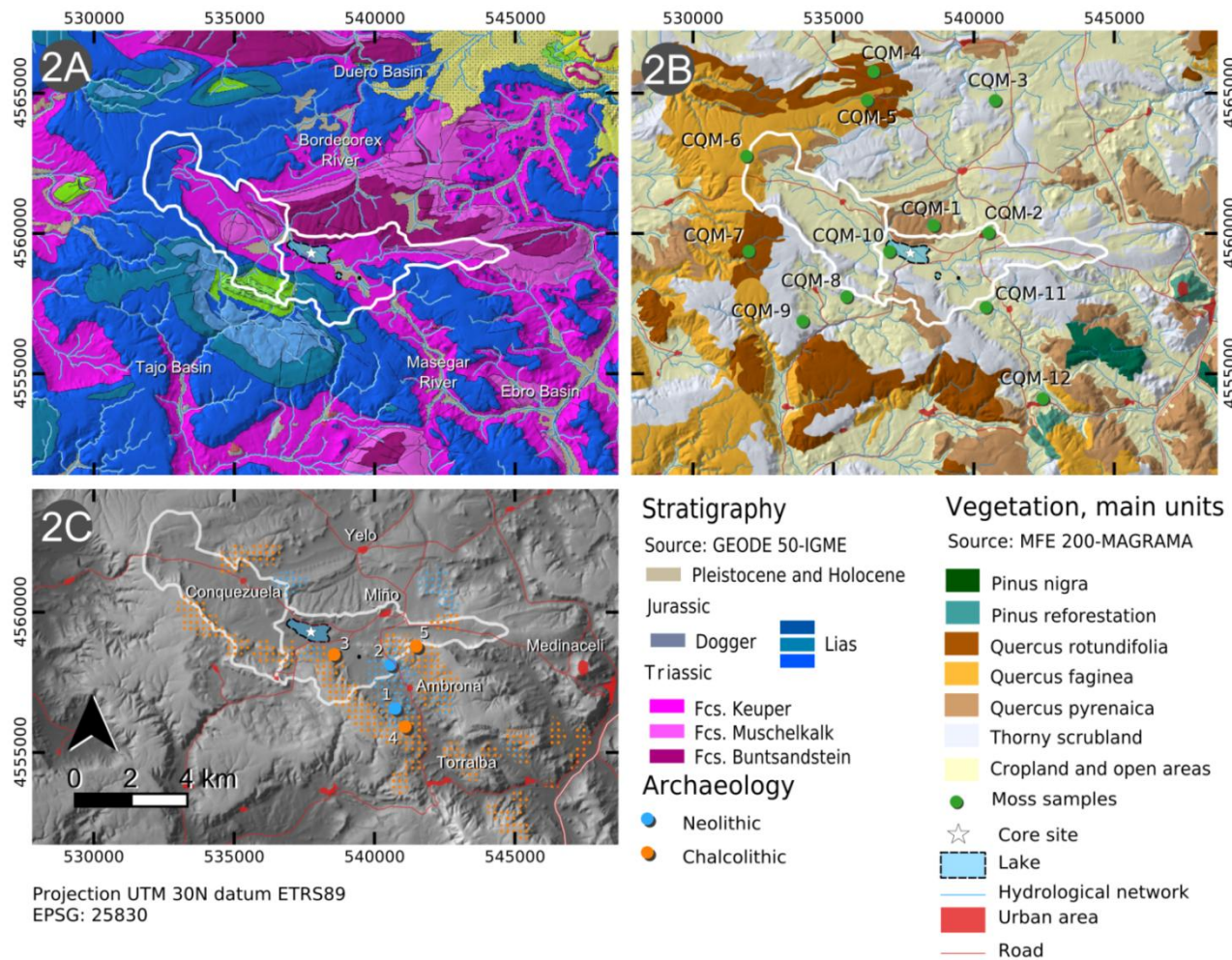


Figura 3.3. Aspectos más relevantes de la geología y geomorfología del Valle de Ambrona (2A), así como sus comunidades forestales principales (2B). Se presenta la distribución de asentamientos Neolíticos y Calcolíticos (2C) estudiados por Morán-Dauchez, 2006 y Rojo-Guerra et al. (2006).

Los pinares, en contraposición a los estudios palinológicos previos llevados a cabo en la región (Ruiz-Zapata et al., 2003), son prácticamente inexistentes, siendo las manchas de *Pinus sylvestris*, *P. nigra* y *P. halepensis*, localizadas al este del valle (Figura 3.3), fruto de las políticas de repoblación llevadas cabo en las últimas décadas.

Vinculado a las particularidades geomorfológicas previamente citadas, y sobre todo a la existencia de un amplio cuerpo de agua, las primeras ocupaciones humanas en el Valle de Ambrona se remontan al Achelense Inferior, ca. 350.000 años (Butzer, 1965; Villa y D'Errico, 2001; Falguères et al., 2006; Santoja y Pérez-González, 2010). La abundante industria lítica hallada, atestigua que la zona era propicia para albergar poblaciones humanas en las inmediaciones de un ecosistema fluviolacustre (Terradillos-Bernal y Rodríguez, 2012; de Lombera-Hermida et al., 2015). La presencia de fauna Meso-Pleistocena, representada por los restos del emblemático *Palaeoloxodon antiquus* o *Equus caballus torralbae* (Pérez-González et al., 1997b; Soto et al., 2001), ha dado lugar a múltiples teorías y debates sobre el posible rol humano en la acumulación de restos de megafauna (Villa, 1990; Villa et al., 2005).

Ya con cronología postglacial, las investigaciones realizadas a lo largo de las últimas décadas en el entorno lacustre de Conquezueta-Ambrona (Kunst y Rojo-Guerra, 1999), han establecido la evolución cronocultural de las principales ocupaciones humanas

a lo largo del Valle de Ambrona. Estas pueden resumirse en:

- Una primera oleada de grupos Neolíticos que colonizan tierras sorianas hace aproximadamente 7.200 cal BP (Neolítico Temprano) como bien lo demuestran las numerosas dataciones radiométricas realizadas en material de vida corta (e.g. granos de cereal, fauna ovicaprina) (e.g. núcleos poblados de La Lámpara y La Revilla, Stika, 2005; Rojo-Guerra et al., 2005, 2008). No se han encontrado evidencias Mesolíticas en el entorno.
- La expansión de asentamientos durante el Neolítico Medio y Tardío (ca. 6.450–4.950 cal BP), muchas de ellas próximas al entorno lacustre (Morán-Dauchez, 2006).
- incremento del número de yacimientos Calcolíticos y estructuras funerarias, ampliamente constatadas y cronológicamente delimitadas, a lo largo de todo el Valle de Ambrona (Rojo-Guerra et al., 2006).

3. Área de Estudio



Figura 3.4. Vistas panorámicas de los distintos paisajes del Valle de Ambrona.

3.3. El paisaje fluvial de los ríos Queiles y Val

Las tobas fluviales de los ríos Queiles y Val se localizan en la vertiente norte de la Sierra del Moncayo, Sistema Ibérico, y están administrativamente encuadradas en la provincia de Soria. Ambos ríos discurren por materiales Mesozoicos de la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, y Terciarios de la Cuenca del Ebro (Figura 3.5). En el área de estudio afloran rocas carbonatadas Jurásicas plegadas, con disposición E-O. Hacia el NE se disponen discordantemente sedimentos Terciarios detríticos. Tanto unos como otros aparecen recubiertos por un extenso nivel de piedemonte de edad Plio-Cuaternaria (Pellicer y Echeverría, 2004) (Figura 3.5). Junto con algunos afloramientos puntuales de conglomerados y tobas Pleistocenas, bien representadas en el Río Añamaza (Arenas et al., 2014) y Holocenas en Añavieja (Luzón et al., 2011), en el fondo de valle aparece un nivel aterrazado constituido por tobas calizas, que definen el objeto de estudio. La surgencia en Vozmediano que alimenta el Río Queiles, destaca en la zona desde el punto de vista hidrogeológico y constituye el punto de descarga más bajo que drena el Polje de Araviana, situado al sur del Macizo del Moncayo (García Gil et al., 2013). La descarga de agua varía entre los 500 l/sg durante el estío, hasta más de 3.000 l/sg durante momentos puntuales debido a intensas precipitaciones.

El clima de la zona donde se localizan los perfiles tobáceos, al igual que las otras áreas de estudio consideradas en esta Tesis Doctoral, es de tipo Mediterráneo continental. Las precipitaciones se concentran principalmente durante primavera y otoño, debido a la entrada de frentes Atlánticos, registrándose un valor medio anual de 510 mm en las zonas bajas de la sierra (Figura 3.6). La temperatura media anual es de 11°C, con el fuerte contraste estacional típico de las áreas interiores peninsulares. Existe un fuerte gradiente pluviométrico entre las zonas de baja altitud y las cumbres del macizo (Figura 3.6), pasando rápidamente de condiciones Mediterráneas con carácter continental a otras más subatlánticas, con copiosas precipitaciones.

Las particularidades climáticas, edáficas y geológicas, explican la riqueza ecológica del Macizo del Moncayo (Longares, 2004), quedando la catena de vegetación representada por comunidades procedentes de ambas regiones biogeográficas (Figura 3.6). Algunas especies circum-boreales alcanzan su máxima distribución meridional en esta zona, siendo emblemáticas diversas especies como *Quercus robur*, *Q. petraea* o

3. Área de Estudio

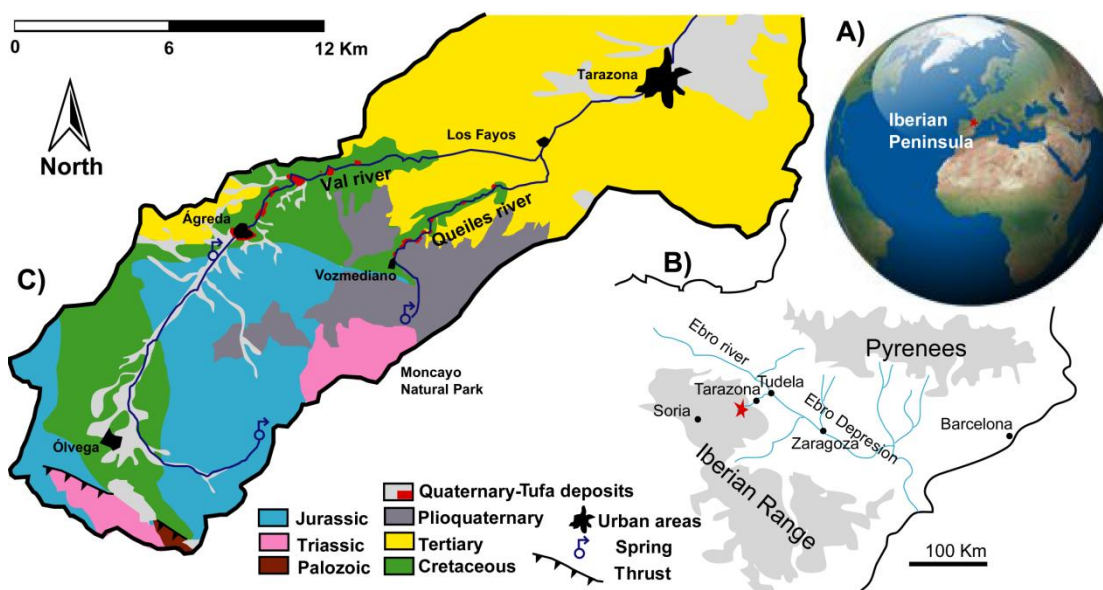


Figura 3.5. Características geológicas y localización de los edificios tobáceos de los ríos Queiles y Val.

Betula pendula (Gómez García et al., 2003) catalogadas como especies amenazadas para la región aragonesa.

Las cotas bajas del Macizo del Moncayo se emplazan en el piso meso-Mediterráneo, dominado por encinas (*Quercus ilex*) y quejigos (*Q. faginea*) (Figura 3.6), salpicados puntualmente por robles (*Q. pyrenaica*, *Q. robur*, *Q. petraea*) y alisos (*Alnus glutinosa*), en aquellas zonas donde aflora el sustrato Triásico (Longares, 2004). El sotobosque lo compone el típico matorral xerófilo dominado por *Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus*, *Jasminum fruticans*, *Rosmarinus officinalis*, *Rhamnus alaternus*, *R. lycioides*, *Thymus vulgaris*, *Genista scorpius*, *Lavandula latifolia*, *Linum suffruticosum* y lastonares de *Brachypodium ramosum*. Merece la pena resaltar que parte de la vegetación natural ha sido modificada para expandir las zonas agrícolas. Las repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y olivares

(*Olea europea*) adquieren importancia en el paisaje (Figura 3.6), especialmente en las inmediaciones del municipio de Tarazona.

El bosque ripario es denso y diverso en ambos cauces fluviales. La flora se compone por avellanos (*Corylus avellana*), arces (*Acer granatense*, *A. monspessulanum*), nogales (*Juglans regia*), acebos (*Ilex aquifolium*), cornejos (*Cornus sanguinea*), *Viburnum lantana* y *Frangula alnus*, entre otros, además de las típicas especies freatófilas como *Fraxinus excelsior*, *Salix atrocinerea*, *S. alba*, *Populus nigra* y *P. tremula* (García-Amorena, 1989).

En las cotas supra-Mediterráneas del macizo, entre 1.200 y 1.600 metros de altitud, predominan los hayedos monoespecíficos (*Fagus sylvatica*) (Longares, 2004) (Figura 3.6). Éstos dan paso a diversas repoblaciones de pino albar (*Pinus sylvestris*) y pino negro (*P.*

nigra), definiendo el límite altitudinal del bosque (Figura 3.6).

En las cumbres calcáreas del Moncayo destacan los matorrales rastreros de *Juniperus sabina* y *Erinacea anthyllis* (Figura 3.6), acompañados por *Genista pumila* subsp. *rigidissima*. Las laderas umbrías y zonas húmedas están compuestas por pastos de *Festuca hystrix*, *F. gautieri*, *F. Koeleria vallesiana* y *Avenula bromoides* (Uribe-Echebarría, 2002). En las zonas silíceas en cambio, se desarrolla un enebro-piornal rastrero dominado por *Juniperus communis* subsp. *alpina* y *Cytisus balansae* subsp. *europaeus*, además de arándanos (*Vaccinium myrtillus*), *Viola montcaunica* y *Aconito vulparia* (Longares, 2004)

La flora en las inmediaciones de los edificios carbonatados, esqueléticos y pobres en materia orgánica, es típicamente Mediterránea con encinas (*Quercus ilex*) y coscojas (*Q. coccifera*), además de matorral termófilo compuesto por *Pistacia terebinthus*, *Phyllirea angustifolia*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, *Genista scorpius* y abundantes labiadas.

Tal y como se detallará en los resultados (capítulo 5.3), las tobas fluviales, en particular el afloramiento de Queiles, contienen numerosos niveles de carbones vinculados a incendios de gran intensidad. Numerosos abrigos carbonatados, que disponen de estudios

paleobotánicos detallados además de claras evidencias de poblamiento humano (e.g., presencia de fauna, industria lítica, etc), han resultado ser zonas refugio de diversas poblaciones humanas a lo largo del Último Ciclo Glacial, cubriendo prácticamente toda la geografía peninsular (p.e., Abric Romani, Burjachs y Julià, 1994; Burjachs et al., 2012; abrigo de Artúsia, García Martínez de Lagrán et al., 2016, El Mirador, Cabanes et al., 2009; Euba et al., en prensa, Gorham's Cave, Carrión et al., 2008, entre muchos otros). No obstante, en el presente caso de estudio no se ha hallado ninguna evidencia que testifique el uso del depósito para fines humanos y, por lo tanto, los carbones intercalados y las asociaciones polínicas obtenidas en los diversos estratos estudiados, han de vincularse a la dinámica natural del crecimiento tobáceo. A día de hoy, no hay evidencias claras de asentamientos humanos durante los periodos de formación de los edificios tobáceos en las inmediaciones de la zona de estudio, o al menos no han dejado un registro arqueológico destacable.

3. Área de Estudio

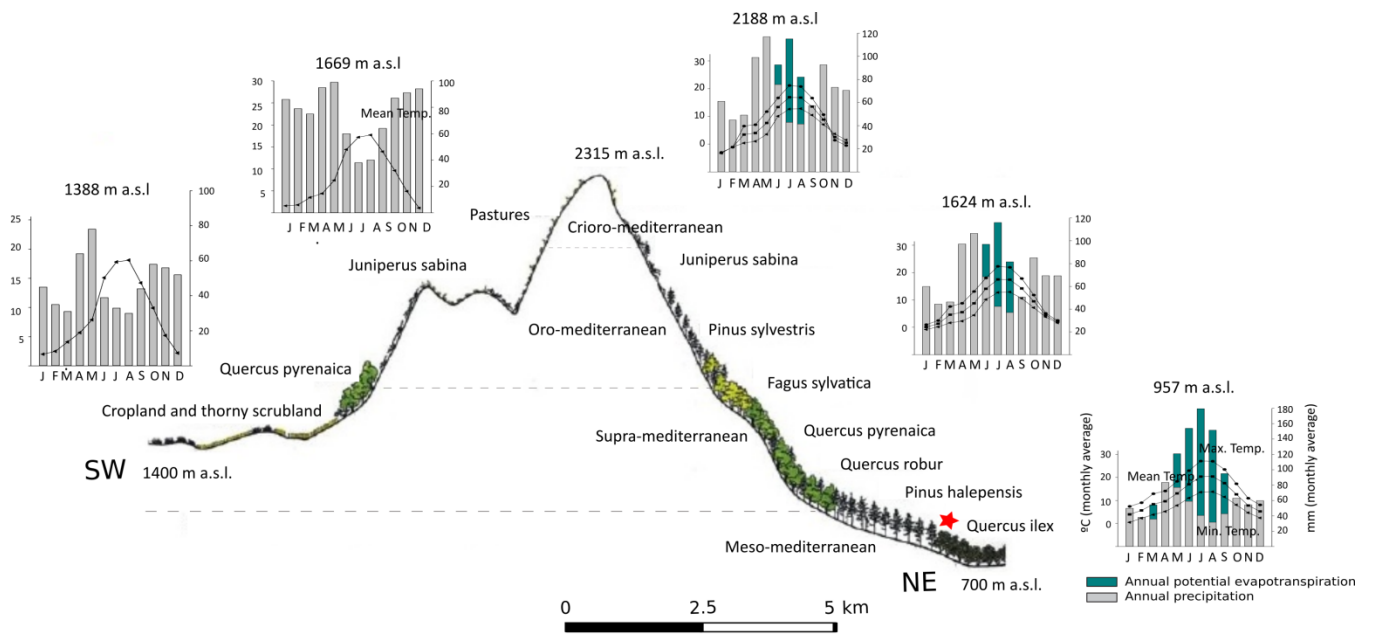


Figura 3.6. Catena de vegetación y principales características climáticas de los distintos pisos bioclimáticos del Macizo de Moncayo modificado a partir de Longares, (2004).

Referencias

- Alcolea, M., en prensa. Mesolithic fuel use and woodland in the Middle Ebro Valley (NE Spain) through wood charcoal analysis. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.029.
- Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Sancho, C., 2014. Sedimentology and depositional architecture of tufas deposited in stepped fluvial systems of changing slope: Lessons from the Quaternary Añamaza valley (Iberian Range, Spain). *Sedimentology* 61, 133–171.
- Badal, E., 2004. Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). In: Utrilla, P., Rodanés, J.M. (Eds.), *Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de Los Baños (Ariño, Teruel)*. Monografías Arqueológicas, vol. 39. Universidad de Zaragoza, pp. 63-73.
- Burillo, F., Picazo, J.V., 1991. Cronología y periodización de la Edad del Bronce en la provincia de Teruel. *Kalathos* 1, 1-12.
- Burjachs, F., Julià, R., 1994. Abrupt Climatic Changes during the Last Glaciation Based on Pollen Analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research* 42, 308–315.
- Burjachs, F., López-García, J.M., Allué, E., Blain, H., Rivals, F., Bennàsar, M., Expósito, I., 2012. Palaeoecology of Neanderthals during Dansgaard-Oeschger cycles in northeastern Iberia (Abric Romani): from regional to global scale. *Quaternary International* 247, 26-37.
- Butzer, K.W., 1965. Acheulian occupation sites at Torralba and Ambrona, Spain: their geology. *Science* 150, 1718-1722.
- Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I., Rodríguez, A., Allué, E., Euba, I., Vergés, J.M., 2009. Formation processes through archaeobotanical remains: the case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International* 193, 160-173.
- Carrion, J.S., Finlayson, C., Fernández, S., Finlayson, G., Allué, E., López-Sáez, J.A., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G., González-Sampériz, P., 2008. A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: Palaeoecological investigations in Gorham's Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 27, 2118-2135.
- Casas-Sainz, A.M., De Vicente, G., 2009. On the tectonic origin of Iberian topography. *Tectonophysics* 474, 214–235.
- de Lombera-Hermida, A., Bargallo, A., Terradillos-Bernal, M., Huguet, R., Vallverdú, J., G.-A, M.-D., Mosquera, M., Olle, A., Sala, R., Carbonell, E., Rodríguez-Alvarez, X.P., 2015. The lithic industry found at Sima del Elefante (Atapuerca, Burgos, Spain) in the context of Lower and Middle Pleistocene technology in Europe. *Journal of Human Evolution* 82, 95-106.
- Domingo, R., Peña-Monné, J. L., de Torres, T., Ortiz, J. E., Utrilla, P., en prensa. Neanderthal highlanders: Las Callejuelas (Monteagudo del Castillo, Teruel, Spain), a high-altitude site occupied during MIS 5.

- Quaternary International. doi:10.1016/j.quaint.2015.09.088 .
- Euba, I., Allue, E., Burjachs, F., in press. Wood uses at El Mirador cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.08.084
- Falguères, C., Bahain, J.-J., Pérez-González, A., Mercier, N., Santonja, M., Dolo, J.-M., 2006. The Lower Acheulian site of Ambrona, Soria (Spain): ages derived from a combined ESR/U-series model. *Journal of Archaeological Science* 33, 149–157.
- García-Amorena, L., 1989. Vegetación leñosa del somontano del Moncayo. *Tvriaso* 9, 435-442.
- García-Gil, A., Sánchez Navarro, J.A., Pérez-García, A., Vázquez-Suñé, E., Mateo Lázaro, J., 2013. Cuantificación del flujo subterráneo en la vertiente suroccidental del Macizo del Moncayo, España. *Geogaceta* 54, 107-110.
- de Lagrán, I. G. M., Iriarte, E., García-Gazólaz, J., Tejedor-Rodríguez, C., Gibaja-Bao, J. F., Moreno-García, M., Carrancho-Alonso, Á., 2016. 8.2 ka BP paleoclimatic event and the Ebro Valley Mesolithic groups: Preliminary data from Artusia rock shelter (Unzué, Navarra, Spain). *Quaternary International* 403, 151-173.
- Gómez García, D., Martínez Cabeza, A., Monserrat Recorder, P., Uribe-Echebarría Díaz, P., 2003. El roble (*Quercus robur* L.) y otras plantas boreales en el macizo del Moncayo (Soria-Zaragoza). *Collectanea Botanica* 26, 141–158.
- González-Sampériz, P., 2004. Análisis palinológico del yacimiento de Los Baños de Ariño (Teruel). In: Utrilla, P., Rodanés, J.M. (Eds.), *El yacimiento arqueológico de Los Baños de Ariño. Monografías Arqueológicas, Zaragoza*, pp. 59-62
- Gracia, F.J., Gutiérrez, F., Gutiérrez, M., 2003. The Jiloca karst polje-tectonic graben (Iberian Range, NE Spain). *Geomorphology* 52, 215–231.
- Gutiérrez-Elorza, M., Gracia, F.J., 1997. Environmental interpretation and evolution of the Tertiary erosion surfaces in the Iberian Range (Spain). *Geological Society, London, Special Publications* 120, 147–158.
- Gutiérrez, F., Gutiérrez, M., Gracia, F.J., McCalpin, J.P., Lucha, P., Guerrero, J., 2008. Plio-Quaternary extensional seismotectonics and drainage network development in the central sector of the Iberian Chain (NE Spain). *Geomorphology* 102, 21–42.
- Gutiérrez, F., Gracia, F.J., Gutiérrez, M., Lucha, P., Guerrero, J., Carbonel, D., Galve, J.P., 2012. A review on Quaternary tectonic and nontectonic faults in the central sector of the Iberian Chain, NE Spain. *Journal of Iberian Geology* 38, 145–160
- Howell, F. C.; Butzer, K. W.; Freeman, L. G. y Klein, R. G. 1995: "Observations on the Acheulean occupation site of Ambrona (Soria Province, Spain), with particular reference to recent investigation. (1980 1983) and the lower occupation". *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseum Mainz* 38: 33-82.
- Kunst, M., Rojo Guerra, M.A., 1999. El Valle de Ambrona: un ejemplo de la primera colonización Neolítica de las tierras del Interior Peninsular. *Sagvntvm Extra* 2, 259-270.
- Lafuente, P., Arlegui, L.E., Liesa, C.L., Simón, J.L., 2011. Paleoseismological analysis of an intraplate

extensional structure: the Conclud fault (Iberian Chain, eastern Spain). *International Journal of Earth Sciences* 100, 1713–1732.

Longares, L.A., 2004. El paisaje vegetal en el sector aragonés del Moncayo. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico 187–197.

López-Martín, F., Cabrera, M., Cuadrat, J.M., 2007. *Atlas Climático de Aragón*. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón, Zaragoza, 222 pp.

Luzón, M.A., Pérez, A., Borrego, A.G., Mayayo, M.J., Soria, A.R., 2011. Interrelated continental sedimentary environments in the central Iberian Range (Spain): Facies characterization and main palaeoenvironmental changes during the Holocene. *Sedimentary Geology* 239, 87–103.

Montero Ruiz, I., Rodríguez de la Esperanza, M.J., 2008. Un pequeño campamento minero de la Edad del Bronce: La Loma de la Tejería (Albarracín, Teruel). *Trabajos de prehistoria* 65, 155-168.

Montes, L; Utrilla, P., Mazo, C., 2006. El epipaleolítico macrolítico en Aragón en su contexto del valle del Ebro y Cataluña costera. In: Alday, A., (ed.), *Simposio trans-regional sobre el Mesolítico de la Cuenca del Ebro y Litoral Mediterráneo*. Memorias de yacimientos alaveses, 11. Vitoria, pp. 189-218.

Morán-Dauchez, G., 2006. Otros tiempos, otros mundos. La construcción del paisaje en el valle de Ambrona entre el primer neolítico y los inicios de la Edad de Bronce. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Valladolid.

Ollero, H.S., van Staalduinen, M.A., 2012. Iberian Steppes. In *Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World*, pp. 273-286. Springer Netherlands.

Pellicer, F., Echeverría, M. T., 2004. El modelado glaciar y periglaciar en el Macizo del Moncayo. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 173-185.

Pérez-González, A., Santonja, M., Gallardo, J., Aleixandre, T., Sesé, C., Soto, E., Mora, R., Villa, P., 1997a. Los yacimientos pleistocenos de Torralba y Ambrona y sus relaciones con la evolución geomorfológica del Polje de Conquezueta (Soria). *Geogaceta* 21, 175-178.

Pérez-González, A., Santonja Gómez, M., Mora, R., Soto, E., Sesé, C., Ruiz-Zapata, B., Gallardo, J., 1997b. Investigaciones recientes (1990-1997) en los yacimientos achelenses de Ambrona y Torralba (Soria, España). Aproximación al complejo estratigráfico inferior de Ambrona.

Rubio, J.C., 2004. Contexto hidrogeológico e histórico de los humedales del Cañizar. Consejo de la Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie de Investigación, Zaragoza.

Ruiz-Zapata, M.B., Pérez-González, A., Santonja, M., Gil-García, M.J., Dorado-Valiño, M., Valdeolmillos Rodríguez, A., 2003. Vegetación Mesopleistocena del polje de Conquezueta (Soria). *Polen* 13, 5-17.

Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., Morán-Dauchez, G., 2005. Un desafío a la eternidad: Tumbas monumentales del Valle de Ambrona. *Arqueología en Castilla y León*, vol 14. Junta de Castilla y León.

- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2006. La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26, 30-100.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., Morán-Dauchez, G., 2008. Paisajes de la Memoria. Asentamientos del Neolítico antiguo en el Valle de Ambrona (Soria). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valladolid. Valladolid.
- Rubio, J.C. 2004. Contexto hidrogeológico e histórico de los humedales del Cañizar. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie investigación, Zaragoza.
- Santonja, M., Pérez-González, A., 2010. Mid-Pleistocene Acheulean industrial complex in the Iberian Peninsula. *Quaternary International* 223-224, 154-161.
- Simón, J.L., 1989. Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Journal of Structural Geology* 11, 285-294.
- Simón, J.L., Rubio, J.C., Soriano, M.A., 2010. Sobre el origen y edad de la depresión del Jiloca (Teruel, Cordillera Ibérica centro-oriental). *Geogaceta* 48, 183-186.
- Soto, E., Sesé, C., Pérez-González, A., Santonja, M., 2001. Mammal fauna with *Elephas (Palaeoloxodon) antiquus* from the lower levels of Ambrona (Soria, Spain). Proceedings of the I International Congress 'The World of Elephants', Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, pp. 607-610.
- Stika, H.-P., 2005. Early Neolithic agriculture in Ambrona, Provincia Soria, central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 189-197.
- Terradillos-Bernal, M., Rodríguez, X.-P., 2012. The Lower Palaeolithic on the northern plateau of the Iberian Peninsula (Sierra de Atapuerca, Ambrona and La Maya I): a technological analysis of the cutting edge and weight of artefacts. Developing an hypothetical model. *Journal of Archaeological Science* 39, 1467-1479.
- Uribe-Echebarría, P.M., 2002. Vegetación e itinerarios botánicos en el Parque Natural del Moncayo (Zaragoza).
- Utrilla, P., Rodanés, J.M., 2004. El yacimiento epipaleolítico de Los Baños (El yacimiento epipaleolítico de Los Baños (Ariño, Teruel). *Monografías Arqueológicas* 39. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Utrilla, P., Domingo, R., Montes, L., Mazo, C., Rodanés, J.M., Blasco, F., Alday, A., 2012. The Ebro Basin in NE Spain: A crossroads during the Magdalenian. *Quaternary International* 272-273, 88-104.
- Vicente-Redón, J.D., 2002. La presencia de Roma en la actual provincial de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel.
- Villa, P., 1990. Torralba and Áridos: elephant exploitation in Middle Pleistocene Spain. *Journal of Human Evolution* 19, 299-309
- Villa, P., D'Errico, F., 2001. Bone and ivory points in the Lower and Middle Paleolithic of Europe. *Journal of Human Evolution* 41, 69-112.

3. Área de Estudio

Villa, P., Soto, E., Santonja, M., Pérez-González, A., Mora, R., Parcerisas, J., Sesé, C., 2005. New data from Ambrona: closing the hunting versus scavenging debate. *Quaternary International*, 126–128, 223–250.

4

Material y Métodos

4.1. Extracción de los sondeos lacustres

La presencia de un posible paleolago cerca de los núcleos urbanos de Villarquemado y Cella, ambos localizados en la Fosa de Jiloca, Teruel, fue resaltado por José Carlos Rubio, 2004 en su Tesis Doctoral titulada “*Los humedales del Alto Jiloca: estudio hidrogeológico e histórico-arqueológico*”, investigación que sin duda motivo al equipo de Paleoambientes Cuaternarios del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) a extraer 74 m de sedimento y ampliar su área de conocimiento sobre la historia del clima a lo largo del Cuaternario al Sistema Ibérico y sus estribaciones Mediterráneas. La primera fase de la campaña concluyó con 3 m de sondeo recuperados en la Laguna del Cañizar de Villarquemado mediante una sonda Livingstone. En la secuencia obtenida, la alternancia de facies carbonatadas/detríticas y la continua presencia de gasterópodos fluvio-lacustres (p.e., Lymneidae, Planorbidae) pusieron de manifiesto

el potencial del sitio para realizar estudios paleoambientales a escalas temporales largas. Así pues, se contrató un camión de geotecnia (Red Control SL, Massanassa, Valencia) el cual extrajo de manera ininterrumpida 74 m de sedimento agrupados en 149 secciones de 60 cm cada una (Figura 4.1). El material recuperado fue guardado en cajas de sondeos y fue almacenado en una cámara fría hasta que se comenzó a trabajar con los múltiples indicadores descritos en los posteriores apartados.

Tanto la extracción de sondeos como los análisis geoquímicos, cronológicos y palinológicos han sido financiados gracias a los proyectos de investigación “TERUEL: *Clima y patrones de ocupación humana en las sierras turolenses durante el Holoceno Temprano*”, “DINAMO: *Dinámica de la vegetación Mediterránea en el N.E. de la Península Ibérica durante los últimos 135.000 años: estructura, cronología y pautas de respuesta vegetal frente a diversos tipos de cambio*” y “DINAMO 2: *Dinámica de la vegetación Mediterránea: Los cambios climáticos abruptos y la influencia del fuego en el NE de la Península Ibérica durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno*”,

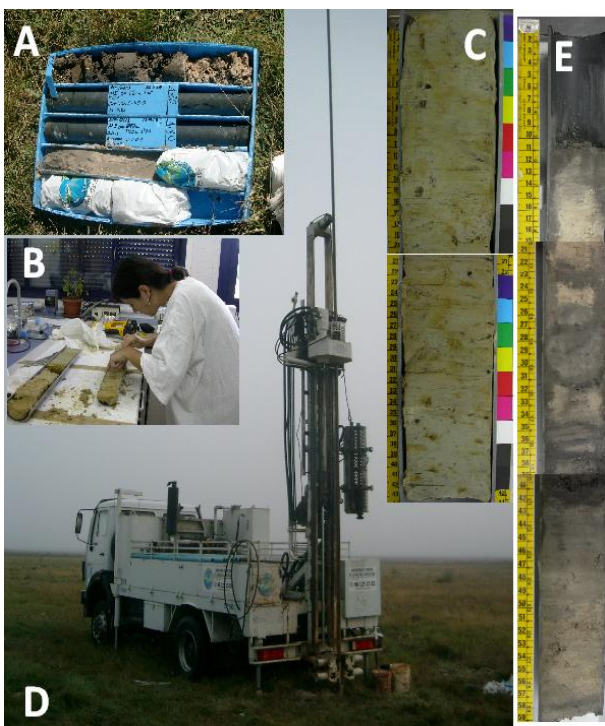


Figura 4.1. Extracción, almacenaje y caracterización sedimentológica del registro paleoambiental de Villarquemado.

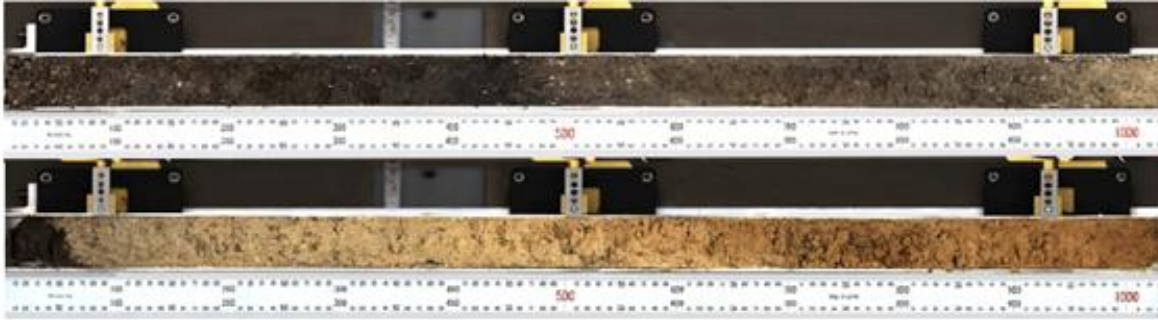


Figura 4.2. Fotografiado de alta resolución de la secuencia sedimentaria de Conquezuela. Nótese la diferencia entre la sección CQ-2 (imagen inferior), asociado a un ambiente sedimentario aluvial, y la sección CQ-1 (imagen superior) vinculado a facies lacustres y de turbera.

y “DINAMO 2: *Dinámica de la vegetación Mediterránea: Los cambios climáticos abruptos y la influencia del fuego en el NE de la Península Ibérica durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno*”, siendo la presente Tesis Doctoral fruto del trabajo realizado en estos dos últimos proyectos de investigación.

En un enclave climático y biogeográfico similar al de la Laguna de Villarquemado, pero con un objetivo vinculado al estudio de la antropización del paisaje, origen de la agricultura en ámbito continental Mediterráneo y el rol del clima en los patrones de ocupación humana, se encuadran los sondeos obtenidos en el entorno paleolacustre de Conquezuela-Ambrona. A diferencia del sondeo de la Laguna de Villarquemado, el sistema de extracción empleado fue de percusión, concretamente un sondeador tipo Van Walt/Eijkelkamp, obteniendo una recuperación continua del material en dos

maniobras de 103 cm, es decir, alcanzando una potencia total de 206 cm (Figura 4.2). Los sondeos obtenidos se conservaron en tubos de PVC en cámara frigorífica a 3°C en la Universidad de Burgos hasta la fase de análisis, los cuales fueron trasladados al Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC. El trabajo es el resultado de la colaboración en el proyecto de investigación “AGRIWESTMED: *Origins and spread of agriculture in the south-western Mediterranean region*” financiado por la European Research Council.



4.2. Extracción de muestras de perfiles tobáceos

Tras un análisis fotogeológico y el reconocimiento de campo se seleccionaron varios afloramientos aguas abajo de los ríos Queiles y Val, provincia de Soria, concretamente en la margen izquierda de

ambos cursos fluviales (Figura 4.3). Sobre el depósito se realizó una descripción estratigráfica y se recolectó sedimento carbonatado con abundante material vegetal para su posterior análisis cronológico, estudio palinológico y antracológico.

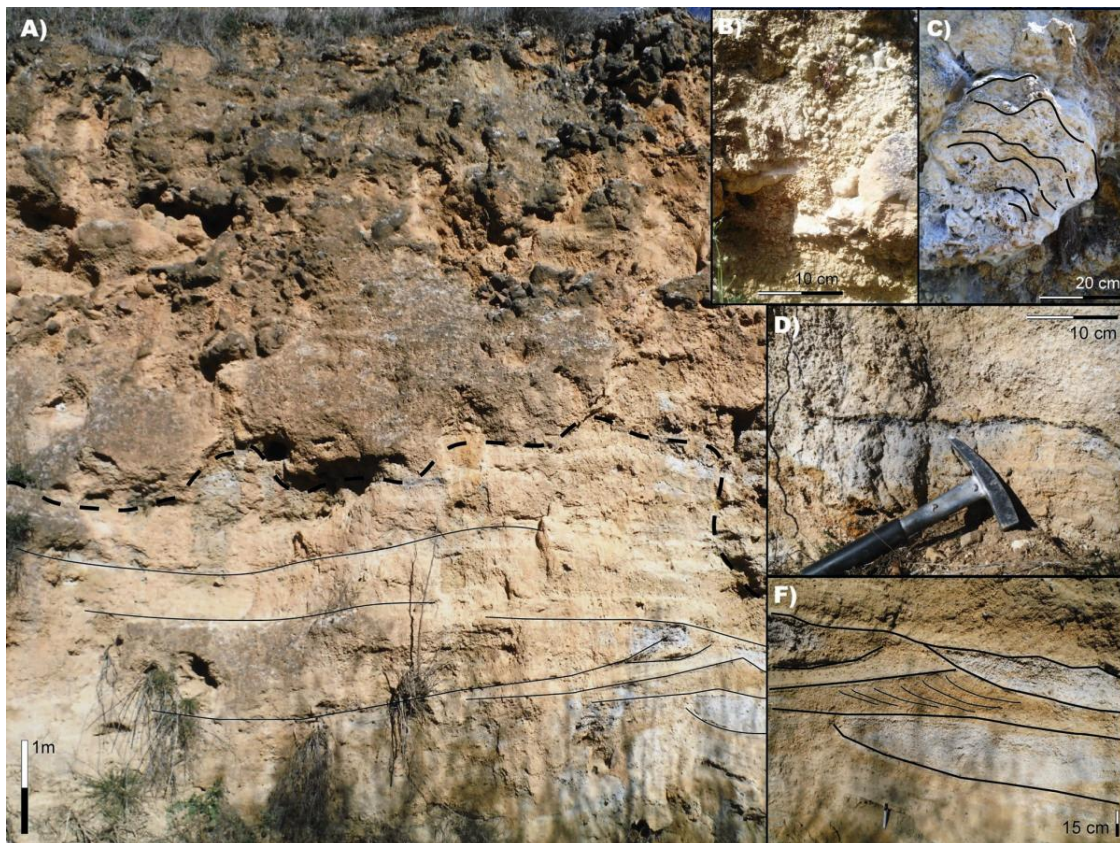


Figura 4.3. Detalle del depósito tobáceo del Río Val (A). El edificio presenta acumulaciones masivas de oncolitos asociado a un sistema fluvial enérgico (B, C), estratificaciones cruzadas (F) y nuevos niveles ricos en materia orgánica y restos antracológicos (D).

4.3. Descripción de sondeos, delimitación de facies sedimentarias, geoquímica elemental y contenido mineralógico

Uno de los grandes avances que ha tenido la palinología clásica ha sido la incorporación de técnicas sedimentológicas, especialmente la caracterización de distintas facies, y geoquímicas para formar una estrategia multiproxy, la cual conforma una reconstrucción paleoambiental más completa (Figura 4.10). Hasta los años 90 era común encontrar secuencias palinológicas procedentes de turberas y entornos lacustres sin ninguna información sedimentaria, donde las únicas inferencias paleohidrológicas y paleolimnológicas se sustentaban en la variación de la asociación polínica de higrófitas. La mayor parte del sedimento obtenido se destinaba al análisis palinológico, al recuento de micro- y macrocarbónes en algunos casos, así como a la datación mediante métodos radiocarbónicos clásicos. En las últimas décadas en cambio, ha sido común encontrar secuencias donde los indicadores geoquímicos son correlacionados con diversos indicadores de carácter biológico, ofreciendo una historia paleoambiental y climática integradora (Figura 4.10).

Dentro de la estrategia multiproxy adquirida en la presente Tesis Doctoral, la delimitación de facies y descripción de las unidades sedimentológicas adquiere un papel importante, ya que se adscribe a la variabilidad hidrológica a escala de cuenca, además de permitir inferir las

condiciones climáticas a nivel regional. De esta forma, la definición de distintas facies sedimentarias lacustres caracterizadas por diversos parámetros texturales, composicionales y mineralógicos, así como las estructuras sedimentarias que pueden asociarse a medios de depósitos litorales o profundos particulares, permiten detallar las oscilaciones del nivel del lago ocurridas a lo largo del tiempo.

Tanto para la secuencia sedimentaria de Villarquemado (VIL) como para la de Conquezueta (CQZ), el estudio sedimentológico se ha centrado en la metodología propuesta por Schnurrenberger et al. (2003), ya anteriormente aplicada con éxito en contextos lacustres Ibéricos a raíz de diversas tesis doctorales realizadas en el equipo de Paleoambientes Cuaternarios del Instituto Pirenaico de Ecología; Morellón (2009), Corella (2011), Pérez-Sanz (2014), García-Prieto (2015) y Frugone-Álvarez (2016). Esta metodología consiste en (Figura 4.10):

- Descripción de los diversos parámetros texturales y composicionales así como de las estructuras sedimentarias.
- Análisis granulométrico en el caso de la secuencia de Villarquemado. La resolución de trabajo ha sido de 20 cm.
- Lectura de frotis en microscopio petrográfico para la caracterización del contenido mineralógico.

- Cuantificación del contenido mineralógico mediante difracción de rayos X (DRX, realizado en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Las medidas se realizaron en cada una de las facies definidas en el registro de Villarquemado.
- Descripción de indicadores biológicos: contenido de macrorestos vegetales y malacofauna.
- Medición del contenido de carbono total (TC), carbono inorgánico (TIC), carbono orgánico (TOC) y azufre (TS) con el equipo LECO SC 144 DR del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC). Se analizaron un total de 114 muestras para el registro de Villarquemado y 79 para la secuencia de Conquezueta, con una resolución de 2-3 cm en el caso de Villarquemado y 2 cm de resolución en el caso de Conquezueta.
- Medición del contenido de nitrógeno mediante VARIO MAX CN elemental analyzer. Un total de 79 muestras para la secuencia de Conquezueta, resolución de 2 cm. Se elaboró el ratio atomic TOC/TN para definir el origen (autóctono vs alóctono) del carbono orgánico (Meyers y Lallier-vergés, 1999).

En el caso de los perfiles tobáceos, es necesario disponer de una buena caracterización estratigráfica y sedimentológica a la hora de detallar los distintos ambientes deposicionales, además de definir las morfologías y fases de crecimiento (Pentecost, 2005). La descripción sedimentológica así como la terminología empleada en esta Tesis Doctoral se basan en Arenas-Abad et al. (2010).

4.4. XRF, susceptibilidad magnética y elaboración de ratios

El escáner de fluorescencia de rayos X (XRF) merece un apartado especial en la presente Tesis Doctoral, ya que gran parte de la interpretación paleoambiental, concretamente va vinculada a las oscilaciones hidrológicas a nivel de cuenca, proviene o se sustenta en las variaciones que presentan los diferentes elementos geoquímicos a lo largo de la secuencia sedimentaria.

La resolución y el equipo empleado en cada uno de los dos registros estudiados (VIL y CQZ) ha sido distinta. En ambos casos, los elementos medidos y que se presentan en unidades de cuentas por segundo (cps) se listan como: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Ba y Pb. Algunos elementos ligeros como el Cl no se han tenido en cuenta a la hora de hacer los análisis estadísticos exploratorios ni para representarse junto con el resto de proxies sedimentológicos, geoquímicos y palinológicos, debido a la volatilidad del elemento. En el caso de Villarquemado se realizaron medidas de susceptibilidad magnética además del ratio coherencia/incoherencia.

- Los datos de XRF de la secuencia de Villarquemado fueron analizados en el Limnological Research Center, de la University of Minnesota, USA, mediante un GEOTEK multisensorial. La resolución de análisis fue de 5 mm. Se fotografiaron las secciones de 60 cm

con una cámara de alta resolución en el momento de apertura de los sondeos.

- En el caso de Villarquemado, se realizaron medidas de susceptibilidad magnética mediante un ITRAX Core Scanner en la Large Lakes Observatory de la University of Minnesota, USA. La resolución de trabajo adquirida fue de 2 mm.

- El fotografiado de las secciones de Conquezueta así como los resultados de XRF provienen del Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Universitat de Barcelona (UB) (Figura 4.4). La resolución del escáner es de 1 cm.

La selección de curvas de XRF así como la correlación entre distintos elementos geoquímicos se realizó mediante distintas técnicas de ordenación y estadística multivariante (PCA, DCA, cluster analysis). En ambos análisis el objetivo es reducir la dimensionalidad de los datos y explorar en los factores que modulan la variabilidad de los indicadores a estudiar. Los análisis se realizaron con aquellos elementos geoquímicos con cps superior a 1.000, una vez que las series temporales fueron normalizadas. En ambas secuencias sedimentarias, existe un patrón claro entre elementos carbonatados vs elementos filosilicásticos, resultado que será clave para entender el funcionamiento local de los sistemas lacustres. De esta forma y pueden aplicarse diversos ratios que ayudan a maximizar la inferencia paleoambiental, tal y



Figura 4.4. Escáner de fluorescencia de Rayos X (XRF), Avaatech XRF Core Scanner, del Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Universitat de Barcelona

como se ha realizado en la secuencia sedimentaria de Conquezuola:

- Ca/Ti: asociado a la producción carbonatada autógena. Los valores altos advierten de la presencia de un lago carbonatado, probablemente ligado a un incremento de la temperatura, y/o reducción de la columna de agua, así como la presencia de microfauna calcárea (ostrácodos, gasterópodos).
- Sr/Ti: proxy relacionado a los minerales siliciclasticos y por lo tanto, asociado al input autóctono vs alóctono del sedimento. Refleja fases de erosión y aporte de material a la cuenca
- Fe/Mn: refleja la oxidación del sedimento y está ligado a la temperatura o a fases de oscilación del nivel lacustre. Suele presentar una señal similar al ratio Ca/Ti.
- Rb/Sr: proxy robusto de tamaño de grano (Chen et al., 2006), la alternancia en el registro sedimentario puede vincularse a ambientes sedimentarios concretos; valores elevados se relacionan con fases aluviales mientras que los reducidos con ambientes deposicionales someros.
- Atomic TOC/TN: indicador vinculado al origen de la materia orgánica. Valores entre 18-20 se relacionan con el aporte orgánico de plantas vasculares, comúnmente adscritos al cordón litoral palustre. Valores inferiores a 11-13 señalan el aporte proveniente de comunidades algales (Meyers y Lallier-Vergés, 1999).

4.5. Indicadores palinológicos

El grueso de la Tesis Doctoral se centra en detallar la historia de la vegetación en ambientes Mediterráneos, así como en desentrañar los factores que modulan su dinámica, bien sean de origen natural o antropogénico. Para ello, la herramienta paleoecológica más extendida es la palinología, disciplina que tiene por objetivo el estudio de polen, esporas, y otros palinomorfos tanto fósiles como actuales. En este apartado se detallan todas las fases del estudio palinológico, desde la selección de muestras hasta la identificación taxonómica, sin olvidar el protocolo de laboratorio, que ha sido ligeramente modificado en cada caso según el tipo de material con el que se ha trabajado.

4.5.1. Toma de muestras

Tal y como se ha expuesto en la sección de hipótesis y objetivos de la Tesis Doctoral (capítulo 2), resulta crucial disponer de una alta resolución tanto de los indicadores biológicos a la hora de detectar la respuesta de los ecosistemas ante eventos climáticos rápidos. Para ello, en esta tesis doctoral la resolución adquirida ha sido de:

- 3 cm en el caso de Villarquemado, aumentando a 2 cm en aquellas ventanas temporales de mayor interés climático (Younger Dryas, transición Pleistoceno/Holoceno). La resolución temporal, tal y como se especificará en los apartados posteriores es alta, suficiente para detectar oscilaciones climáticas a escalas

decadales-centenarias. Se han analizado un total de 99 muestras.

- 2 cm en el caso de Conquezueta. Se ha descartado analizar los 15 cm superiores del sondeo debido a que el sedimento presenta síntomas de bioturbación y de remoción debido a actividades agrícolas sub-actuales. Se han analizado un total de 60 muestras de las cuales 15 han sido estériles, concretamente aquellas muestras provenientes de la sección CQ-2 (Figura 4.2).

- La toma de muestras en las tobas fluviales de Queiles y Val no sigue una resolución constante debido a que los depósitos no presentan una estratigrafía continua (Figura 4.3). Una vez la descripción sedimentológica fue realizada, se extrajeron diversas muestras a lo largo de la sección lateral, especialmente en aquellas facies donde el tamaño de grano y el contenido de materia orgánica variaba visiblemente (Figura 4.2). Parte del sedimento superficial fue eliminado con el fin de descartar problemas de contaminación. Se analizaron un total de 14 muestras de sedimento; 7 provienen del depósito de Queiles mientras que otras 7 fueron extraídas de los diversos depósitos del río Val.

4.5.2. Extracción físico-química del contenido polínico

El peso o volumen de sedimento destinado para el proceso físico-químico varía en función del estado de preservación de los sondeos y/o de la naturaleza del depósito sedimentario a estudiar. La concentración polínica, así como el estado

de preservación, varía notablemente entre una turbera localizada en ámbito Eurosiberiano o un yacimiento arqueológico abierto, siendo los valores ambientales además de los tafonómicos, factores explicativos del estado de preservación del contenido polínico. Todas las muestras seleccionadas fueron analizadas en el Laboratorio de Indicadores Biológicos del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC).

- En el caso de Villarquemado, resultó imposible trabajar con un peso o volumen constante debido a que el material fue extraído en 2005 y las secciones se encontraban totalmente secas. Debido a ello, el peso escogido varió entre 3-10 gr de sedimento, siendo menor en las facies orgánicas.

- Las secciones de Conquezueta fueron muestreadas a volumen constante (ca. 3 cm³) aunque se utilizó más sedimento en la sección CQ-2 debido a que varios niveles resultaron ser estériles o la concentración polínica resultó ser baja.

- La cantidad de material necesaria para la extracción de palinomorfos en ambientes carbonatados suele ser normalmente más elevada y su tratamiento de laboratorio más tedioso en comparación a otros medios sedimentarios caracterizados por ser polínicamente más fértiles (Bertini et al., 2014). Por ello, y basándose en diversos trabajos palinológicos aplicados a medios similares (e.g., Ricci et al., 2015), se muestrearon cerca de 2 kg de sedimento de distintos niveles dentro de la misma facies o unidad.

- El tratamiento de laboratorio seguido ha sido siempre el denominado Método Químico Clásico establecido por Delcourt et al. (1959) y Dimpleby, (1985), ligeramente modificado a partir de Dupré, (1988), donde se aplica la separación física mediante líquido denso. El líquido denso también nombrado Licor de Thoulet, compuesto por yoduro de cadmio y de potasio, es utilizado para facilitar la concentración de palinomorfos, comúnmente aplicado a contextos arqueológicos o paleolagos de zonas Mediterráneas áridas (Goeury y Beaulieu, 1979). Para las muestras de carbonatos provenientes de Queiles y Val se utilizó el protocolo sugerido por Bertini et al. (2014).

- Pesado de muestras e incorporación de dos pastillas de *Lycopodium clavatum* (batch #1031, <http://www.scirpus.ca/cap/supply.htm>) a cada muestra de sedimento. El objetivo es añadir un indicador palinológico exótico para el cálculo de la concentración polínica, además de testar si el proceso químico del laboratorio se ha realizado correctamente (Stockmarr, 1972).

- Fase de ataque con HCl (%37) para la disgregación de carbonatos y HF (%40) para la eliminación de silicatos (100 ml/muestra). En el caso de las tobas, se utilizó el doble de HCl debido a la pureza del material. Para que la reacción se complete, se dejan las muestras unas 48 h. A continuación, se realizan diversos lavados con etanol (50 ml/muestra) para eliminar los ácidos del sedimento.

- Fase de ataque con HCL (%37) a 90 °C durante 15 minutos (10 ml/muestra). El objetivo

es que se produzca la reacción de los carbonatos a una temperatura elevada.

- Fase de ataque con KOH (%10) a 80 °C durante 10 minutos para la disgregación de la materia orgánica (10 ml/muestra).
- Filtrado de muestras partir de mallas de distintos tamaños (21.2 y 10 µm). Esta fase sólo se realizó en algunas secciones de Villarquemado y en las tobas debido a la presencia de cantos y material grueso.
- Levigación del material mediante Licor de Thoutet (5 ml/muestra) a una densidad de $d=2.0$.
- Montaje de muestras en glicerina.

4.5.3. Identificación de los palinomorfos

La identificación y caracterización polínica ha consistido en el recuento de los granos de polen, esporas y palinomorfos no polínicos (NPPs) mediante un microscopio óptico convencional en campo claro, concretamente un Leica DM750. Además se ha utilizado un microscopio con puente de comparación Leica FS CB (Figura 4.6), equipo especialmente útil para comparar las muestras fósiles con la colección de referencia del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) y realizar fotografías de alta resolución (Figura 4.7). Las fotografías se han realizado con la cámara Leica DFC295 utilizando el software Leica Application Suite para la manipulación y análisis morfométrico de los palinomorfos. La identificación, así como su asignación taxonómica, se basa en las claves polínicas de Moore et al. (1991) y el atlas de Reille, (1992). Además, se ha consultado bibliografía publicada en diversas revistas

destinadas a morfología polínica tales como Review of Paleobotany and Palynology, Pollen et Spores o Vegetation History and Archaeobotany.



Figura 4.6. Identificación de las muestras polínicas mediante microscopio con puente de comparación Leica FS CB. El recuento de los palinomorfos ha sido apoyado mediante la colección de referencia del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) (<http://herbario.ipe.csic.es/es/colecciones.php?col=15>).

4.5.4. Análisis de datos

Al igual que los datos geoquímicos provenientes del XRF, los recuentos polínicos requieren de una serie de técnicas multivariantes para detectar patrones generales o indagar gradientes ambientales, ya que muchas veces no son fáciles de reconocer con la simple variación de taxones concretos. Para ello, la técnica la más utilizada es el análisis CONISS, Constrained Incremental Sum of Squares, un análisis cluster que incorpora la información temporal o estratigráfica a las asociaciones fósiles (Grimm, 1987), simplificando el diagrama polínico en una serie de zonaciones. Tanto en la secuencia polínica de Villarquemado como en la de Conquezueta la delimitación de las zonas polínicas se ha basado en el CONISS, resultados que de manera independiente correlacionan con las zonas sedimentarias delimitadas por los distintos indicadores geoquímicos. Además, los datos se han explorado mediante un DCA, Detrended

Correspondence Analysis, que ha servido para definir y dirigir parte de la discusión de los resultados obtenidos.

La representación común de datos polínicos, también abarcable a otros proxies micropaleontológicos (p.e., diatomeas, ostrácodos, foraminíferos, quironómidos), viene en forma de diagrama, donde la variación a lo largo del tiempo de las diversas asociaciones polínicas, manifiesta los cambios ocurridos en los ecosistemas (terrestres y acuáticos) a estudiar. Los diagramas en este caso han sido construidos mediante el software libre Psimpoll v. 4.27 (Bennett, 1998).

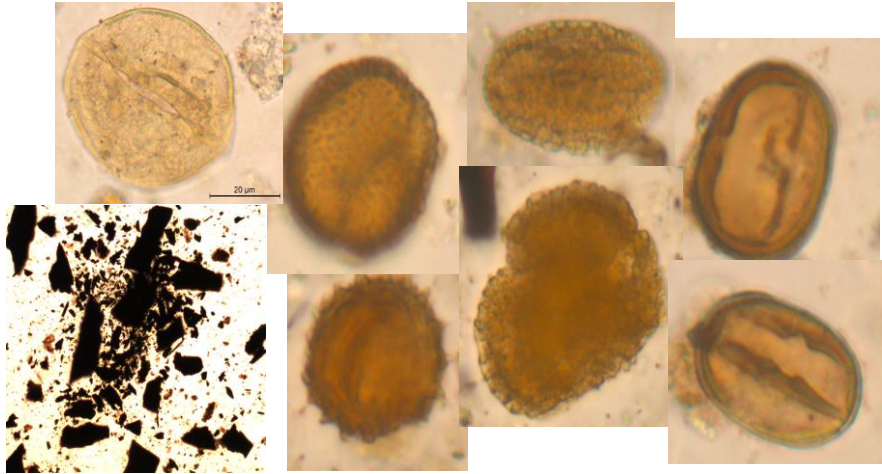


Figura 4.7. Ejemplo de distintos granos de polen asociados a especies ruderales y nitrófilas además de micro-carbones (> 150 µm) identificados en la secuencia sedimentaria de Conquezueta. Esta asociación polínica se asocia al incremento de la presión antrópica en el paisaje vegetal.

Se han elaborado una serie de grupos o categorías ecológicas, “pollen-based ecological groups”, que sintetizan o facilitan la correlación de secuencias a niveles regionales o supra-regionales. Los grupos se han basado en Carrión et al. (2010) teniendo en cuenta las características ecológicas de cada uno de los taxones.

4.6. Relación polen-vegetación actual a partir del estudio de musgos

Una de las grandes dificultades que tiene el estudio del polen fósil, es recrear de la manera precisa las comunidades vegetales que caracterizan el entorno lacustre, además de las formaciones boscosas regionales. Diversos factores tales como la localización exacta de las especies, la cantidad de individuos, su producción polínica, las diversas estrategias de dispersión, la preservación diferencial así como la orografía y dirección del viento entre otros parámetros, dificultan la vinculación directa del espectro polínico a una comunidad vegetal en concreto, siendo imposible discernir el patrón espacial de los mismos. De hecho, la palinología actual se está centrando en la incorporación de la modelización y cuantificación de procesos ecológicos, ya sea mediante la caracterización polínica de las comunidades actuales y su relación con diversos parámetros abióticos (p.e., Cañellas-Boltà et al., 2009; Davis et al., 2013; de Nascimento et al., 2015; García-Moreiras et al., 2015), como mediante la estimación de la productividad polínica (PPE) (p.e., Broström et al., 2008; Poska et al., 2011), trabajos que resultan absolutamente necesarios a la hora entender la dinámica espacial de la vegetación en escalas temporales largas.

En la presente Tesis Doctoral se ha realizado un estudio de la lluvia polínica actual en el Valle de Conquezueta-Ambrona, con el fin de entender mejor los resultados obtenidos en el registro fósil. La caracterización de la lluvia polínica se

realiza a través del análisis de cepellones de musgos, los cuales son buenos captadores de lluvia polínica (Hansen, 1949).

- La caracterización polínica de las comunidades actuales para el entorno lacustre de Villarquemado y las Sierras Albarracín y Palomera fueron realizadas por el Doctor Eduardo García-Prieto en su tesis doctoral defendida en Noviembre de 2015, "*Dinámica paleoambiental durante los últimos 135.000 años en el Alto Jiloca: el registro lacustre de El Cañizar*". Los resultados obtenidos en este trabajo, han servido para entender mejor la representación polínica de ciertos taxones, como por ejemplo *Juniperus* y *Quercus*.

- En cuanto a Conquezueta, 12 muestras de musgos actuales fueron seleccionados a lo largo de diferentes comunidades vegetales con el fin de conocer las diferencias polínicas entre zonas boscosas caracterizadas por diferentes especies del género *Quercus* (*Quercus ilex*, *Q. faginea*, *Q. pyrenaica*) respecto a las áreas abiertas en las inmediaciones del entorno paleolacustre. Además se pretendía inferir la representación del polen de pino, taxón clave en el registro fósil de Conquezueta a lo largo del Holoceno pero ausente, de manera natural, en la actualidad.

- El protocolo de laboratorio sigue el señalado en la sección 4.5.2., pero añadiendo una mezcla acetolítica, obtenida a partir de ácido acético y ácido sulfúrico (Erdtman, 1960).

4. Material y Métodos

- Los resultados fueron explorados y categorizados mediante un análisis cluster UPGMA, Unweighted Pair Group Method of Analysis, aplicando el coeficiente de disimilitud Bray Curtis a los recuentos polínicos absolutos. Los análisis se realizaron en el software mediante el paquete estadístico vegan.

4.7. Indicadores antracológicos

En paleobotánica clásica, y concretamente en tobas, travetinos, terrazas fluviales o paleosuelos, los datos antracológicos, además de las impresiones vegetales, son excelentes testimonios de la flora local (Ali et al., 2003), en muchos casos fácilmente identificables a nivel de especie (García-Amorena et al., 2011; Roiron et al., 2013). Mientras que el análisis polínico en el caso de las tobas fluviales representa las comunidades vegetales a escala regional, además de local (Bertini et al., 2014), los restos carbonizados son buenos trazadores de la presencia *in situ* de especies vegetales y por lo tanto, revelan información biogeográfica de gran precisión tanto espacial, temporal como taxonómica, factores clave a hora de realizar síntesis paleobiogeográficas y paleodistribuciones de especies leñosas (p.e., Uzquiano et al., 2014).

Mientras que en el caso de los sondeos paleolacustres de Villarquemado y Conquezueta no ha sido posible encontrar macrofósiles vegetales que permitiesen realizar un estudio semi-cuantitativo y taxonómicamente detallado, las tobas de los ríos Queiles y Val contienen niveles orgánicos con abundantes restos carbonizados e impresiones de hojas (Figura 4.8), siendo éstos últimos de gran potencial para realizar estudios paleobotánicos de la flora local.

La toma de muestras de los diferentes depósitos se realizó paralelamente al muestreo polínico, aunque en algunos niveles no se haya encontrado ningún carbón identificable. Se extrajeron en torno a 4-5 kg de sedimento de cada nivel, 15 muestras en total, siguiendo la metodología clásica utilizada en pedoantracología (e.g. Carcaillet y Brun, 2001; Cunill et al., 2012). Su tratamiento de laboratorio y posterior identificación taxonómica se resume en:

- Tamizado del sedimento con una malla >2 mm. Algunos de los fragmentos bien conservados inferiores a 2 mm también se seleccionaron manualmente.
- La determinación del material antracológico se realizó mediante el método descrito por Vernet et al. (2001), el cual consiste en la identificación microscópica de tres planos de referencia: plano transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial. Asimismo, se comparó con muestras carbonizadas actuales y diversos atlas de anatomía vegetal (Schweingruber, 1990). La identificación de las muestras se realizó en el Departamento de Ciencias de la Antigüedad, Universidad de Zaragoza (UZ) (contando con la colaboración de Marta Alcolea) así como en el



Figura 4.8. Ejemplo de distintos indicadores paleobotánicos identificables en los depósitos tobáceos de Queiles (superior izquierda) y Val mediante el estudio antracológico (inferior izquierda) así como el análisis detallado de las impresiones vegetales (superior e inferior derecha).

Dipartimento di Biologia Ambientale de la Sapienza Università di Roma (UniRo) (colaboración con la Dra. Alessandra Celant).

- Con el fin de detallar cronológicamente la presencia de ciertas especies, varios carbones fueron enviados a datar mediante ^{14}C AMS al laboratorio de DirectAMS de Seattle una vez realizada su identificación anatómica (Badal et al., 1994).

- Los datos antracológicos son presentados en una tabla en forma de recuentos absolutos.

A diferencia del estudio antracológico de muestras procedentes de yacimientos

arqueológicos, y por lo tanto ligados en parte a selección humana (Théry-Parisot et al., 2010), los restos acumulados en depósitos naturales trazan la historia de la vegetación, siempre y cuando no haya ninguna evidencia de poblamiento humano en el entorno. Por lo tanto, un número muestral reducido en este tipo de ambientes suele ser común y válido desde el punto de vista botánico. En la presente tesis doctoral no se pretende realizar ningún análisis cuantitativo de los datos obtenidos a partir de los resultados antracológicos, sino trazar la presencia local de taxones de interés biogeográfico y arqueobotánico.

4.8. Métodos de datación de sondeos lacustres y depósitos carbonatados terrestres

Son numerosos los métodos existentes para asignar la cronología tanto a registros paleolacustres como a los depósitos carbonatados terrestres. El modelo de edad de la secuencia completa de Villarquemado se ha realizado integrando dataciones de OSL, Optically Stimulated Luminescence, y series de radiocarbono (^{14}C AMS) aunque también se han aplicado diversas medidas de Uranio-Torio (U/Th), racemización de aminoácidos y de paleomagnetismo, dando lugar a un modelo continuo, sin hiatos sedimentarios, que cubre la historia ambiental de los últimos 135.000 años (Moreno et al., 2012; González-Sampérez et al., 2013; García-Prieto, 2015). Para la parte postglacial que engloba la presente Tesis Doctoral, los modelos de edad-profundidad de los registros lacustres y las asignaciones cronológicas de los edificios carbonatados, se han realizado en fechas de radiocarbono además de series de U/Th.

4.8.1. Datación mediante ^{14}C AMS

Las muestras de sedimento y de carbones se han analizado en distintos laboratorios internacionales; Beta Analytic: Radiocarbon Dating, Miami AMS Lab; DirectAMS, Seattle; Poznan Radiocarbon Laboratory, Poznan. En todos los casos, la técnica empleada ha sido de AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

- Para el registro de Villarquemado, se seleccionaron 5 muestras de sedimento total (bulk sediment) del core VIL-1B y 3 del

VIL-1A los cuales se enviaron a datar a Poznan Radiocarbon Laboratory y Beta Analytic. Ambos cores, tal y como se detalla en los resultados, presentan facies orgánicas intercaladas y un espectro polínico similar, factores que previamente se han tenido en cuenta a la hora de caracterizar la cronología de la secuencia completa.

- En Conquezueta 9 muestras fueron seleccionadas para poder elaborar el modelo de edad-profundidad.

- En cuanto a las tobas de los ríos Queiles y Val, varias muestras fueron enviadas a datar una vez la identificación antracológica fue realizada. La estrategia empleada se basó en establecer cronológicamente las bases de los edificios tobáceos ya que, además de representar la flora tanto regional como local a partir de indicadores palinológicos y antracológicos, resulta esencial vincular las fases de crecimiento a factores ambientales, bien sean de origen climático o hidrológico. Por ello, se dataron 4 niveles del edificio de Queiles, 2 en el edificio de Val-1 y 1 datación en la base de Val-2. Debido a que no se han encontrado fragmentos de carbones de gran envergadura, el depósito Val-3 no ha sido posible delimitarlo cronológicamente. No obstante, el espectro polínico extraído de dicho perfil, no muestra grandes variaciones respecto a los otros dos depósitos coetáneos y por lo tanto, su cronología puede adscribirse como Holocena.

En el estudio de registros paleoambientales y/o arqueológicas, resulta esencial poder realizar correlación de secuencias para detallar de manera holística, los cambios naturales y/o antropogénicos ocurridos en un lugar específico y en una cronología determinada. Como se ha especificado anteriormente, el Valle de Conquezueta-Ambrona es uno de los grandes bastiones Neolíticos en ámbito continental Ibérico (Rojo-Guerra et al., 2006), donde diversos estudios tanto arqueológicos de prospección (Morán-Dauchez, 2006) como arqueobotánicos (Stika, 2005), han sido desarrollados en las últimas décadas gracias a la colaboración de diversos equipos de investigación. A pesar de que esta Tesis Doctoral no se centra en la parte arqueológica de campo como tal, se ha trabajado con el conjunto de dataciones obtenidos en los asentamientos Neolíticos y Calcolíticos a lo largo del valle. De esta manera, se han vuelto a calibrar todas las fechas de radiocarbono con las últimas curvas de calibración propuestas por Reimer et al. (2013), además de recopilar toda la información antracológica (Badal y Carrión, 2005) y carpológica (Stika, 2005). La calibración de fechas se ha realizado en Calib v. 7.02 (Stuiver and Reimer, 1993) y las edades son presentadas en cal BP.

4.8.2. Elaboración de modelos de edad-profundidad

Una vez la cronología de los sondeos lacustres queda establecida, existen diversas aproximaciones matemáticas para elaborar sofisticados modelos de edad-profundidad, bien

siguiendo una metodología bayesiana (Bronk Ramsey, 2009; Blaauw y Christen, 2011) o bien aplicando modelos lineales (Blaauw, 2010).

Los modelos aplicados, tanto para la secuencia sedimentaria de Villarquemado como para la de Conquezueta han sido realizados siguiendo la aproximación lineal, mediante el paquete Clam v.2.2. (<http://chrono.qub.ac.uk/blaauw/clam.html>) elaborado por Blaauw, (2010) (Figura 4.9). De la misma forma, se ha calculado la tasa media de sedimentación.

4.8.3. Series de U/Th en tobas fluviales

Dos muestras del depósito tobáceo de Queiles fueron datadas mediante el método de U/Th. Las dataciones se realizaron en la Universidad de Minnesota, siguiendo el protocolo de separación del uranio y torio (Edwards et al., 1987) mediante un espectrómetro de masas multicolelector (Neptune Thermo Finnigan). Ambas muestras presentan grandes errores (5.766 ± 10.659 BP, Queiles-B y 2.599 ± 6.410 BP, Queiles-D) debido a la abundante cantidad de torio detrítico (^{232}Th) acumulado en este tipo de sedimentos (Garrett et al., 2004) y por lo tanto no han sido consideradas como dataciones válidas. No obstante y según las edades de radiocarbono y los resultados paleobotánicos obtenidos, se puede confirmar que la cronología de los depósitos es Holocena.

4. Material y Métodos

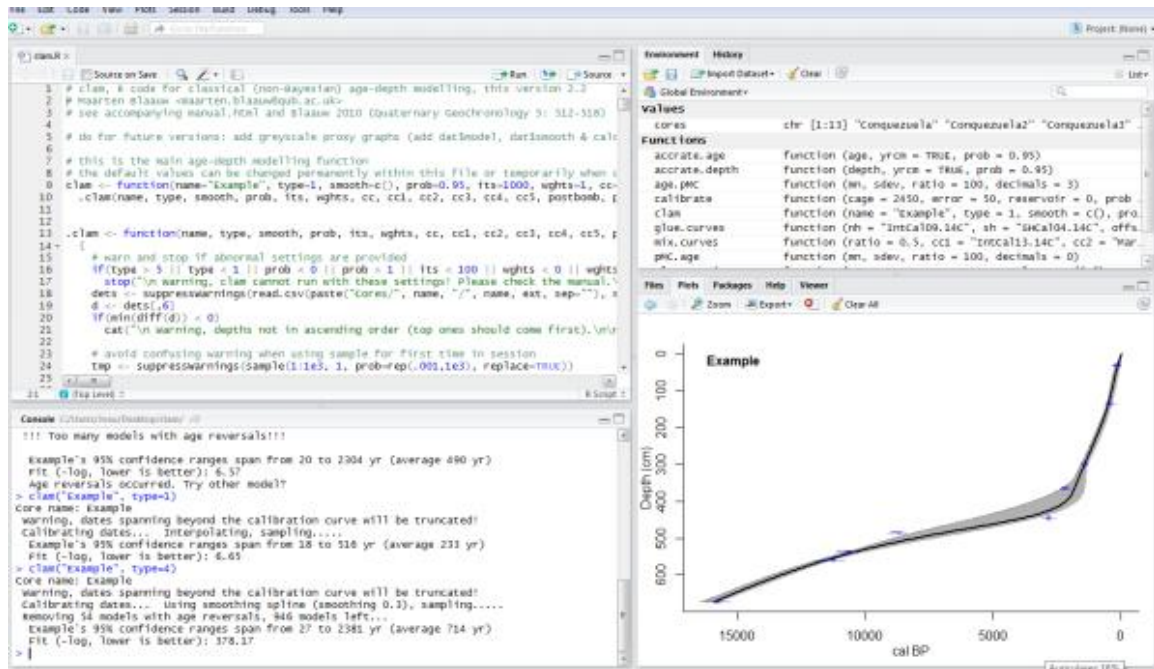


Figura 4.9. Ejemplo de la elaboración de modelos de edad-profundidad siguiendo una aproximación lineal mediante el paquete Clam v. 2.2. (Blauw, 2010).

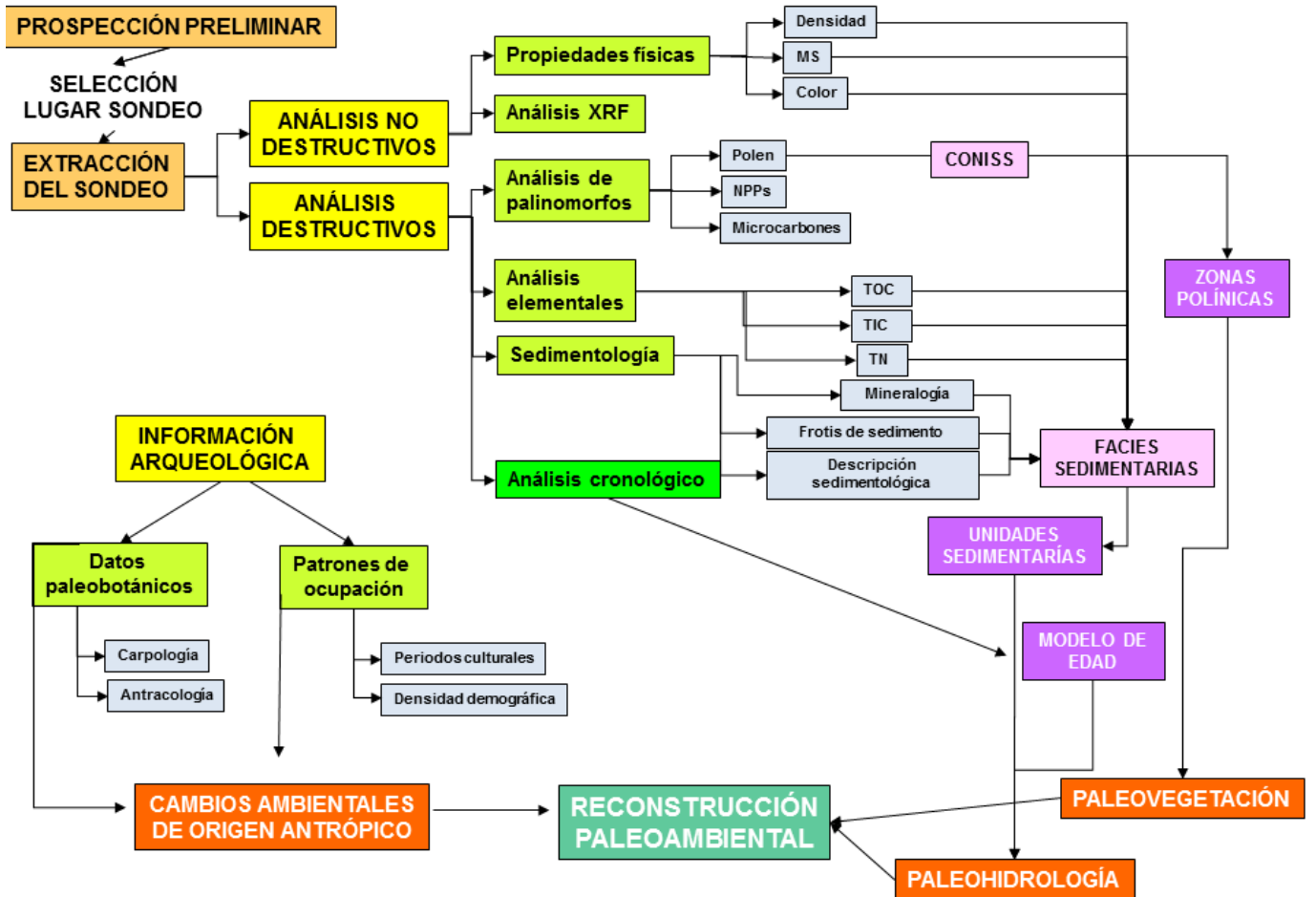


Figura 4.10. Síntesis de los principales indicadores medidos y analizados en las secuencias paleolacustres de Villarquemado y Conquezuela. El diagrama de flujo ha sido modificado de Morellón, (2009), Moreno et al. (2012) y García-Prieto, (2015), respectivamente.

4.9. Síntesis biogeográficas a partir de bases de datos y diagramas publicados

El incremento del número de publicaciones de índole paleobotánica, ya sea bajo la perspectiva palinología, antracología, carpología u otras disciplinas afines, ha mostrado una gran expansión a escala Ibérica en las últimas décadas (Carrión et al., 2012). Esto es especialmente notorio para el Holoceno (Carrión et al., 2010; Pérez-Obiol et al., 2011) y en menor medida para el Pleistoceno Superior (González-Sampérez et al., 2010) debido a que convergen los estudios vinculados a la dinámica natural de los ecosistemas provenientes de las geociencias con los trabajos del ámbito de la arqueología. La incorporación de las técnicas de radiocarbono, la alta resolución de las secuencias publicadas así como la internacionalización de la ciencia española, han facilitado el acceso a un gran volumen de información paleoambiental, requisito indispensable para trazar la historia biogeográfica, tanto de flora como de fauna.

Tal y como se ha detallado en la sección de Objetivos de la Tesis Doctoral (capítulo 2), en este trabajo se ha pretendido conocer la historia glacial y postglacial del avellano, *Corylus avellana* L., a escala peninsular ya que se trata de una especie meso-termófila común en la mayoría de diagramas polínicos y antracológicos a escala circum-Europea. La historia del avellano ha sido explorada desde los años 50, indagando en los factores ecológicos que facilitan su expansión Holocena (Tallantire, 2002; Finsinger et al., 2006; Seppa et al., 2015),

su filogeografía, así como las áreas refugio durante el Último Ciclo Glacial (Deacon, 1974; Valero-Garcés et al., 2000; González-Sampérez et al., 2004), pero sin ningún estudio detallado centrado en su paleodistribución en ámbito Mediterráneo en la fase postglacial.

4.9.1. Criterios de metabúsqueda y selección de datos paleobotánicos

-Se han tenido en cuenta tanto secuencias polínicas como datos de macrofósiles vegetales procedentes de revistas indexadas en la base de datos Scopus, con fecha previa a 2015 (Figura 4.11).

- Se han descartado los resultados procedentes de literatura de difícil acceso a escala internacional, tales como memorias arqueológicas, actas de congresos, etc.

- Se han desestimado las secuencias de polen que no poseían dataciones absolutas y en el caso de existir sólo un nivel datado, se ha extraído la información de ese periodo en concreto, sin realizar ninguna interpolación temporal al resto de la secuencia.

- En el caso de los datos procedentes de yacimientos arqueológicos, sólo se ha tenido en cuenta la información de niveles datados, evitando el uso de cronologías relativas y adscripciones crono-culturales.

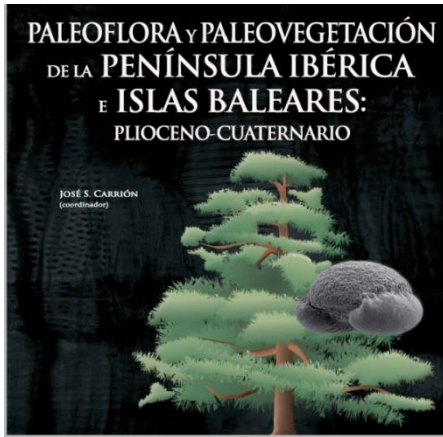
- De la misma forma, no se tienen en cuenta los datos de carbones obtenidos en niveles sin ninguna datación.

4.9.2. Bases de la categorización de porcentajes de *Corylus avellana*

Comúnmente, a la hora de trabajar con datos polínicos, existe la dificultad de caracterizar la dinámica vegetal en base a la variabilidad que presentan las presencias/ausencias o el incremento/disminución de las frecuencias polínicas que dicho taxón adquiere a lo largo del tiempo. No existe una metodología determinada para explicar las fases de expansión de una especie en concreto, no se puede definir a ciencia cierta su presencia local, sin acudir a otros proxy como, por ejemplo, los macrofósiles vegetales (Birks y Birks, 2000). Diversos factores intrínsecos a la fisiología de la planta (p.e., producción polínica, dispersión polínica, etc) o ambientales (p.e., pendiente, orientación, etc), han de tenerse a cuenta para hacer inferencias paleoecológicas, que en gran medida son diluidas al hacer síntesis paleobiogeográficas a partir de grandes bases de datos (Magri, 2008; Di Domenico et al., 2013). Diversos autores han caracterizado la expansión o retracción de especies vegetales a lo largo del tiempo estableciendo umbrales de detección, las cuales se basan en la calibración polen-comunidad vegetal actual (Lisitsyna et al., 2011). Magri et al. (2006) y López-Merino et al. (2008), en el caso de *Fagus sylvatica*, condujeron la discusión de la expansión/contracción de las poblaciones de haya viendo su patrón temporal a lo largo de diversas secuencias palinológicas. En el caso de *Corylus avellana*, no existe un umbral estable en la literatura Europea y los trabajos hasta ahora realizados utilizan diversos rangos o

categorías para explicar la historia cuaternaria del avellano (Tallantire, 2002; Magri et al., 2015). Por lo tanto, la metodología empleada a la hora de escoger las categorías se ha centrado en:

- Detectar presencias/ausencias de *Corylus avellana* en los diagramas polínicos. En muchos casos, y especialmente para la región Mediterránea, las frecuencias de polen no suelen ser presentadas en los resultados debido a que presentan bajos porcentajes o bien son agrupados en diversos grupos ecológicos (p.e., mesófitas, bosque ripario), dificultando así la adquisición de datos.
- La categorización del grupo de frecuencias de *Corylus avellana* se han basado en Lisitsyna et al. (2011) además de Magri et al. (2015). Los grupos son 1) ausencia de *Corylus*; 2) presencia de *Corylus* (<2%); 3) 2-5%; 4) 5-10%; 5) 10-30%; 6) >30%.



PALEOFLORA Y PALEOVEGETACIÓN DE LA PENÍNSULA IBÉRICA E ISLAS BALEARES: PLIOCENO-CUATERNARIO
 JOSÉ S. CARRIÓN (coordinador)

Welcome to FPD
 Search and view interface for fossil pollen data from Europe

Fossil Pollen Database

Introduction Visualization tool Data library Download EPD Postgres Database

PANGAEA®
 Data Publisher for Earth & Environmental Science

Data Description

Citation: López-Sáez, José Antonio (2014): Pollen profile PRD4, PRD-4, Spain. *European Pollen Database (EPD)*. doi:10.1594/PANGAEA.835955

Related to: López-Merino, Lourdes; Silva Sánchez, Noemí; Kral, Josef; López-Sáez, José Antonio; Martínez Cortizas, Antonio (2012): Pollen-climate vegetation dynamics during the Last Pleistocene and the Holocene: An example from NW Iberia. *Global and Planetary Change*, 82-83 (56-70), doi:10.1016/j.gloplacha.2012.04.003

Coverage: Latitude: 42.533333 ° Longitude: -8.616667

Minimum DEPTH, sediment/rock: 0.025 m * Maximum DEPTH, sediment/rock: 2.375 m

Event(s): PRD4 ° Longitude: 42.533333 ° Longitude: -8.616667 ° Elevation: 290.0 m * Location: PRD-4, Spain °

Comment: This dataset was archived on 2014-09-12 from the EPD database (<http://www.europeanpollendatabase.net/>)

Name	Short Name	Unit	Principal Investigator	Method	Comment
DEPTH, sediment/rock °	Depth	m			Geocode
Alnus °	Aln	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Alnus °	Aln	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Asteraceae °	Ast	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Asteraceae °	Ast	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Betula °	Bet	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Calluna vulgaris °	Call	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Caryophyllaceae °	Cary	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Cerealia-type °	CerT	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Chenopodiaceae °	Chen	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Corylus °	Cor	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Crocodyles °	Cro	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	
Cyperaceae °	Cypr	%	López-Sáez, José Antonio °	Counting, palynology °	

Figura 4.11. Ejemplo de las bases de datos consultadas para trazar la distribución del avellano en los últimos 22.000 años de historia en la Península Ibérica. La revisión de la Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario dirigida por Carrión et al. (2012) (izquierda). La base de datos European Pollen Database (EPD) (superior derecha) y la base de datos Pangaea (inferior derecha).

4.9.3. Elaboración de modelos de edad, definición de ventanas temporales (time-slides) y extracción de datos

La mayor parte de las secuencias analizadas presentan las cronologías calibradas, en forma de cal BP. No obstante, aquellas secuencias antiguas, publicadas en edades radiocarbónicas o simplemente ploteadas en profundidad, fueron revisadas y sus cronológicas modelizadas.

- Los modelos de edad de las secuencias no calibradas fueron elaboradas en Clam v. 2.2 (Blaauw, 2010) teniendo en cuenta las últimas curvas de calibración (Reimer et al., 2013) ya incorporadas en el software. La metodología sigue la descrita en la sección 4.8.2.

- De la misma forma, los macrofósiles vegetales fueron calibrados con Calib v. 7.02 (Stuiver y Reimer, 1993).

- Se delimitaron una serie de ventanas temporales basadas en criterios climáticos siguiendo publicaciones de temática similar (e.g. Krebs et al., 2004; Magri et al., 2006, 2014; Di Domenico et al., 2013; Douda et al., 2014; Sommer et al., 2014). Las ventanas son: 1) Last Glacial Maximum, LGM (22.000-18.000 cal BP); 2) Lateglacial (18.000-11.700 cal BP); 3) Early Holocene (11.700-8.000 cal BP); 4) Mid Holocene (8.000-5.000 cal BP); 5) Late Holocene (5.000-1.950 cal BP).

- La extracción de datos de *Corylus avellana* se ha realizado una vez todas las secuencias han sido normalizadas a edades cal BP. Se asume

que puede haber un error en los porcentajes obtenidos de manera visual, pero la categorización en grandes grupos diluye la señal ya que no se trabaja con frecuencias exactas o secuencias particulares.

- Se ha utilizado como criterio el valor numérico más elevado adquirido en cada ventana temporal (p.e. 13% de *Corylus avellana* entre 8.000-5.000 cal BP para la secuencia de Villarquemado) y en cada secuencia sedimentaria.

- Se han consultado grandes repositorios de datos paleobotánicos como la European Pollen Database

(<http://www.europeanpollendatabase.net/>) o

Pangaea Database (<http://www.pangaea.de/>)

donde existe la posibilidad de extraer los valores numéricos de distintas secuencias sedimentarias (Figura 4.11).

- En algunos casos se han pedido los datos originales a los autores de los recuentos polínicos.

4.9.4. Representación cartográfica

- El sistema seleccionado para presentar los resultados obtenidos ha sido el cartográfico, siendo cada ventana temporal un mapa en concreto.

- Se presenta también la distribución actual de *Corylus avellana*.

- Se representa el límite de distribución de los biomas Eurosiberiano y Mediterráneo. Los análisis de frecuencia posteriores se hacen en función del número de secuencias en cada región.

Referencias

- Ali, A.A., Terral, J.-F., Guendon, J.-L., Roiron, P., 2003. Holocene palaeoenvironmental changes in southern France: a palaeobotanical study of travertine at St-Antonin, Bouches-du-Rhône. *The Holocene* 13, 293–298.
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcén, C., 2010. Fluvial and associated carbonate deposits. In: *Carbonates in Continental Settings. Facies Environments and Processes* (A.M. Alonso Zarza and L.H. Tanner, Eds.). Elsevier. Amsterdam, 133-175.
- Badal, E., Bernabeu, J., Vernet, J.L., 1994. Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age (7000–4000 B.P.) in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 155-166.
- Bennett, K.D., 1998. *Psimpoll 4.10 and Pscomb 1.03—C Programs for Plotting Pollen Diagrams and Analysing Pollen Data.*
- Bertini, A., Minissale, A., Ricci, M., 2014. Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: anything but a 'mission impossible'. *Sedimentology* 61, 200–220.
- Birks, H.H., Birks, H.J.B., 2000. Future uses of pollen analysis must include plant macrofossils. *Journal of Biogeography* 27, 31–35.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5, 512–518.
- Blaauw, M., Christen, J.A., 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6, 457–474
- Bronk Ramsey, C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51, 337-360
- Broström, A., Nielsen, A.B., Gaillard, M.J., Hjelle, K.L., Mazier, F., Binney, H.A., Bunting, J., Fyfe, R., Meltsov, V., Poska, A., Räsänen, S., Soepboer, W., von Stedingk, H., Suutari, H., Sugita, S., 2008. Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review. *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 416-478.
- Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Vigo, J., Mercader, A., 2009. Modern pollen–vegetation relationships along an altitudinal transect in the central Pyrenees (southwestern Europe). *The Holocene* 19, 1185–1200.
- Carcaillet, C., Brun, J.J., 2000. Changes in landscape structure in the northwestern Alps over the last 7000 years: lessons from soil charcoal. *Journal of Vegetation Science* 11, 705–714.
- Carrión, Y., Badal, E., 2005. Estudio antracológico de tres monumentos funerarios del Valle de Ambrona. In: Rojo-Guerra, M.A. (Ed.), *Un desafío a la eternidad: Tumbas monumentales del Valle de Ambrona. Arqueología en Castilla y León vol. 14.* Junta de Castilla y León, pp. 279–288
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010. Expected trends and surprises in the

- Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458-475.
- Carrion, J.S., et al., 2012. Paleo flora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid. <http://paleofloraiberica.net/INICIO.html>.
- Chen, J., Chen, Y., Liu, L., Ji, J., Balsam, W., Sun, Y., 2006. Zr/Rb ratio in the Chinese loess sequences and its implication for changes in the East Asian winter monsoon strength. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 1471–1482.
- Corella, J.P., 2011. Climate and human impact in northern Spain since Mid-holocene: The high resolution records of lakes Arreo and Montcortès. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Cunill, R., Soriano, J.M., Bal, M.C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., 2012. Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees: a pedoanthracological analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 373-384.
- Davis, B.A.S., Zanon, M., Collins, P., et al., 2013. The European modern pollen database (EMPD) project. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 521-530.
- Deacon, J., 1974. The location of refugia of *Corylus avellana* L. during the Weichselian Glaciation. *New Phytologist* 73,1055–1063.
- Delcourt, A., Mullenders, W. & Piérard, P. 1959. La préparation des spores et des grains de pollen actuels et fossiles. *Les Naturalistes Belges* 40, 91–120
- de Nascimento, L., Nogué, S., Fernández-Lugo, S., Méndez, J., Otto, R., Whittaker, R.J., Willis, K.J., Fernández-Palacios, J.M.. 2015. Modern pollen rain in Canary Island ecosystems and its implications for the interpretation of fossil records. *Review of Palaeobotany and Palynology* 214, 27–39.
- Di Domenico, F., Lucchese, F., Magri, D., 2012. *Buxus* in Europe: late Quaternary dynamics and modern vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14, 354-362.
- Dimbleby, G. W., 1985. *The Palynology of Archaeological Sites*. New York: Academic Press.
- Douda, J., Doudová, J., Drasnarová, A., Kunes, P., Hadincová, V., Krak, K., Zákavský, P., Mandák, B., 2014. Migration patterns of subgenus *Alnus* in Europe since the Last Glacial Maximum: a systematic review. *PLoS One* 9, e88709.
- Dupré, M., 1988. *Palinología y paleoambiente. Nuevos datos polínicos. Referencias*. Valencia: Servicio de Investigación Prehistórica. Diputación Provincial de Valencia.
- Edwards, R.L., Chen, J.H., Wasserburg, G.J., 1987. U-238, U-234, Th-230, Th-232 systematics and the precise measurement of time over the past 500,000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 81, 175–192.
- Erdtman, G., 1960a. The acetolysis method, a revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift* 54, 561–564.
- Finsinger, W., Tinner, W., van der Knaap, W.O., Ammann, B., 2006. The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for

understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews* 25, 612–631.

Frugone-Álvarez, M., 2016. Environmental variability in central Chile based on lacustrine sedimentary sequences: El Maule and Vichuquén lake records. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

García-Amorena, I., Rubiales, J.M., Moreno Amat, E., Iglesias González, R., Gómez-Manzanaque, F., 2011. New macrofossil evidence of *Pinus nigra* Arnold on the Northern Iberian Meseta during the Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163, 281–288.

García-Moreiras, I., Sánchez, J. M., & Sobrino, C. M., 2015. Modern pollen and non-pollen palynomorph assemblages of salt marsh and subtidal environments from the Ría de Vigo (NW Iberia). *Review of Palaeobotany and Palynology* 219, 157–171.

García-Prieto, E., 2015. Dinámica paleoambiental durante los últimos 135.000 años en el Alto Jiloca: el registro lacustre de El Cañizar. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

Garnett, E.R., Gilmour, M.A., Rowe, P.J., Andrews, J.E., Preece, R.C., 2004. 230 Th/ 234 U dating of Holocene tufas: possibilities and problems. *Quaternary Science Reviews* 23, 947–958.

Goeury, Cl., de Beaulieu, J.-L., 1979. À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores* 21, 239–251.

González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Carrión, J.S., 2004. Was the Ebro valley a refugium for temperate trees? *Anales de Biología* 26, 13–20.

González-Sampériz, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427–457.

González-Sampériz, P., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., Santos, L., Morellón, M., Mata, P., Andrade, A., Carrión, J.S., 2013. Reconstrucción paleoambiental del último ciclo glacial en la Iberia continental: la secuencia del Cañizar de Villarquemado (Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 49–76.

Grimm, E.C., 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences* 13, 13–35.

Hansen, H. P. 1949. Pollen content of moss polsters in relation to forest composition. *American Midland Naturalist* 42, 473–479.

Krebs, P., Conedera, M., Pradella, M., Torriani, D., Felber, M., Tinner, W., 2004. Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 285–285.

Lisitsyna, O.V, Giesecke, T, Hicks, S., 2011. Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees. *Review of Palaeobotany and Palynology* 166, 311–324.

López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Ruíz-Zapata, M.B., Gil-García, M.J., 2008. Reconstructing the

history of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the north-western Iberian Range (Spain): From Late-Glacial refugia to the Holocene anthropic-induced forests. *Review of Palaeobotany and Palynology* 152, 58-65.

Magri, D., 2008. Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of european beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography* 35, 450–463.

Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., vander Knaap, W.O., Petit, R.J., deBeaulieu, J.-L., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171, 199–221.

Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 267–284.

Meyers, P., Lallier-Vergés, E., 1999. Lacustrine Sedimentary Organic Matter Records of Late Quaternary Paleoclimates. *Journal of Paleolimnology* 21, 345–372.

Moore, P.D., Webb, J.A., Collinson, M.E. 1991. *Pollen Analysis*, Blackwell, London.

Morán-Dauchez, G., 2006. Otros tiempos, otros mundos. La construcción del paisaje en el valle de Ambrona entre el primer neolítico y los inicios de la Edad de Bronce. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Valladolid.

Morellón, M., 2009. Paleohidrología y cambios climáticos abruptos en el noreste

de la Península Ibérica durante los últimos 20.000 años: el registro lacustre de Estanya (Huesca), Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

Moreno, A., González-Sampériz, P., Morellón, M., Valero-Garcés, B.L., Fletcher, W.J., 2012. Northern Iberian abrupt climate change dynamics during the last glacial cycle: A view from lacustrine sediments. *Quaternary Science Reviews* 36, 139-153

Pentecost, A., 2005. *Travertine*. Springer, The Netherlands.

Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlach, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21, 75–93.

Pérez-Sanz, A., 2014. Holocene climate, vegetation and human impact in the Western Mediterranean inferred from Pyrenean lake records and climate models. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Zaragoza, 194 pp., Zaragoza.

Poska, A., Meltsov, V., Sugita, S., Vassiljev, J., 2011. Relative pollen productivity estimates of major anemophilous taxa and relevant source area of pollen in a cultural landscape of the hemi-boreal forest zone (Estonia *Review of Palaeobotany and Palynology* 167, 30-39.

Reille, M., 1992. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, Marseille (Marseille).

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haffidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G.,

- Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869-1887.
- Ricci, M., Bertini, A., Capezzuoli, E., Horvatinčić, N., Andrews, J.E., Fauquette, S., Fedi, M., 2014. Palynological investigation of a Late Quaternary calcareous tufa and travertine deposit: the case of study of Bagnoli in the Valdelsa Basin (Tuscany, central Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 184-197
- Roiron, P., Chabal, L., Figueiral, I., Terral, J.-F., Ali, A.A., 2013. Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: A review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 194, 1-11.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2006. La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26, 30-100.
- Rubio, J.C. 2004. Contexto hidrogeológico e histórico de los humedales del Cañizar. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie investigación, Zaragoza.
- Schnurrenberger, D., Russell, J., Kelts, K. 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29, 141-154.
- Schweingruber, F., 1990. *Anatomy of European Woods*, WSL/FNP. Paul Haupt Berne & Stuttgart, Stuttgart.
- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., Kühl, N., Renssen, H., Salonen, J.S., 2015. Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *The Holocene* 25, 53-63.
- Sommer, R.S., Kalbe, J., Ekström, J., Benecke, N., Liljegren, R., 2014. Range dynamics of the reindeer in Europe during the last 25,000 years. *Journal of Biogeography* 41, 298-306.
- Stika, H.-P., 2005. Early Neolithic agriculture in Ambrona, Provincia Soria, central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 189-197.
- Stockmarr, J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13, 615-621.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. Extended (super 14) C data base and revised CALIB 3.0 (super 14) C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.
- Tallantire, P.A., 2002. The early-Holocene spread of hazel (*Corylus avellana* L.) in Europe north and west of the Alps: an ecological hypothesis. *The Holocene* 12, 81-96.
- Théry-Parisot, I., Chabal, L., Chrzavzez, J., 2010. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291, 142-153.

Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornel, L., Piqué, R., Zapata, L., 2014. All about yew: on the trail of *Taxus baccata* in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. *Vegetation History Archaeobotany* 24, 229–247.

Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Machín, J., Kelts, K., 2000. Late Glacial paleohydrology and vegetational change in Salada Mediana, Central Ebro Basin, Spain. *Quaternary International* 73/74, 29-46.

Vernet, J.L., Ogererau, P., Figueireal, I., Machado Yanes, C., Uzquiano, P., 2001. Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents: Sud-ouest de l'Europe: France, Peninsule Ibérique et Îles Canaries. CNRS.

5.1 Results

Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe

Global and Planetary Change 114, 50-65. (2014).

Abstract

Palynological, sedimentological and geochemical analyses performed on the Villarquemado palaeolake sequence (987 m a.s.l, 40°30'N; 1°18'W) reveal the vegetation dynamics and climate variability in continental Iberia over the last 13.500 cal BP. The Lateglacial and Early Holocene periods are characterized by arid conditions with a stable landscape dominated by pinewoods and steppe until ca. 7.780 cal BP, despite sedimentological evidence for large paleohydrological fluctuations in the palaeolake. The most humid phase occurred between ca. 7.780-5.000 cal BP and was characterized by the maximum spread of mesophytes (e.g., *Betula*, *Corylus*, *Quercus faginea* type), the expansion of a mixed Mediterranean oak woodland with evergreen *Quercus* as dominant forest communities and more frequent higher lake level periods. The return of a dense pinewood synchronous with the depletion of mesophytes characterizes the Mid-Late Holocene transition (ca. 5.000 cal BP) most likely as a consequence of an increasing aridity that coincides with the reappearance of a shallow, carbonate wetland environment. The paleohydrological and vegetation evolution shows similarities with other continental Mediterranean areas of Iberia and demonstrates

a marked resilience of terrestrial vegetation and gradual responses to millennial-scale climate fluctuations. Human impact is negligible until the Ibero-Roman period (ca. 2.500 cal BP) when a major deforestation occurred in the nearby pine forest. The last 1500 years are characterized by increasing landscape management, mainly associated with grazing practices shaping the current landscape.

Key words: Holocene, Multiproxy reconstruction, Vegetation resilience, Pinewoods, Aridity, Continental Iberia

Introduction

The progressive increase in the number of well-dated, high-resolution Holocene climate records in both marine and continental areas (Hoek et al., 2008; Lowe et al., 2008) has demonstrated the existence of complex millennial-scale oscillations and rapid climate changes in response to both extraterrestrial forcings (e.g., orbital parameters, insolation, etc.) and internal mechanisms (e.g., changes in deep-ocean circulation, internal climate system variability) (Bond et al., 1997; Alley et al., 2003; Mayewski et al., 2004; Denton and Broecker, 2008; Wanner et al., 2008; Renssen et al., 2009). In particular, the Western Mediterranean Basin, strategically located under the incursion of North-Atlantic storm tracks and the influence of a high pressure system in summer-months, is a fundamental region to understand the climate evolution and the vegetation response to abrupt changes and perturbations originated at high (Fletcher and Sánchez Goñi, 2008) and lower latitudes (Peyron et al., 2011). Indeed, several marine cores from the western Iberian margin demonstrate the impact of short-lived Holocene climatic events (e.g., Preboreal Oscillation, 8.200 cal BP event, 4.200 cal BP aridity crisis) on vegetation firstly identified in North Atlantic cores (Alley et al., 1997; Björck et al., 1997; Rasmussen et al., 2007) and then recorded in the Iberian Peninsula as dry spells and probably cool conditions (Cacho et al., 2001; Frigola et al., 2007; Combourieu Nebout et al., 2009; Fletcher et al., 2010). Iberian sedimentary

sequences have reported similar Holocene oscillations, clearly documented by prominent peaks of xerophytes in pollen records (Muñoz Sobrino et al., 2005; González-Sampérez et al., 2006; Fletcher et al., 2007; Moreno et al., 2011; Pérez-Sánchez et al., 2013), by abrupt drops in lake water-levels (Carrión, 2002; González-Sampérez et al., 2008; Martín-Puertas et al., 2008; Morellón et al., 2009), and complex patterns of human adaptations (González-Sampérez et al., 2009; Cortés-Sánchez et al., 2012).

Regarding ecosystem responses to climate change, recent reviews have highlighted the unidirectional response of the Iberian phytodiversity throughout the Late Quaternary (Carrión et al., 2010a; González-Sampérez et al., 2010), where regional ecological dissimilarities, enhanced by particular orographic and edaphic features, have prevented the unraveling of common climatic patterns. Ecosystem inertia to Lateglacial and Holocene climate changes has been a clear example of the mentioned unidirectional trend (e.g., Carrión and van Geel, 1999; Franco-Múgica et al., 2001, 2005; García-Antón et al. 2011; Morales-Molino et al., 2012), being long-term pinewood resilience the main distinctive aspect of wide areas of continental Iberia (Rubiales et al., 2010 and references therein).

Despite the number of Lateglacial and Holocene palaeoenvironmental sequences in the Iberian Peninsula increased during the last decades

(Carrión et al., 2010a and references therein), the continental lowlands of Iberia have hardly been investigated, leaving a palaeobiogeographical gap between inner continental mountains and coastal areas. Climatically located near the Ebro Basin, the Iberian Range borders the northernmost area of truly semi-arid climate in Europe, whose patchy and fragile steppe-like vegetation is strongly conditioned by an arid climate regime and edaphic constraints (Vicente-Serrano et al., 2012; Pueyo et al., 2013). Permanent lakes are absent in the region and therefore, most of the regional palaeorecords have been obtained from large ephemeral or hypersaline lakes (Valero-Garcés et al., 2000a,b, 2004; Davis and Stevenson, 2007; Luzón et al., 2007; González-Sampériz et al., 2008; Sancho et al., 2011; Gutiérrez et al., 2013), where recurrent hiatuses and complex geochemical processes often hamper chronological control and pollen preservation, preventing continuous high-resolution environmental reconstructions (González-Sampériz et al., 2008). Further southwest from the Ebro Basin, studies providing detailed climatic oscillations are available. These are derived mainly from lake level fluctuations and palaeoflood frequency records, although they cover relatively short timescales spanning only the last three millennia (Moreno et al., 2008; Romero-Viana et al., 2011;

López-Blanco et al., 2012; Barreiro-Lostres et al., 2013). Additional palaeoenvironmental information, somewhat fragmentary and influenced by local peculiarities, is provided by geomorphological (Valero-Garcés et al., 2008; Constante et al., 2011) and archaeological studies (González-Sampériz et al., 2009; Aura et al., 2011; Utrilla et al., 2012).

Based on a multiproxy approach, the well-dated and continuous sedimentary sequence obtained from the Villarquemado palaeolake offers the possibility to reconstruct the postglacial palaeoenvironmental history of a poorly-studied, ecotonal and continental, Mediterranean area. The main goals of the current study are to:

- 1) Understand both regional and local vegetation dynamics and hydrological response to the last ca. 13.500 cal BP climate variability.
- 2) Place the Villarquemado vegetation development in regional context through correlation with other well-dated pollen records.
- 3) Explore the sensitivity of this and other ecotonal regions to detect Holocene abrupt climate changes, especially in areas where pinewoods have been the dominant communities.

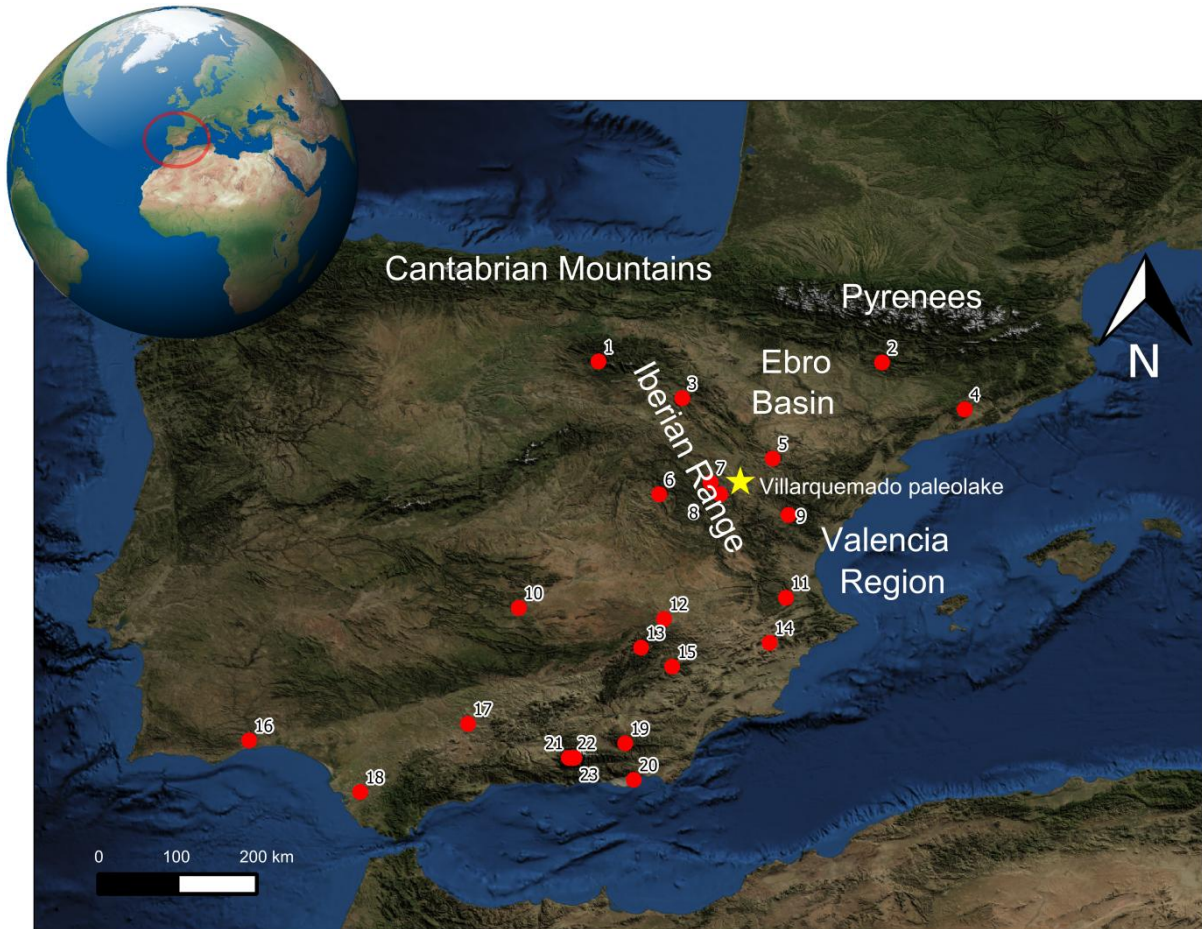


Figure 5.1.1. Location of the Villarquemado palaeolake in the Iberian Peninsula. The sites cited in the discussion and in Figures 5.1.7 and 5.1.8 are also included; 1) Las Pardillas Lake (Sánchez Goñi and Hannon, 1999); 2) Lake Estanya (Morellón et al., 2009; Vegas-Vilarrúbia et al., 2013); 3) Añavieja River system (Luzón et al., 2011); 4) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009); 5) Las Parras River system (Rico et al., 2013); 6) Trabaque Canyon (Dominguez-Villar et al., 2012); 7) Ojos del Tremedal (Stevenson, 2000); 8) Guadalaviar River system (Sáncho et al., 1997); 9) Mijares River system (Peña et al., 2000); 10) Fuentillejo Maar (Vegas et al., 2010); 11) Navarrés (Carrión and van Geel, 1999); 12) Villaverde (Carrión et al., 2001); 13) Siles (Carrión, 2002); 14) Salines (Roca and Julià, 1997); 15) El Sabinar (Carrión et al., 2004); 16) Guadiana Estuary, Core CM5 (Fletcher et al., 2007); 17) Lake Zoñar (Martín-Puertas et al., 2008); 18) Laguna de Medina (Reed et al., 2001); 19) Baza (Carrión et al., 2007); 20) San Rafael (Pantaléon-Cano et al., 2003); 21) Laguna de la Mula (Jiménez-Moreno et al., 2013); 22) Borreguiles de la Virgen (García-Alix et al., 2012; Jiménez-Moreno and Anderson, 2012); and 23) Laguna del Río Seco (Anderson et al., 2011).

Regional Setting

Villarquemado palaeolake (40°30'N; 1°18'W, Figure 5.1.1) is located at about 1.000 m a.s.l., in the Jiloca Basin (Iberian Range, NE Spain). This is a 60 km long, 6-10 km wide, N-S half-graben, bounded by NW-SE trending normal faults. The depression belongs to a series of intramontane basins developed in the Iberian Range during the second extensional episode that started in the Upper Pliocene (Simón-Gómez, 1989; Casas-Sainz and De Vicente, 2009). The change from endorheic to exorheic conditions in these depressions occurred during the Neogene and Plio-Quaternary through the capture of the basins by the external drainage network and headwater erosion (Gutiérrez and Gracia, 1997). The Jiloca river captured the Daroca half-graben and subsequently the next depression to the south, the Jiloca Depression (Gracia et al., 2003). However the south-central sector of this depression remained an endorheic basin until it was artificially drained in the 18th century, when the maximum flooded area was 11.3 km² and the water depth up to 2.8 m (Rubio, 2004).

The current climate of the region is continental Mediterranean, characterized by severe summer droughts, strong seasonal and diurnal temperature oscillations and by relatively low precipitation values (Figure 5.1.2B). The maximum absolute temperature is about 40 °C in summer and the winter minimum can reach -15 °C with frequent freezing days in the region. The mean annual precipitation in the area is

about 380 mm (Figure 5.1.2B: Cella station, 1.023 m a.s.l.), with large interannual variability and irregular distribution through the year, while higher elevations are influenced by more regular orographic precipitations (Figure 5.1.2C: Griegos station, 1604 m a.s.l.). Regional-scale rainfall dynamics is principally controlled by the westerly winds, associated with cold fronts in spring and high-intensity convective storms in autumn. During the summer, the subtropical Azores anticyclone blocks the moisture from the west and brings warm and dry air masses from the south, being the negative water balance associated to high evapotranspiration values (Figure 5.1.2C).

The Villarquemado palaeolake is located in the mesomediterranean bioclimatic belt, with *Quercus ilex* and *Quercus faginea* as principal tree species, along with other Mediterranean xerophytic shrubs (*Rhamnus alaternus*, *Genista scorpius*, *Ephedra fragilis*, *Thymus* spp.) and herbs (*Artemisia assoana*, *A. campestris*, *Atriplex prostrata*, *Salicornia ramosissima*) (Figure 5.1.2D). The calcareous soils in the area support *Juniperus phoenicea* and *J. thurifera*. The supra-Mediterranean belt is characterized by *Pinus sylvestris* communities with *Buxus sempervirens* and *Juniperus sabina*. In red sandstones areas, *Pinus pinaster* woodlands, with dense Cistaceae and Ericaceae shrubs, prevail. The hydrosereal community is dense, well developed and linked to seasonal water level fluctuations. The dominant species here are

5.1. Villarquemado sequence

Phragmites australis, *Juncus acutus*, *J. inflexus*, *J. maritimus* and *Scirpus holoschoenus*; scattered trees of *Salix fragilis* and *S. atrocinerea* with a scrubland of *Crataegus monogyna* and some *Populus canadensis* cultivars. The natural wetland vegetation has been substantially modified by agriculture and grazing (Figure 5.1.2D).

5.1. Villarquemado sequence

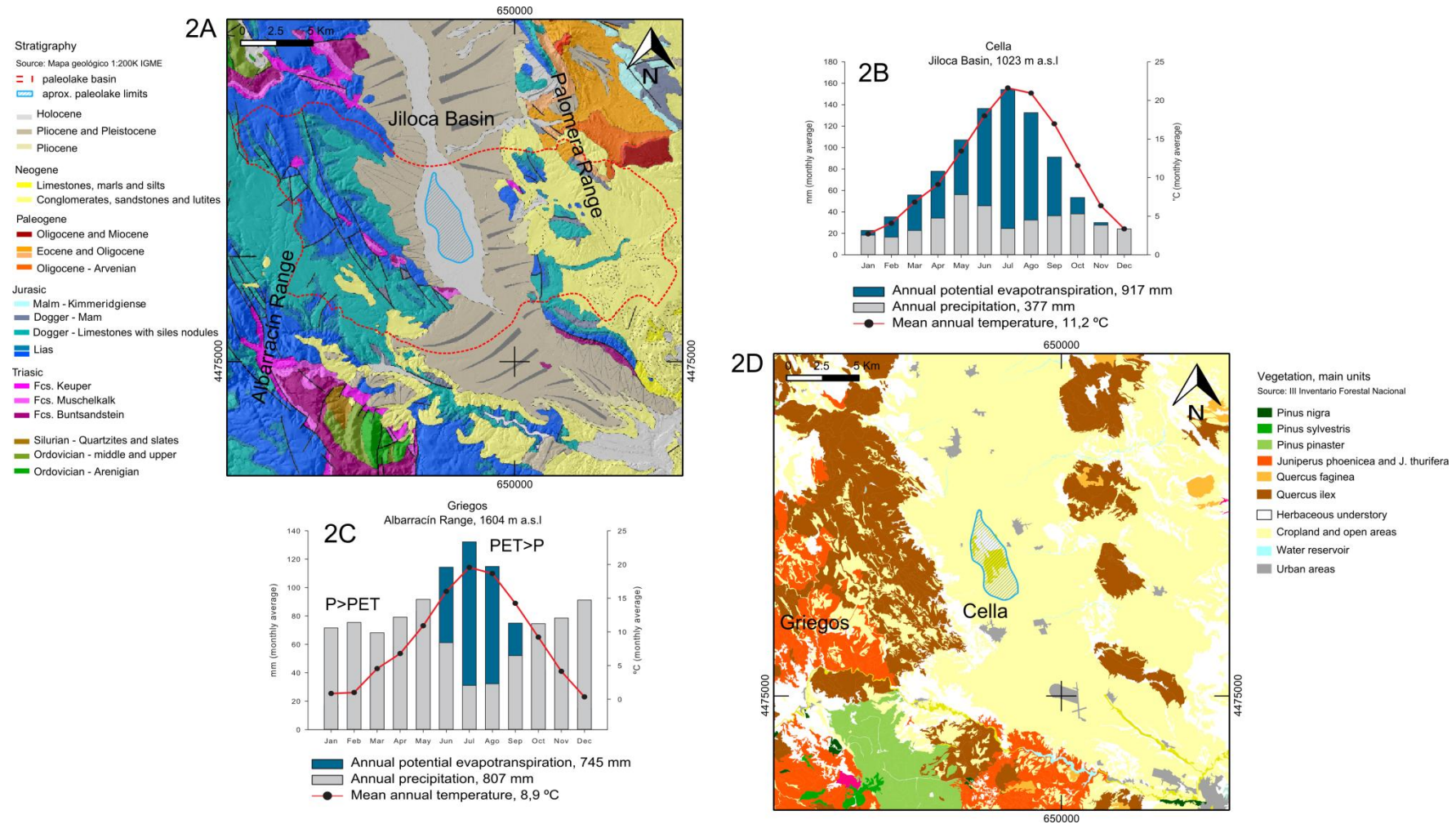


Figure 5.1.2. Main geological (2A), climatic (2B, 2C) and vegetational features (2D) of the Jiloca Basin.

Material and methods

A 74 m long sediment core (core VIL-05-1B) was retrieved in 2005 from the deepest area of the Villarquemado wetland, using a truck-mounted drilling system (Moreno et al., 2012a; González-Sampériz et al., 2013). The extracted material was extruded, transported to IPE-CSIC laboratory and stored at 4°C until required for analysis. The top 61 cm were disturbed due to the coring system and were not considered for analysis. To complete the 0-61 cm gap, a parallel 247 cm long core (core VIL-05-1A) was taken with a modified 5 cm-diameter Livingstone piston corer, a coring system that allows recovering unaltered the uppermost part of the sequence.

Correlation between cores VIL-05-1A and VIL-05-1B was achieved using sedimentary facies, radiocarbon dating and pollen stratigraphy (Figure 3A). Therefore, the composite sequence of the Villarquemado palaeolake was built using the uppermost 40 cm of the shorter core VIL-05-1A and the core VIL-05-1B, excluding the first 61cm (Figure 5.1.3B).

The cores were longitudinally opened and the sedimentary facies described according to Schnurrenberger et al. (2003). Geochemical data were obtained at 0.5 cm intervals by means of an XRF ITRAX Core scanner at the Large Lakes Observatory (University of Minnesota, USA). Total inorganic carbon (TIC) was analyzed every 2 cm with a LECO SC 144 DR

elemental analyzer at the IPE-CSIC laboratory, after the organic matter had been removed. In addition, selected samples were analyzed by X-ray diffraction with a Philips PW1820 diffractometer and relative mineral abundance was determined using peak intensity to characterize the sedimentological facies. All the geochemical and elementary analyses were performed exclusively in core VIL-05-1B.

Samples for pollen analysis were taken every 2-3 cm intervals in the core VIL-05-1B while in the core VIL-05-1A only 15 samples were retrieved to complete the uppermost part of the sequence. Pollen extraction followed the standard chemical procedure (Moore et al., 1991).

Pollen identification was supported by the reference collection from IPE-CSIC, determination keys and photo atlases (Reille, 1992). Results are expressed as percentages, excluding hygrophytes, hydrophytes, Pteridophyta spores and other non pollen palynomorphs (NPP) from the pollen sum. The Psimpoll 4.27 software (Bennett, 2009) was used to draw the pollen diagram. Major palynological changes in pollen composition as well as cluster analysis, CONISS (Grimm, 1987), were used as criteria to subdivide the results into pollen assemblage zones.

The chronology of the core VIL-05-1B was established on the basis of five AMS ¹⁴C dates, obtained from bulk sediment samples. In

In addition, other three AMS ^{14}C dates were retrieved from core VIL-05-1A. ^{14}C data were calibrated using Calib 6.11 (Stuiver and Reimer, 1993) with IntCal09 calibration datasets (Reimer et al., 2009) (Table 5.1.1) and the composite age-depth model (lineal interpolation) was obtained using the Clam software package for age-depth modeling (Blaauw, 2010) (Figure 5.1.3B). The chronological model shows a fairly constant accumulation rate, ca. 0.049 cm yr⁻¹, which spans from ca. 13,500 to ca. 470 cal BP (Figure 5.1.3B).

5.1. Villarquemado sequence

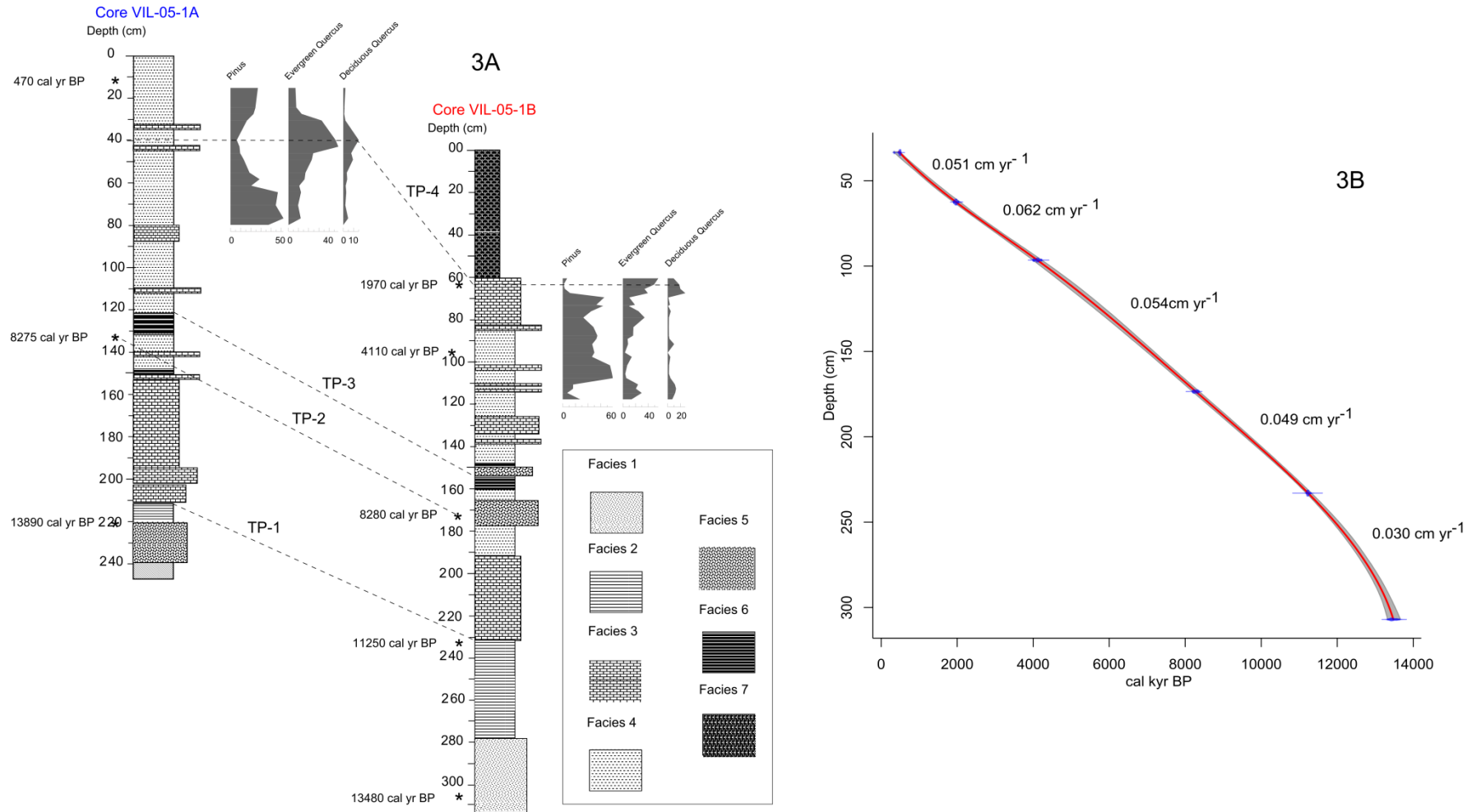


Figure 5.1.3. (A) Correlation of VIL-05-1A and VIL-05-1B cores based on sedimentological markers, 14C dates and main palynological changes. (B) Composite depth-age model for the Villarquemado palaeolake based on lineal interpolation of 14C data (Table 5.1.1), obtained using the Clam software (Blaauw, 2010). The gray envelope shows the 95% confidence interval.

Results

The sedimentological sequence

Visual description, smear slides microscopic observation, geochemical and mineralogical analyses allowed seven main sedimentary facies to be determined in Villarquemado palaeolake sequence, later organized in three well-defined sedimentological units (Figure 5.1.4).

The base of the sequence corresponds to UNIT-3 (311-233 cm depth, 13.540-11.240 cal BP), which is composed of medium, massive light grey carbonate silts (facies 1) grading upwards to coarser, dark grey carbonate silts (facies 2). Facies 1 and 2 are characterized by relatively high siliciclastic content, as shown by mineral composition (significant quartz content) and by the maximum values of Si, Ti and Fe (Figure 4). In particular, silicates (quartz and feldspars) in facies 2 range between 25-50 % versus 50-75% calcite. Subunit SUB-3B (311-256 cm, 13.540-12.170 cal BP), is relatively more carbonate-rich, with TIC (total inorganic carbon) up to 6%, and subunit SUB-3A (256-233 cm, 12.170-11.240 cal BP) has the highest silicate content of the whole sequence (only 3% TIC). The top of UNIT-3 is a sharp depositional surface in both Villarquemado cores (VIL-05-1A and VIL-05-1B) and it is located at approximately the same depth (ca. 230 cm). This transition from siliciclastic-rich to carbonate-rich sediments at the boundary between UNIT-3 and 2 is used as a correlation horizon (tie-point 1, TP-1) (Figure 5.1.3A).

UNIT-2 (233-61 cm depth, 11.240-1.940 cal BP) is an alternation of fine to medium, banded, creamy carbonate silts organized in dm-thick intervals (facies 3) and dark grey, mottled, massive, carbonate and organic-rich silts as cm-thick layers (facies 4). Facies 3 is made of endogenic carbonates precipitated in the palustrine and littoral lake subenvironments (e.g., Charophyceae, carbonate coatings) with maximum Ca values. Facies 4 has about 5% silicate content (clay minerals and quartz) marked by slight increases in the chemical elements associated to the siliciclastic fraction (Si, Fe, Ti). Both facies contain mm to cm-sized plant remains, suggesting a shallow depositional environment (littoral area). Mottled and soil textures (roots, bioturbation) are especially abundant in the grey silts indicating more frequent subaerial exposition.

UNIT-2 has been divided into three subunits depending on sedimentary facies and geochemical composition: SUB-2C (233-192 cm) is composed by facies 3 creamy carbonate silts. SUB-2B (192-140 cm) is characterized by the predominance of facies 4 with intercalations of more organic-rich facies (facies 6) and cm-thick coarse silt-fine sand carbonate-rich layers (facies 5). The presence of these organic-rich sediments in both sediment cores represents another correlation marker (TP-3) (Figure 5.1.3A). Finally SUB-2A (140-61 cm) represents the association of facies 3 and 4, with relatively higher carbonate content.

5.1. Villarquemado sequence

UNIT-1 (61-0 cm depth, post 1940 cal BP) is composed of dark brown to dark grey, massive, coarse peaty silt, with abundant plant fragments (facies 7) in VIL-05-1B and facies 4 with two cm-thick intercalations of facies 3 in core VIL-05-1A. UNIT-1 is composed of unconsolidated material; therefore geochemical properties were not analysed. As a result, correlation between the uppermost sections of the two cores (VIL-05-1A and VIL-05-1B) (TP-4) is based on the pollen composition (Figure 5.1.3A), as explained below.

Core	Lab. number	Depth (cm)	Radiocarbon date (¹⁴ C AMS yr BP)	Age error (yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal. yr BP)
VIL-05-1 ^a	Beta-332033	11	430	30	529-431
VIL-05-1 ^a	Beta-332034	132	7.460	40	8.365-8.190
VIL-05-1 ^a	Poz-16073	220	11.950	70	13.997-13.617
VIL-05-1B	Beta-319544	62.5	2.020	30	2.084-1.898
VIL-05-1B	Poz-18451	96.5	3.750	40	4.232-3.990
VIL-05-1B	Poz-18509	173.5	7.460	50	8.373-8.185
VIL-05-1B	Poz-18453	233	9.820	50	11.339-11.192
VIL-05-1B	Poz-15943	307	11.620	60	13.645-13.306

Table 5.1.1. Radiocarbon dates (AMS) for the Villarquemado sequence obtained from bulk sediment.

5.1. Villarquemado sequence

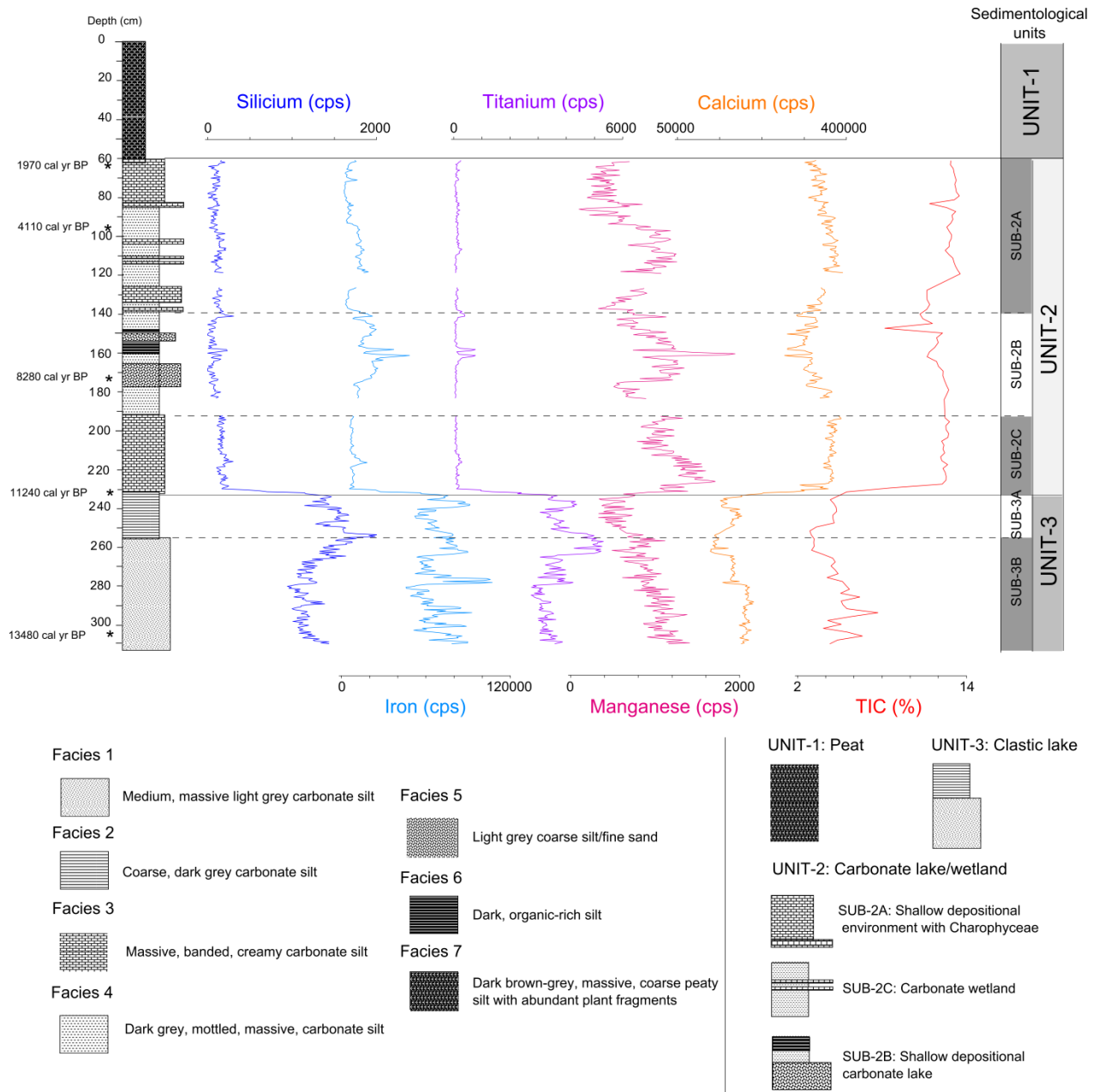


Figure 5.1.4. Sedimentary facies and sedimentological units, XRF analyses and TIC results for the Villarquemado sequence. XRF intensities are expressed in counts per second (cps) and TIC values in percentages. The facies description is supported by X-ray diffraction and visual inspection of relative mineral abundances on smear slides.

The pollen sequence

The preservation of pollen grains was generally good. Composite pollen diagrams are presented in the Figures 5.1.5 and 5.1.6 showing the analytic results of 99 samples. Six Villarquemado pollen assemblage zones (VIL) have been established.

VIL-6 (311-233 cm depth; ca. 13.540-11.240 cal BP), Sedimentary UNIT-3

Based on the variation of Cyperaceae, *Typha/Sparganium* type, hydrophyte-group and Pteridophytes, two subzones have been defined:

VIL-6B (311-256 cm depth; ca. 13.540-12.170 cal BP) is characterized by relatively low, fluctuating arboreal pollen (AP). *Pinus nigra/sylvestris* type is dominant (Figure 5.1.5). Other trees are less important, such as *Juniperus* amongst the conifers; both *Quercus faginea* type and evergreen *Quercus* are rare, as well as *Betula*, *Salix*, *Ulmus* and *Fraxinus*. Shrubs such as *Tamarix*, *Ephedra fragilis* and *Ephedra distachya* types show minor occurrences. Xerophytes are well represented, with *Artemisia*, Chenopodiaceae and Compositae as main contributors (Figure 5.1.6). Poaceae is relatively abundant and within the hydrophytic community, Cyperaceae show the highest percentages of the sequence, accompanied by high frequencies of *Ranunculus*, Juncaceae, *Typha/Sparganium* type and a significant presence of *Myriophyllum* and *Potamogeton*.

VIL-6A (256-233 cm depth; ca. 12.170-11.240 cal BP) is defined by a drastic change in the hydrophyte community (Figure 5.1.6). Particularly, the transition from sedimentary subunit SUB-3B to SUB-3A corresponds to the replacement of the previous Cyperaceae-dominated environment (with abundant Juncaceae and *Ranunculus*) with a *Typha/Sparganium* type community. This hydrological change is also marked by the highest development of submerged aquatic plants (*Myriophyllum* and *Potamogeton*) and the maximum frequencies of Pteridophyta spores (Figure 5.1.6).

VIL-5 (233-164 cm depth; ca. 11.240-7.780 cal BP), Sedimentary UNIT-2; SUB-2C, SUB-2B

Oscillations in AP frequencies allow two subzones to be defined:

During the *VIL-5B (233-192 cm depth; ca. 11.240-9.140 cal BP)* xerophytes, mainly *Artemisia* and Chenopodiaceae, rise considerably (Figure 5.1.6). AP values are still low. *Pinus nigra/sylvestris* type frequencies decrease, although *Juniperus* increases significantly (Figure 5.1.5). Broadleaved trees like *Betula*, and both *Quercus* types are recorded. *Tamarix* development is noticeable.

VIL-5A (192-162 cm depth; ca. 9.140-7.780 cal BP) is defined by progressive increases of *Betula*, *Corylus*, and both *Quercus* (Figure 5.1.5). A progressive coeval decrease in *Artemisia*, Chenopodiaceae, hydrophytes and hydrophytes is noticed (Figure 5.1.6).

VIL-4 (164-112 cm depth; ca. 7.780-5.000 cal BP), Sedimentary UNIT-2; SUB-2B, SUB-2A

This zone is characterized by the maximum abundance of deciduous trees (*Corylus*, *Quercus faginea* type, *Alnus*, *Salix*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Fagus* and *Tilia*), a decline of the *Pinus nigra/sylvestris* type frequencies, and a decrease in xerophyte values. This is synchronous with an increase in thermophilous elements; evergreen *Quercus* is the most important arboreal element and its expansion parallels the maximum frequencies of Mediterranean shrubs (*Pistacia*, *Rhamnus*, *Phillyrea*, *Buxus*, *Thymelaea*) and the continuous presence of Ericaceae, Rosaceae, Fabaceae and Lamiaceae (Figures 5.1.5 and 5.1.6). Continuous values of *Juniperus* and a significant presence of *Artemisia* are recorded. Poaceae diminishes significantly, while the hygro-hydrophytic component falls to its sequence minimum (Figure 5.1.6).

VIL-3 (112-71 cm depth; ca. 5.000-2.530 cal BP), Sedimentary UNIT-2; SUB-2A

During VIL-3, both *Pinus nigra/sylvestris* type and *Pinus pinaster/hapensis* type show important increases. Overall, mesophytes are decreasing, which affects especially to *Corylus*, while *Betula* and *Tilia* disappears. This zone also shows fluctuating evergreen *Quercus*. Although scant along previous zones, *Olea* occurs continuously showing a gradual increasing trend (Figure 5.1.5). During this period, pollen grains of *Cedrus* are recorded at 116, 103 and 99 cm depth (ca. 5.230, 4.490 and 4.260 cal BP respectively). Hygrophyte and

hydrophyte pollen grains occur in low abundances, similarly to the previous zone (Figure 5.1.6).

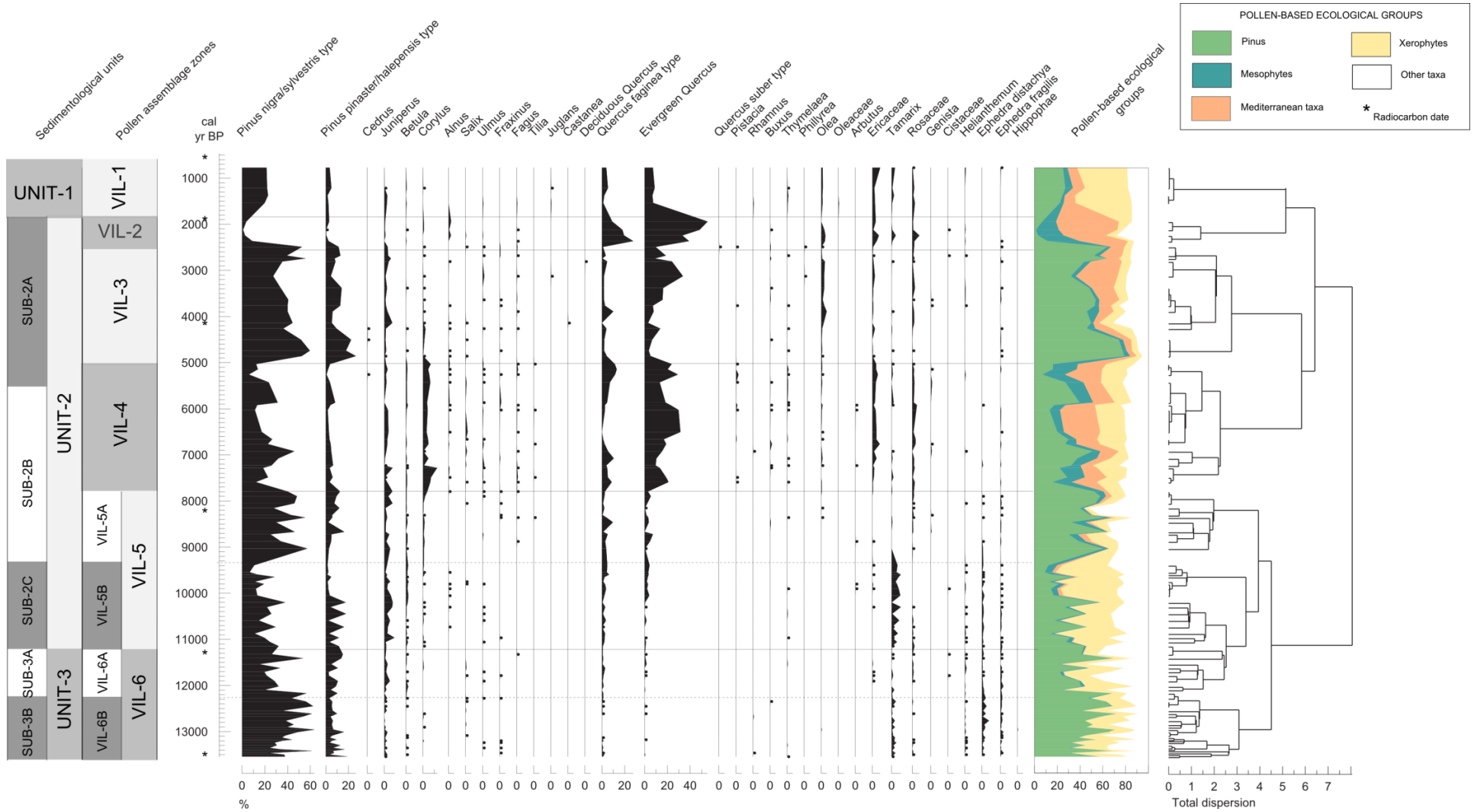
VIL-2 (71-62 cm depth; ca. 2.530-1.940 cal BP), Sedimentary UNIT-2; SUB-2A

A major change in forest structure is the main feature of this zone. *Pinus* reaches a minimum, and *Quercus faginea* and evergreen *Quercus* show significant expansions (Figures 5.1.5 and 5.1.6).

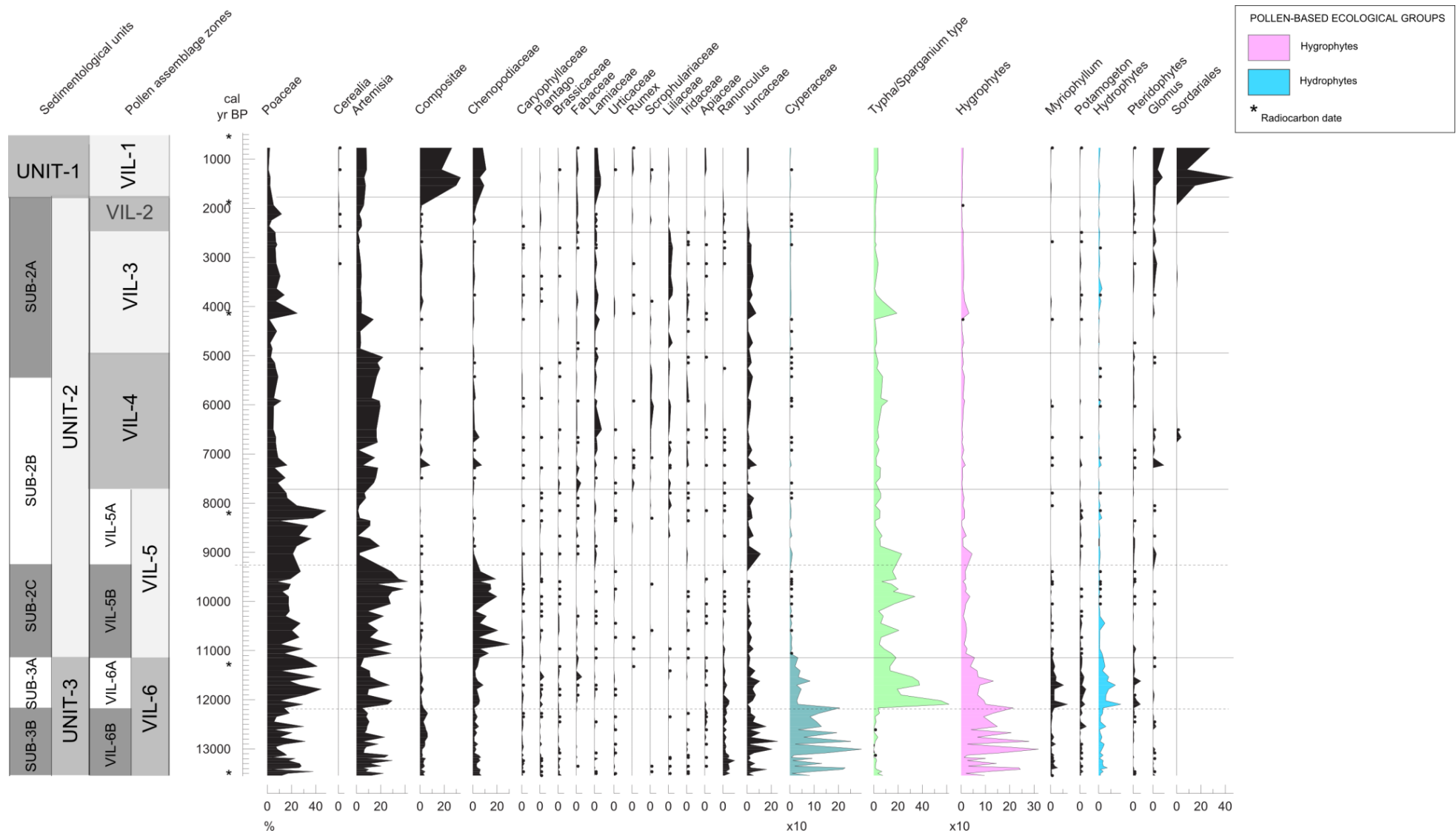
VIL-1 (61-32 cm depth; ca. 1.940-470 cal BP), Sedimentary UNIT-1

Pinus nigra/sylvestris type values partially rise while both *Quercus faginea* type and evergreen *Quercus* decline. AP is low (Figure 5.1.5) while the herb component (Compositae, Chenopodiaceae, *Artemisia*, Lamiaceae and Fabaceae) exhibits a large increase. Coprophilous fungal spores, dominated by Sordariales peak while a maximum in *Glomus* chlamydospores is seen (Figure 5.1.6).

5.1. Villarquemado sequence



5.1. Villarquemado sequence



5.1. Villarquemado sequence

Figure 5.1.5. Pollen diagram from Villarquemado sequence for trees and shrubs. Mesophytes-group comprises *Betula*, *Corylus*, *Alnus*, *Salix*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Fagus*, *Tilia*, *Juglans*, *Castanea*, deciduous *Quercus* and *Quercus faginea* type; Mediterranean taxa-group is composed by Evergreen *Quercus*, *Quercus suber* type, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Buxus*, *Thymelaea*, *Phillyrea*, *Olea*, Oleaceae and *Arbutus*; Xerophytes-group is formed by *Juniperus*, *Helianthemum*, *Ephedra distachya*, *E. fragilis*, *Hippophae*, *Artemisia*, Compositae and Chenopodiaceae; Other herbs-group includes Rubiaceae, *Gentiana*, Boraginaceae, Plumbaginaceae, *Armeria*, Primulaceae, *Papaver*, Geraniaceae, Malvaceae, Violaceae, Polygonaceae, *Crocus*, *Cytisus*, *Asphodelus*, *Galium*, Valerianaceae, Dipsacaceae, *Aristolochia* and *Cannabis/Humulus* type. Dots represent percentages <0.5%. Sedimentological units defined in Figure 5.1.4 are also reported to facilitate readability.

Figure 5.1.6. Pollen diagram from Villarquemado sequence for herbs, hygrophytes, hydrophytes, Pteridophytes and NPPs. Hygrophytes-group is composed by *Ranunculus*, Juncaceae, Cyperaceae, *Typha/Sparganium* type and *Thalictrum*. Hydrophytes-group includes *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Utricularia*, *Nuphar*, *Nymphaea* and *Callitriche*. Dots represent percentages <0.5%. Sedimentological units defined in Figure 5.1.4 are also reported to facilitate readability

Discussion

Climate, vegetation and hydrological variability during the last 13.500 cal BP

The Last Glacial-Interglacial transition (LGIT): resilient vegetation and hydrological variability (13.540-11.270 cal BP)

Last Glacial-Interglacial transition (LGIT) at Villarquemado was characterized by deposition of sediments with high siliciclastic content compared with the Holocene interval (Figure 5.1.4). The vegetation cover was composed by a relatively high amount of xerophytes (Figures 5.1.5 and 5.1.6) and the dominance of *Pinus nigra/sylvestris* type among the AP, with values around 40%. These percentages suggest the presence of some tree patches in an open landscape around the lake or a montane pinewood at higher altitudes, similarly to the present-day situation. Deciduous elements were poorly represented and probably were confined to riverbanks (e.g., *Ulmus*, *Salix*, *Fraxinus*) or in particular humid shelters of the Albarracín Range (Figure 5.1.5). The lack of a mesophyte vegetation expansion in response to the Allerød interstadial (GI-1a) period (Björck et al., 1997), corresponding to VIL-6B pollen zone according to our chronological model, differs from other Iberian areas where a broadleaf forest expansion has been recognized (Pons and Reille, 1988; Peñalba, 1994; Pérez-Obiol and Julià, 1994; Gil-García et al. 2002; González-Sampériz et al. 2006; Muñoz Sobrino et al., 2013). The lagged vegetation response to the

GI-1a climate signal is attributable to the resilience of the continental ecosystems to increased moisture availability, although vegetation dynamics may be partly masked by the low sample resolution of this interval (Figures 5.1.7 and 5.1.8). The resilient behaviour of the vegetation continues during the Younger Dryas (GS-1) chronozone (Björck et al., 1997) when no major changes in the forest physiognomy are recorded (Figures 5.1.5 and 5.1.8). Nevertheless, the increase in *Pinus* between 13.200 and 12.200 cal BP (VIL-6B) may partially reflect an altitudinal migration of the of the pinewood treeline associated with the onset of cooler conditions at higher elevations. Unfortunately, this hypothesis cannot be tested through correlation due to the lack of Lateglacial paleoecological records at higher altitudes in our study area. In addition, the Younger Dryas is not always clearly documented in the eastern Iberian sequences (Carrión et al., 2010a and references therein), suggesting a low impact of this event in pine woodlands.

Therefore, although no important changes in the regional vegetation during the LGIT are clearly recorded, local aquatic taxa and sedimentological indicators point to relatively high water levels and sediment delivery. In fact, hydrophytes reach their maximum values during this period, especially in the VIL-6A interval (12.170-11.230 cal BP), showing a remarkable shift from Cyperaceae-rich to a *Typha*-rich ecosystem with large amounts of *Myriophyllum*

and *Potamogeton* (Figures 5.1.6 and 5.1.8). These coincide with the high proportions of Ti and the siliciclastic composition of UNIT-3, particularly in SUB-3A, which indicate a lacustrine environment dominated by detrital supply to the basin (Figure 5.1.4). Such a situation would be related to an increase in the creeks/local rivers activity in the catchment as a response of (1) more intense rainfall events and/or (2) colder conditions in an open landscape. Both situations would favor erosion and the accumulation of detrital particles in the lake. The synchronous increase in aquatic pollen during the LGIT, indicating higher lake level, supports this hypothesis. The high lake level postulated for GS-1 would probably benefit from the decrease of evaporation rates as a consequence of the reduced annual temperatures in a global-scale cold period (Cacho et al., 2001; Moreno et al., 2010; Shakun and Carlson, 2010).

The Early Holocene: vegetation and hydrological response to marked seasonality (11.270-7.780 cal BP)

The early phase of the Holocene in the region was still dominated by a steppe landscape (VIL-5B), although a progressive development of more water-demanding temperate taxa (e.g., *Betula*, *Corylus* and *Quercus faginea* type) occurred from ca. 9.140 cal BP (VIL-5A), suggesting increased temperature and humidity (Figure 5.1.5). In agreement with other Mediterranean sequences from the north-eastern sector of the Iberian Peninsula, inner continental regions like the Villarquemado

palaeolake area were characterized by the prevalence of cool and arid conditions at the beginning of the Holocene (e.g., Lake Estanya, Morellón et al., 2009; Vegas-Vilarrúbia et al., 2013) with a remarkable persistence of Lateglacial xeric communities and pinewoods in the vegetation cover (González-Sampéris et al., 2005, and references therein). In particular, at Las Pardillas Lake (Figure 5.1.1), steppe-like vegetation composed by *Juniperus*, *Artemisia* and Poaceae was well represented prior to ca. 10.500 cal BP (Sánchez Goñi and Hannon, 1999) while at the nearby Ojos del Trededal, situated in the Albarracín Range (Figure 5.1.1), a treeless environment persisted until ca. 9.600 cal BP (Stevenson, 2000). The limited spread of mesic and thermophilous vegetation in Fuentillejo Maar (Vegas et al., 2010), inner continental Iberia (Figure 5.1.1), was also associated with a dry and probably cold climate regime during the first stages of the Holocene.

In southern and south-eastern Iberian intra-montane valleys and mid-altitude elevations, the same environmental conditions of the inner continental areas are clearly visible during this period. Thus, Navarrés (Carrión and van Geel, 1999), Villaverde (Carrión et al., 2001) and Siles (Carrión, 2002) exhibit a similar pattern of conifer prevalence during the first millennium of the Holocene as these communities are highly resilient and their fluctuations present a more inertial character (Figure 5.1.7). In a recent review, Rubiales et al. (2010) proposed that pinewoods spread in the Iberian mountains since the LGM until ca. 8.000 yr BP, suggesting

that empty ecological niches available after full-glacial climate conditions may have favored the early colonization of *Pinus* in a still dry climatic scenario. Consequently, not only during Lateglacial times but also during the early Holocene, pinewoods would have been better adapted, climatically favored and easily dispersed from multiple stands with respect to broadleaved species in medium altitude continental areas. Our data are coherent with the hypothesis by Rubiales et al. (2010) which points to a regional dominance of *Pinus* until 7.780 cal BP in the lowlands of the Albarracín Range (Figures 5.1.5 and 5.1.7).

Model simulations for Eurasia confirmed that increased summertime insolation in the Northern Hemisphere at the Holocene onset caused an increase in summer temperatures (Rimbu et al., 2003; Kim et al., 2004). Palaeoecological data in central and northern Europe have showed an almost immediate response of terrestrial ecosystems to the rise in temperature during the Early Holocene, visible by major fluctuations in the alpine timberline (Ali et al., 2003; Tinner and Kaltenrieder, 2005) and by the expansion of broadleaved trees reaching northern areas, even above the modern distributional range limit (Kullman, 2013, and references therein). Reduced winter insolation also implied minimum winter temperatures and extreme continentality due to the maximum amplitude of solar forcing. Thus, the persistence of steppe communities in the inner continental areas of Iberia may be associated with a reduced effective humidity, keeping moisture levels below the tolerance

threshold for tree growth (Tzedakis, 2007). Further evidence comes from North-African palaeoenvironmental studies (Lamb et al., 1989), where a strengthened monsoonal circulation has been considered as the main triggering factor promoting the persistence of a regional high pressure circulation mode (Cheddadi et al., 1998). In this mode, atmospheric stability and high summer temperatures may have led to higher evaporation rates and a consequent reduction of water tables in many continental Mediterranean areas. This mechanism may explain the prevalence of reduced water levels in Iberian lakes during the Early Holocene, i.e., in Lake Estanya (ca. 11.600-9.400 cal BP) (Figure 5.1.8), (Morellón et al., 2009; Vegas-Vilarrúbia et al., 2013). In continental Iberian sites like Salines (Roca and Julià, 1997) or Laguna de Medina (Reed et al., 2001), in south-eastern Spain (Figure 5.1.1), recurrent water level oscillations are revealed suggesting alternating permanent and ephemeral lake environments. In Villarquemado the reduction in Pteridophytes and aquatic plants (Figure 5.1.5), and the sharp decrease in siliciclastic elements (Ti, Si, Fe) contemporaneous to the substantial increase in freshwater gastropoda and charophyceae-rich facies, suggest an oscillation towards a shallower, carbonate-rich wetland, around 11.240 cal BP (Figures 5.1.4 and 5.1.8). The increase in Mn with respect to the LGIT values also supports the existence of shallow environments where oxidation processes were more frequent.

5.1. Villarquemado sequence

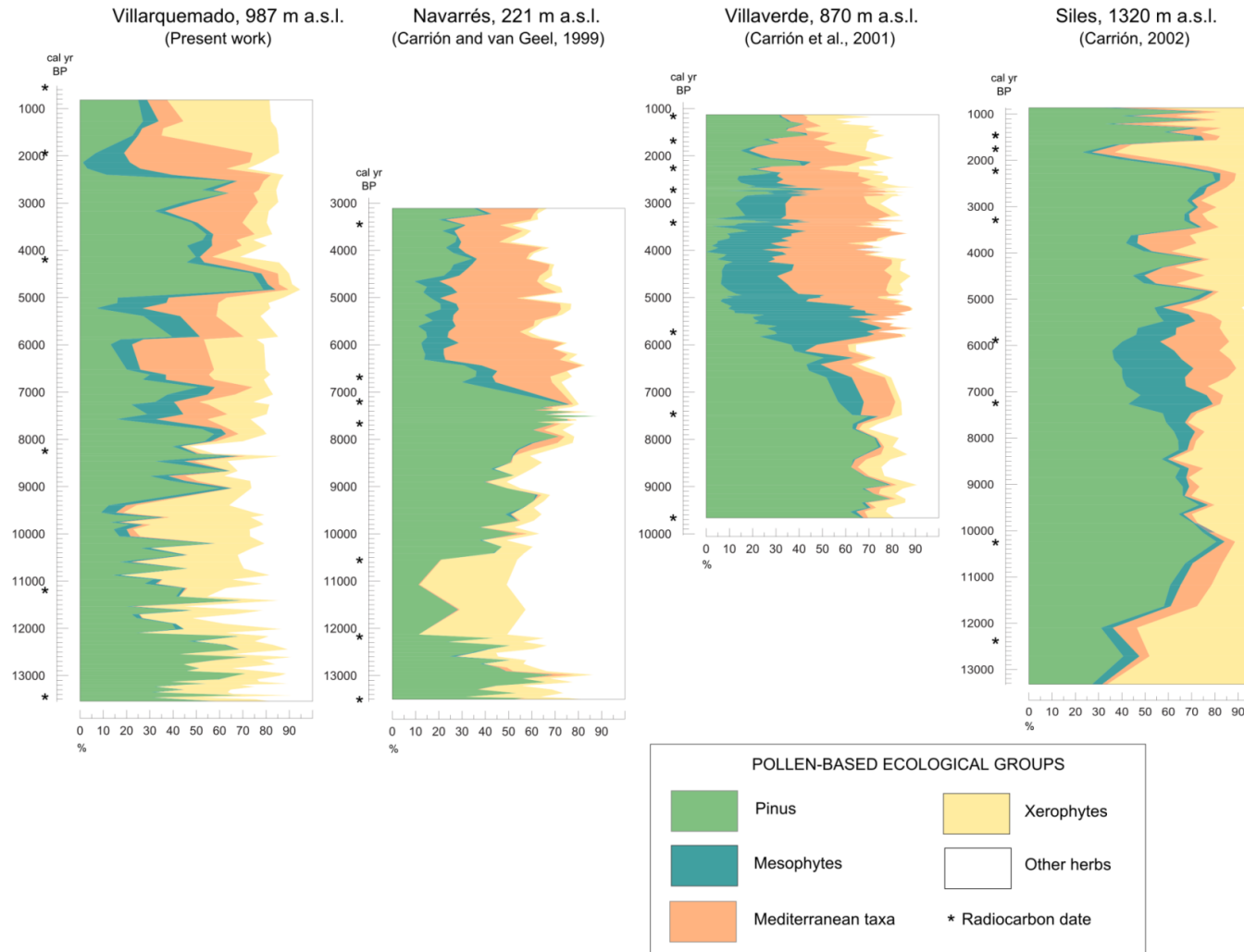


Figure 5.1.7. Main vegetation trends in the Villarquemado sequence and correlation with other Mediterranean continental records. Pollen-based ecological groups for Villarquemado are defined in Figure 5.1.5 caption. Pollen data for Navarrés, Villaverde and Siles have been obtained from Carrión and van Geel (1999), Carrión et al. (2001) and Carrión (2002), respectively.

The extent of the wetland was drastically reduced, as indicated by the progressive decline in hygrophite communities (Figure 5.1.6). Nevertheless, the continuous record of *Tamarix*, along with the scattered presence of *Myriophyllum* and *Potamogeton*, indicate the persistence of some unstable and seasonal ponds, probably in the lowest areas of the basin. At the same time, the increase in Chenopodiaceae and *Artemisia* pollen may reflect their local presence near the core site, in a climatic scenario with cold winter temperatures hindering the development of regional mesothermophilous vegetation (Figure 5.1.6).

Mixed oak woodland expansion during the Mid Holocene (7.780-5.000 cal BP)

The Mid Holocene in Villarquemado was characterized by the expansion of mesophytes and Mediterranean taxa whereas *Pinus nigra/sylvestris* forests and the herbaceous understory decreased (VIL-4), indicating both higher temperatures and moister conditions than in the previous phase (Figure 5.1.5). Favorable conditions for forest development are indicated by the dominance of *Quercus faginea* type and evergreen *Quercus*, followed by the spread of broadleaved taxa, reaching their maximum values in this period (Figures 5.1.5 and 5.1.8). From a regional perspective, sequences located in both north (Peñalba, 1994; Sánchez Goñi and Hannon, 1999; Gil-García et al., 2002) and southern slopes of the Iberian Range (Stevenson, 2000) reported similar vegetation successions, where *Betula*, and to a lesser extent deciduous *Quercus*, were the most

widespread deciduous elements. This pattern was also found in other north-eastern high-altitude localities (e.g., González-Sampériz et al. 2006; Pérez-Obiol et al. 2012; Pérez-Sanz et al., 2013), reflecting an upland tree colonization associated with the upward shift of the supramediterranean vegetation belt. The continuous record of *Betula* pollen in Villarquemado between 10.200 and 8.460 cal BP, a taxon currently absent in the area, may reflect the progressive birch colonization in the Albarracín Range as highlighted by Stevenson (2000). *Corylus*, whose modern distribution in the Iberian Peninsula is mainly related to the humid Eurosiberian region (Blanco-Castro et al., 1997), was continuously recorded from ca. 9.540 cal BP in Villarquemado, although its maximum spread took place ca. 7.450 cal BP (Figure 5.1.5), similarly to other continental Iberian locations (e.g., Siles, Carrión, 2002 ca. 7.270 cal BP; Ojos del Trededal, Stevenson, 2000 ca. 7.500 cal BP).

The Villarquemado palaeolake lowlands were most likely characterized by open evergreen oak formations accompanied by scattered juniper communities in dry slopes, with monospecific *Pinus pinaster* stands in redstones and an ericaceous understory (Figure 5.1.5). Maximum frequencies of riparian taxa (*Alnus*, *Salix*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia*) reflect increased fluvial activity. Significant *Artemisia* proportions, reaching ca. 20% despite the moister conditions, could be associated with the particular geomorphological features of the basin, mainly characterized by a massive spread of alluvial fans (Figure 5.1.2A),

where an unstable substrate might be colonized by *Artemisia* as this taxon does nowadays (Figure 5.1.2D).

Beyond local peculiarities, the present study matches the general hydrological model established for Mediterranean Iberia, suggesting the highest lake levels occurred in the 8.000-5.500 cal BP period (Carrión, 2002; Morellón et al., 2009; García-Alix et al., 2012) (Figure 5.1.8). Although a carbonate-producing wetland-shallow lake was established in Villarquemado through most of the Holocene sequence, dark, organic-rich silt facies with slight increases in Ti and Si occurred during the Mid Holocene. Sedimentological and geochemical proxies underline increased water availability during this time (Figure 5.1.4). Furthermore, regional-scale evidence for this wet-phase comes from tufa deposits development at the Mijares River Canyon between 10.000 and 5.000 yr BP (Peña et al., 2000), from the Guadalaviar River Basin at 7300-6800 yr BP (Sancho et al., 1997) and from the headwaters of Las Parras River since 10.100 cal BP (Rico et al., 2013) (Figure 5.1.1). The increase in temperature and moisture availability recorded during this period (7.780-5.000 cal BP) may be related to increased prevalence of westerlies in the continental areas of the Iberian Peninsula (Benito et al., 2003), probably linked to a weaker influence of the Hadley circulation system in the western Mediterranean Basin (Tzedakis, 2007; Vannière et al., 2011).

A secondary change in the forest composition was observed at ca. 6.800-5.800 cal BP, (VIL-4) (Figure 5.1.5). Although competition between *Quercus faginea* and evergreen *Quercus* cannot be ruled out as a factor for vegetation change, the general decline of mesophytes and the following increase in evergreen elements (evergreen *Quercus*, *Olea*, Ericaceae) as well as the significant presence of *Pinus*, suggest a reduction of summer precipitation and/or an increase of temperatures. In fact, estimates of $\delta^{13}\text{C}$ in Mid Holocene archaeobotanical remains located in the nearby Valencia Region confirm a progressive reduction in July precipitation between 6.000 and 5.000 yr BP (Aguilera et al., 2012). On the other hand, the reduced seasonal thermal contrast of the Mid Holocene caused warmer winters and milder summers, and consequently an increase in mean annual temperatures allowing the spread of more thermophilous, frost-sensitive elements (e.g., *Olea*, *Pistacia*, *Thymelaea*) (Figures 5.1.5 and 5.1.7) even in the inner areas of the Iberian Peninsula (Badal et al., 1994; Carrión et al., 2010).

Regionally, the same vegetation shift from deciduous to evergreen vegetation formations is reported from different continental sequences (Figure 5.1.7). At Siles, the maximum expansion of the Mediterranean forest-scrub was recorded at ca. 5900 cal BP (Carrión, 2002). At Navarrés, the colonization of sclerophyllous *Quercus* in pinewoods took place around 6000 cal BP, possibly triggered by human-induced fires under dry climate conditions (Carrión and van Geel,

1999). At Villaverde, the main change towards a dominance of evergreen *Quercus* is recorded ca. 5.300 cal BP, several centuries later than other discussed records (Carrión et al., 2001) (Figure 5.1.7). Anthracological data published by Allué et al., (2009) from Cova de la Guineu confirm this regional-scale pattern, reporting a change from humid to sub-humid Mediterranean climate, suggested by increasing abundance of evergreen *Quercus*, *Erica* and *Rhamnus/Phillyrea* in the charcoal record. Although a steady increase in summer dry conditions is recorded, the relatively high amount of deciduous elements especially between 5800 and 5000 cal BP, suggests a favourable mean annual precipitation, although with a more pronounced seasonality.

Sedimentological indicators reflect a slight decrease in lake levels with a dominance of more ephemeral depositional environment that persisted through the remaining UNIT-2. The change from carbonate-lake environment (SUB-2B) into shallower carbonate wetland (SUB-2A) is also shown by the inverse relationship between siliciclastic elements and Ca (Figure 5.1.4). This pattern towards drier conditions in continental Iberia (Carrión et al., 2010a) and elsewhere in the Mediterranean Basin (Jalut et al., 2009), likely represents the hydrological and vegetational response to the end of the orbitally-driven African Humid Period (deMenocal et al., 2000).

Increase in the aridity trend from the Mid to Late Holocene (5.000-2.530 cal BP)

Between 5.000 and 2.530 cal BP a mixed evergreen *Quercus-Pinus* forest developed while *Corylus* and other mesic trees (e.g., *Fraxinus*, *Salix*, *Ulmus*), which were probably confined in riverbanks and humid gorges, reduced significantly (VIL-3) (Figure 5.1.5). More contrasted continental and drier climate conditions could have favored the expansion of a *Pinus*-dominated landscape at the expense of mesophytes (Carrión et al., 2010a, and references therein) (Figure 5.1.5). Palynological data from areas within the thermo- and meso-Mediterranean areas reported woodland cover reductions after ca. 5.200 cal BP (Jalut et al., 2000; Pantaleón-Cano et al., 2003; Carrión, 2002; Carrión et al., 2001, 2004; Fletcher et al., 2007) (Figure 5.1.8). During this period, an increase in fire activity, probably enhanced by arid climate conditions, may have played a crucial role in favoring the spread of sclerophyte and fire-prone communities (Carrión and van Geel, 1999; Carrión et al., 2003; Gil-Romera et al., 2010a), even at high elevations (Carrión et al., 2007; Anderson et al., 2011; Jiménez-Moreno and Anderson, 2012; Jiménez-Moreno et al., 2013). In addition, marked changes in several lake sequences took place approximately at 5.100 cal BP. (Carrión et al., 2003; Anderson et al., 2011; García-Alix et al., 2012) (Figure 5.1.8). In Villarquemado, deposition in ephemeral lake conditions continued without major changes in the geochemical signature (SUB 2-A), except for a significant increase in Mn that might reflect

higher occurrence of oxidation processes in a shallow environment (Figure 5.1.4).

Other pollen-independent studies reach similar conclusions: at Laguna de Medina, Reed et al. (2001) suggest a clear decrease in lake levels after 5.530 cal BP, while at Siles phases of dramatic lake dessication around 5.200 and 4.100 cal BP are identified (Carrión, 2002) (Figure 5.1.8). An arid interval was recorded in Lake Estanya between 4.800-4.000 cal BP (Morellón et al., 2009), while the sequences at Lake Zoñar (Martín-Puertas et al., 2008) and Laguna de la Mula sequences (Jiménez-Moreno et al., 2013) start with low lake levels at ca. 4.000 cal BP (Figure 5.1.8). Further evidence towards dry environments in continental areas of Iberia are confirmed by enhanced erosive phases in the Trabaque Canyon tufa deposits (Domínguez-Villar et al., 2012), and by the reduced water availability along with the consequent decline in the tufa deposition in the Añavieja River system (Luzón et al., 2011). At a broader scale, the spread of aridity in the southern Peninsula has been correlated with millennial and submillennial-scale arid intervals in North Africa as recorded in Tigmamine Lake between 5.010-4.860 cal BP (Lamb and van der Kaars, 1995), Lake Sidi Ali at 6.000-5.000 cal BP (Lamb et al., 1999) and Dar Fatma (Ben Tiba and Reille, 1982). Single grains of *Cedrus* recorded in Villarquemado at the 5.160-4.240 cal BP interval suggest an enhanced influence of air masses reaching northern Mediterranean areas from North Africa (Magri and Parra, 2002; Di Rita and Magri, 2009).

Clearance of pine woodlands during Iberian-Roman times (2.530-1.940 cal BP)

The continuous *Pinus* frequencies (both *Pinus sylvestris/nigra* and *Pinus pinaster/halepensis* types) recorded in Villarquemado during the Lateglacial and the Holocene until 1.950 cal BP (Figure 5.1.5) confirm the native character of pinewoods in the inner continental areas of Iberia, as shown by numerous studies (Franco-Múgica et al., 2001, 2005; Carrión et al., 2004; Figueiral and Carcaillet, 2005; Rubiales et al., 2009, 2011; López-Sáez et al., 2010; García-Antón et al., 2011; Morales-Molino et al., 2012). *Pinus pinaster/halepensis* type is recorded throughout the record without major changes, probably reflecting a long-term persistence of Mediterranean pinewoods in sandy substrates of the southern Iberian Range, a region already defined by Carrión et al., (2000) and recently confirmed by chloroplast microsatellite markers (Gómez et al., 2005; Bucci et al., 2007), as an important source area for cluster pine during pre- and postglacial times.

Despite the persistence of *Pinus* in our sequence, an abrupt pinewood decrease occurred about ca. 2.530-1.940 cal BP, suggesting an anthropogenic disturbance (Figure 5.1.5). Archaeological data and historical sources reveal that both the Celtiberian (Lorrio and Ruiz-Zapatero, 2005) and Roman civilizations (Vicente-Redón, 2002) were present locally, significantly altering the environment by grazing practices and building structures for water management and river regulation (Rubio, 2004; Arenillas, 2007). In fact, during Roman

times, the Albarracín-Cella aqueduct was constructed, a magnificent 25 km long hydraulic infrastructure built to transfer water from the Guadalaviar River to the Cella village (Almagro Gorbea, 2002) (Figure 5.1.1). Although some authors consider that the aqueduct was designed by Muslim engineers (Sebastián López, 1989), the discovery of high density of *terra sigillata hispanica* pottery fragments, indicates that at least some parts of the infrastructure were completed before I-II A.D and therefore Roman culture was present (Almagro Gorbea, 2002; Rubio, 2004). Calibrated radiocarbon dates in this part of the Villarquemado sequence confirm that a major change in the forest composition occurred during the Iberian-Roman Period (Figure 5.1.5). Pollen evidences that the deforestation was particularly intense in the pine forest, in contrast to the oak woodland (both *Quercus faginea* type and evergreen *Quercus*) that surprisingly reached the highest values of the whole sequence (Figure 5.1.5). Although, chronologically well-constrained, multiproxy studies have recognized the existence of a moister phase between 2.600 and 1.600 cal BP, named as the Iberian-Roman Humid Period (Gil-García et al., 2007; Martín-Puertas et al., 2009; Jiménez-Moreno et al., 2013), the abrupt change recorded in the *Pinus* values in just 3 cm (<130 years) is unlikely to be explained by climate change only. Problems linked to taphonomical processes might not be relevant since the same trend is repeated in different cores from Villarquemado palaeolake (Figure 5.1.3A).

Deforestation has often been related to the intensification of agro-pastoral activities (Carrión et al., 2007; López-Merino et al., 2010; Pèlachs et al., 2009a; Bal et al., 2011), or mineral extraction and metallurgy (Pèlachs et al., 2009b). However, in the Villarquemado sequence no agricultural intensification has been recorded during this period (Figures 5.1.5 and 5.1.6) since only isolated presence of *Cerealia* type is recorded, without any noticeable proportions of ruderals (e.g., *Plantago*, *Rumex*, Polygonaceae) or cultivated trees (e.g., *Olea*, *Castanea*, *Juglans* and *Vitis*).

In addition, a preference of conifers for construction purposes compared to *Quercus* and other mesophyte species has been postulated in many ethnobotanical studies (Rubiales et al., 2011; Ntinou et al., 2012). *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* are more suitable for construction as they produce straighter trunks in comparison with *Quercus ilex* which is more suitable for fuelwood (Rubiales et al., 2011). Therefore, we propose that the pinewood clearance recorded in Villarquemado was to obtain building material to construct the Albarracín-Cella aqueduct, following the Roman economic and social expansion in the area.

At a European scale, the climate during the Roman period (2.600-1.600 cal BP) was characterized by increased humidity (van Geel et al., 1996), affecting particularly the southern latitudes (Zanchetta et al., 2007). Pollen-based studies across the Iberian Peninsula, especially in those regions where the human impact was

substantially negligible, revealed noticeable changes in the vegetation composition, with the spread of deciduous elements, as recorded in Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013), in Estany de Burg (Bal et al., 2011) and Laguna de la Mula (Jiménez-Moreno et al., 2013) among others. High lake productivity and the maximum diversity of the aquatic pollen characterizes the Tablas de Daimiel sequence during this period (Gil-García et al., 2007) coeval to the deposition of varves related to higher lake levels in Zoñar Lake (Martín-Puertas et al., 2009). Although the possible forcings and the detailed chronological delimitation of the mentioned period remain still unclear, the atmospheric circulation pattern has been presumably related to a persistent negative NAO mode, with North Atlantic origin storm tracks affecting with particular intensity south-western Mediterranean areas (Martín-Puertas et al., 2012).

Deposition in Lake Villarquemado during the Late Holocene is characterized by the co-existence of carbonate wetland environments with peatbog areas. Sedimentological proxies reveal a sharp change from a carbonate wetland (SUB-2A) to a peat (UNIT-1) at ca. 1.940 cal BP (Figure 5.1.4) in core VIL05-1B. However, it does not appear clearly in VIL05-1A (Figure 5.1.3A), underlying the depositional spatial variability in a shallow lacustrine system such as the Villarquemado palaeolake.

Increased landscape management during the last 1.500 years (1.940-470 cal BP)

The time period between 1.940-470 cal BP was characterized by the increase in anthropogenic pressure shaping the current patched landscape in the Jiloca Basin. Pinewoods partially recovered at high altitudes, while in the lowlands, covered by evergreen and deciduous oak communities, pine reduced noticeably (VIL-1) (Figure 5.1.5). Slash and burn practices were probably frequent (Figure 5.1.6) and during this period livestock became an important economic activity in the area, evidenced by an exponential increase in coprophilous fungi of Sordariales-group. Also, nitrophilous elements like Compositae, Chenopodiaceae, *Rumex* or Apiaceae increased substantially, reflecting a major change towards an open and degraded environment. Similarly, *Glomus* chlamydospores increased (Figure 5.1.6) suggesting enhanced soil erosion due to grazing practices.

The relatively poor pollen resolution for this period together with the lack of detailed geochemical analyses from the core VIL-05-1A do not allow a detailed definition of climate evolution from our proxies, although it is well-known that the last two millennia in the Iberian Peninsula were characterized by a marked climate variability with the alternation of warm/dry and cool/moist periods (Morellón et al., 2012; Moreno et al., 2012b). In general terms, deforestation ceased and pines spread in the highlands after the decline of the Roman Empire (Figure 5.1.5), possibly in a drier climate context. Similarly, in the nearby Albarracín Range,

pinewood colonized the previous deciduous woodland at 1.840 cal BP and remained dominant until ca. 440 cal BP (Stevenson, 2000). Nevertheless, water levels seem to have remained low in the Villarquemado palaeolake with a patchy distribution of shallow carbonate lakes and wetlands since, no major evidence of recovery is inferred from the sedimentological sequence (Figure 5.1.4) or from the expansion of hygro- and hydrophyte communities (Figure 5.1.6).

In the 18th century, Villarquemado palaeolake was artificially desiccated in order to achieve new land for cultivation and/or to reduce malarial-ridden swampy areas (Rubio, 2004). This transition has been dated in the sedimentary sequence of Villarquemado palaeolake at 430 ± 30 (470 cal BP) radiocarbon data.

Vegetation resilience to abrupt climate changes

It is now well-established that the Lateglacial and Holocene periods have been characterized by sharp climate changes occurring at millennial-scale (Bond et al., 1997). Pollen data from central Europe have revealed an immediate response of terrestrial ecosystems showing a widespread decline of drought-sensitive species such *Corylus* that retreated in response to increased cool, dry and windy conditions (Tinner and Lotter, 2001; Kofler et al., 2005). Similarly, the sensitivity of the Iberian vegetation to global-scale climate changes has been widely reported, although it was mainly

found in Atlantic-influenced sequences where the vegetation succession was characterized by a broadleaved vegetation expansion at the Holocene onset, shaped by short-lived peaks of xerophytes, and by the progressive increase in drought tolerant taxa in response to more-seasonal conditions from the mid-Holocene onwards (Carrión et al., 2010a and references therein). Examples of this vegetation succession have been well-defined in the Pyrenees by records such as El Portalet (González-Sampéris et al., 2006), Tramacastilla (Montserrat-Martí, 1992) or by the recently published Basa de La Mora (Pérez-Sánchez et al., 2013), recording marked climate shifts towards arid conditions at ca. 9.300 and 8.300 cal BP. Similarly, pollen data obtained from sequences located in the Cantabrian Mountains (Moreno et al., 2011), in north-western Iberia (Muñoz-Sobrino et al., 2005; López-Merino et al., 2012) or from coastal areas of Portugal (Fletcher et al., 2007) have reported a similar vegetation succession characterized by forest opening and coeval increase in steppe elements.

In contrast, based on a palynological approach, continental areas of the Iberian Peninsula do not clearly reflect these centennial-scale climate events, even when the chronological models are well-established, without apparent hiatuses and abrupt changes in the sedimentation rates (e.g., Carrión and van Geel, 1999; Sánchez Goñi and Hannon, 1999; Stevenson, 2000; Carrión, 2002; Carrión et al., 2007; García-Antón et al., 2011) while resolution in most these cases is high enough to detect those oscillations (e.g.

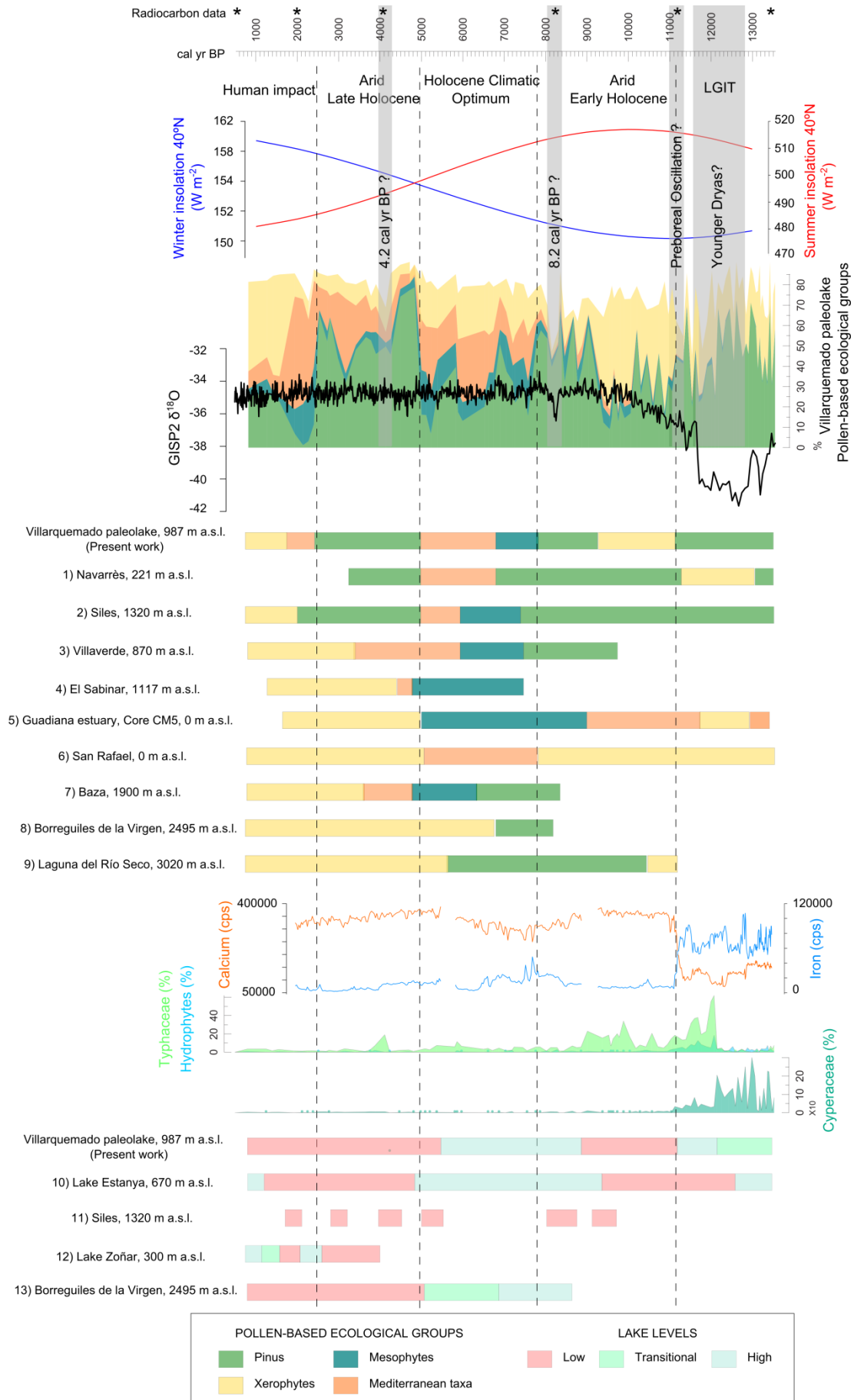
Sánchez Goñi and Hannon, 1999; Franco-Múgica et al., 2001; Carrión, 2002; Carrión et al., 2007). In Villarquemado palaeolake, the depth-age model reflects a lineal, continuous and relatively high sediment accumulation rate for the Lateglacial (0.030 cm yr⁻¹), decreasing slightly to 0.049 cm yr⁻¹ during the early Holocene (Figure 5.1.3B). Global-scale abrupt climate reversals such as the Preboreal Oscillation (Fisher et al., 2002), the 8.200 cal BP event (Alley et al., 2003), and the 4.200 cal BP aridity crisis (Cullen et al., 2000) have been chronologically well-constrained by means of radiocarbon dates reporting results centered at 9.820±50 (11.250 cal BP), 7.460±50 (8.280 cal BP) and 3.750±40 (4.110 cal BP) respectively (Table 5.1.1). Nevertheless, no major changes in the pollen sequence have been observed compared to the previous trend (Figure 5.1.8). In addition, pollen analysis performed for comparison in Core VIL-05-1A (not shown in this work) around the radiocarbon date 7.460±40 (8.275 cal BP) (Table 1) show a vegetation landscape similar to VIL-05-1B sequence, without a clear evidence of forest opening around 8.200 cal BP. Considering that peculiarities related to depth-age model or sampling resolution are not the main factors explaining the lack of vegetation response to abrupt events in the Villarquemado palaeolake, the stable character of the continental forest communities could be partially explained by its optimal ecological niche, including the lack of successional competitors during harsh climatic periods. Modern ecophysiological studies have demonstrated that conifers are better adapted to

water-stress induced by drought in comparison to broadleaved trees (Lloret et al., 2007). Then, the ecosystem's inertia would also play a role on buffering climate perturbations. This persistence is supported by the complex interactions of the postglacial pinewoods with the newly established junipers and oak forests during the recorded period. These interactions are usually difficult to establish but once they are created, they hamper perturbations in well-developed and mature communities (Gil-Romera et al., 2009, 2010b; Carrión et al., 2010b). Moreover, since aridity is an intrinsic driver of the Villarquemado landscape without any clear marker of regional forest contractions during the Lateglacial and Early Holocene, short-lived arid spells in a drought-tolerant environment are likely to be substantially negligible. This model may be extrapolated to many Iberian records that see similar signals of vegetation inertia (e.g., Carrión and van Geel, 1999; Sánchez Goñi and Hannon, 1999; Stevenson, 2000; Franco-Mugica et al., 2001, 2005; Carrión, 2002; García-Antón et al., 2011). Instead, in Atlantic-influenced sequences the well-established deciduous vegetation seems more vulnerable to arid events as the forest responds showing a sharp opening or treeline experiences major shifts at high altitudes that result easier to detect than in continental sequences (e.g., Muñoz-Sobrinó et al., 2005; González-Sampérez et al., 2006; Moreno et al., 2011; López-Merino et al., 2012; Pérez-Sánchez et al., 2013). In many cases, these abrupt forest depletions are evidenced by increased *Pinus* pollen frequencies indicating its

5.1. Villarquemado sequence

xeric behaviour (e.g., González-Sampériz et al., 2006; Pérez-Sáenz et al., 2013).

5.1. Villarquemado sequence



5.1. Villarquemado sequence

Figure 5.1.8, Comparison of the Villarquemado sequence (pollen-based ecological groups, top; aquatic taxa and geochemical composition, center) with selected records from continental Iberia for the Lateglacial and Holocene derived from various approaches. Winter and summer insolation values for 40°N are calculated by means of PAST software (Hammer et al., 2001) and GISP2 isotope values obtained from Stuiver et al. (1995). Pollen data have been acquired from 1) Navarrés (Carrión and van Geel, 1999); 2) Siles (Carrión, 2002); 3) Villaverde (Carrión et al., 2001); 4) El Sabinar (Carrión et al., 2004); 5) Core CM5 (Fletcher et al., 2007); 6) San Rafael (Pantaléon-Cano et al., 2003); 7) Baza (Carrión et al., 2007); 8) Borreguiles de la Virgen (Jiménez-Moreno and Anderson, 2012) and 9) Laguna del Río Seco (Anderson et al., 2011). The main lake level phases are derived from 10) Lake Estanya (Morellón et al., 2009); 11) Siles (Carrión, 2002); 12) Lake Zoñar (Martín-Puertas et al., 2008); and 13) Borreguiles de la Virgen (García-Alix et al., 2012). Pollen-based ecological groups for Villarquemado defined in the caption of Figures 5.1.5 and 5.1.6 and lake level reconstructions have been summarized by integrating sedimentological, geochemical and hygro-hydrophyte pollen assemblages.

Conclusions

High-resolution multiproxy analyses of the Villarquemado palaeolake allow the reconstruction of both meso- and supra-Mediterranean vegetation dynamics, climate and hydrological changes in the southeastern Iberian Range during the last ca. 13.500 cal BP. Most of the studied period has been characterized by a marked resilience of terrestrial vegetation and gradual responses to millennial-scale climate fluctuations. The main vegetation and hydrological responses to global climate variability have been identified using palynological, sedimentological and geochemical indicators, enabling correlations with other continental Iberian paleoenvironmental sequences. In general terms, six phases occurred between ca. 13.500 and 450 cal BP as follows:

1) Regional cool conditions are inferred for the LGIT (13.540-11.270 cal BP) with conifers and steppe elements as main landscape elements. In addition, the well-developed hygro-hydrophyte pollen assemblages and the sedimentary facies associations reveal high water levels, probably as a consequence of reduced evapotranspiration rates and/or higher intensity of precipitation events.

2) Prevalence of dry conditions in response to increased seasonality is the main feature for the Early Holocene (11.270-7.780 cal BP), when conifer forests and xerophytes spread regionally.

Hydrologically, this phase corresponds with an abrupt change towards a shallow carbonate-wetland with both littoral and aquatic communities experiencing a marked decrease.

3) Moister conditions characterize the beginning of the Mid Holocene (7.780-5.000 cal BP) in coherence with the regional pattern, showing the expansion of meso-thermophilous taxa with both *Quercus faginea* and evergreen *Quercus* as main woodland components. Local hydrological conditions suggest increased water availability in a carbonate-wetland system.

4) The progressive increase in arid conditions during the late Holocene (5.000-2.530 cal BP) enabled the expansion of a mixed *Pinus*-evergreen *Quercus* forest. The carbonate-lake environment persisted during this period.

5) During Ibero-Roman times, pinewood forest clearance (2.530-1.940 cal BP) represents the most important deforestation phase as a consequence of anthropogenic disturbance. Carbonate shallow lakes and wetlands dominated during this period and peat formation could have been favored during some intervals.

6) Between 1.940 and 470 cal BP increased landscape management associated to grazing pressure shaped a patchy forest landscape without clear evidence of agricultural intensification.

References

- Aguilera, M., Ferrio, J.P., Pérez, G., Araus, J.L., Voltas, J., 2012. Holocene changes in precipitation seasonality in the western Mediterranean Basin: a multi-species approach using $\delta^{13}\text{C}$ of archaeobotanical remains. *Journal of Quaternary Science* 27, 192-202.
- Ali, A.A., Carcaillet, C., Guendon, J.-L., Quinif, Y., Roiron, P., Terral, J.-F., 2003. The Early Holocene treeline in the southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography* 12, 411-419.
- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C., Clark, P.U., 1997. Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology* 25, 483-486.
- Alley, R.B., Marotzke, J., Nordhaus, W.D., Overpeck, J.T., Peteet, D.M., Pielke, R.A., Pierrehumbert, R.T., Rhines, P.B., Stocker, T.F., Talley, L.D., Wallace, J.M., 2003. Abrupt Climate Change. *Science* 299, 2005-2010.
- Allué, E., Vernet, J.-L., Cebrià, A., 2009. Holocene vegetational landscapes of NE Iberia: charcoal analysis from Cova de la Guineu, Barcelona, Spain. *The Holocene* 19, 765-773.
- Almagro Gorbea, A., 2002. Acueducto de Albarracín a Cella (Teruel). *Ingeniería romana en España*. Madrid, 213-237.
- Anderson, R.S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J.S., Pérez-Martínez, C., 2011. Postglacial history of alpine vegetation, fire, and climate from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Science Reviews* 30, 1615-1629.
- Arenillas, M., 2007. A Brief History of Water Projects in Aragon. *International Journal of Water Resources Development* 23, 189-204.
- Aura, J.E., Jordá, J.F., Montes, L., Utrilla, P., 2011. Human responses to Younger Dryas in the Ebro valley and Mediterranean watershed (Eastern Spain). *Quaternary International* 242, 348-359.
- Badal, E., Bernabeu, J., Vernet, J.L., 1994. Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age (7000–4000 B.P.) in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 155-166.
- Bal, M.-C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Julià, R., Cunill, R., 2011. Fire history and human activities during the last 3300 cal BP in Spain's Central Pyrenees: The case of the Estany de Burg. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 300, 179-190.
- Barreiro-Lostres, F., Moreno, A., Giral, S., Valero-Garcés, B.L., 2013. Evolución sedimentaria del lago kárstico de La Parra (Cuenca) durante los últimos 1600 años: paleohidrología, clima e impacto humano. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 179-193.
- Benito, G., Sopeña, A., Sánchez-Moya, Y., Machado, M.J., 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., 2009. Documentation for Psimpoll 4.27 and Pscomb 1.03: C Programs for Plotting Pollen Diagrams and Analysing Pollen Data, Queen's University of Belfast, Department of Archaeology and Palaeoecology.
- Ben Tiba, B., Reille, M., 1982. Recherches pollen-analytiques dans les montagnes de Kroumirie (Tunisie septentrionale): premiers résultats. *Ecologia Mediterranea* 8, 75-86.
- Björck, S., Rundgren, M., Ingólfsson, Ó., Funder, S., 1997. The Preboreal oscillation around the Nordic Seas: terrestrial and lacustrine responses. *Journal of Quaternary Science* 12, 455-465.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for "classical" age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5, 512-518.
- Blanco-Castro, E., Casado, M., Costa, M., Escribano, R., García-Antón, M., Génova, M., Gómez, A., Moreno, J., Morla, C., Regato, P., Sainz Ollero, H., 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Barcelona, Planeta 572.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., 1997. A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates. *Science* 278, 1257-1266.
- Bucci, G., González-Martínez, S.C., Le Provost, G., Plomion, C., Ribeiro, M.M., Sebastiani, F., Alía, R., Vendramin, G.G., 2007. Range-wide phylogeography and gene zones in *Pinus pinaster* Ait. revealed by chloroplast microsatellite markers. *Molecular Ecology* 16, 2137-2153.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Canals, M., Sbaffi, L., Shackleton, N.J., Schönfeld, J., Zahn, R., 2001. Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes. *Paleoceanography* 16, 40-52.
- Carrión, J.S., 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews* 21, 2047-2066.
- 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.
- Carrión, J.S., Navarro, C., Navarro, J., Munuera, M., 2000. The distribution of cluster pine (*Pinus pinaster*) in Spain as derived from palaeoecological data: relationships with phytosociological classification. *The Holocene* 10, 243-252.
- Carrión, J.S., Andrade, A., Bennett, K.D., Navarro, C., Munuera, M., 2001. Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11, 635-653.
- Carrión, J.S., Sánchez-Gómez, P., Mota, J.F., Yll, R., Chaín, C., 2003. Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gádor, southern Spain. *The Holocene* 13, 839-849.
- Carrión, J.S., Yll, E.I., Willis, K.J., Sánchez, P., 2004. Holocene forest history of the eastern plateaux in the Segura Mountains (Murcia, southeastern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 132, 219-236.

- Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J.C., Fernández, S., Andrade, A., 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26, 1455-1475.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010a. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458-475.
- Carrión, J.S., Fernández, S., Jiménez-Moreno, G., Fauquette, S., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Finlayson, C., 2010b. The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. *Journal of Arid Environments* 74, 731-736.
- Carrión, Y., Ntinou, M., Badal, E., 2010. *Olea europaea* L. in the North Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early-Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews* 29, 952-968.
- Casas-Sainz, A.M., De Vicente, G., 2009. On the tectonic origin of Iberian topography. *Tectonophysics* 474, 214-235.
- Combourieu Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., Marret, F., 2009. Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25 000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past* 5, 503-521.
- Constante, A., Peña, J.L., Muñoz, A., Picazo, J., 2011. Climate and anthropogenic factors affecting alluvial fan development during the late Holocene in the central Ebro Valley, northeast Spain. *The Holocene* 21, 275-286.
- Cortés-Sánchez, M., Jiménez Espejo, F.J., Simón Vallejo, M.D., Gibaja Bao, J.F., Carvalho, A.F., Martínez-Ruiz, F., Gamiz, M.R., Flores, J.-A., Paytan, A., López Sáez, J.A., Peña-Chocarro, L., Carrión, J.S., Morales Muñiz, A., Roselló Izquierdo, E., Riquelme Cantal, J.A., Dean, R.M., Salgueiro, E., Martínez Sánchez, R.M., De la Rubia de Gracia, J.J., Lozano Francisco, M.C., Vera Peláez, J.L., Rodríguez, L.L., Bicho, N.F., 2012. The Mesolithic-Neolithic transition in southern Iberia. *Quaternary Research* 77, 221-234.
- Cullen, H.M., deMenocal, P.B., Hemming, S., Hemming, G., Brown, F.H., Guilderson, T., Sirocko, F., 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: evidence from the deep sea. *Geology* 28, 379-382.
- Cheddadi, R., Lamb, H.F., Guiot, J., Van Der Kaars, S., 1998. Holocene climatic change in Morocco: a quantitative reconstruction from pollen data. *Climate Dynamics* 14, 883-890.
- Davis, B.A.S., Stevenson, A.C., 2007. The 8.2 ka event and Early-Mid Holocene forests, fires and flooding in the Central Ebro Desert, NE Spain. *Quaternary Science Reviews* 26, 1695-1712.
- deMenocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L., Yarusinsky, M., 2000. Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews* 19, 347-361.
- Denton, G.H., Broecker, W.S., 2008. Wobbly ocean conveyor circulation during the Holocene? *Quaternary Science Reviews* 27, 1939-1950.

- Di Rita, F., Magri, D., 2009. Holocene drought, deforestation and evergreen vegetation development in the central Mediterranean: a 5500 year record from Lago Alimini Piccolo, Apulia, southeast Italy. *The Holocene* 19, 295-306.
- Domínguez-Villar, D., Vázquez-Navarro, J.A., Carrasco, R.M., 2012. Mid-Holocene erosive episodes in tufa deposits from Trabaque Canyon, central Spain, as a result of abrupt arid climate transitions. *Geomorphology* 161-162, 15–25.
- Figueiral, I., Carcaillet, C., 2005. A review of Late Pleistocene and Holocene biogeography of highland Mediterranean pines (*Pinus* type *sylvestris*) in Portugal, based on wood charcoal. *Quaternary Science Reviews* 24, 2466-2476.
- Fisher, T.G., Smith, D.G., Andrews, J.T., 2002. Preboreal oscillation caused by a glacial Lake Agassiz flood. *Quaternary Science Reviews* 21, 873-878.
- Fletcher, W.J., Boski, T., Moura, D., 2007. Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley, Portugal, during the last 13 000 years. *The Holocene* 17, 481-494.
- Fletcher, W.J., Sánchez Goñi, M.F., 2008. Orbital- and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research* 70, 451-464.
- Fletcher, W.J., Sánchez Goñi, M.F., Peyron, O., Dormoy, I., 2010. Abrupt climate changes of the last deglaciation detected in a western Mediterranean forest record. *Climate of the Past* 6, 245-264.
- Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado-Ruiz, J., Morla-Juaristi, C., Sainz-Ollero, H., 2001. The Holocene history of *Pinus* forests in the Spanish Northern Meseta. *The Holocene* 11, 343-358.
- Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado-Ruiz, J., Morla-Juaristi, C., Sainz-Ollero, H., 2005. Ancient pine forest on inland dunes in the Spanish northern meseta. *Quaternary Research* 63, 1-14.
- Frigola, J., Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Sierro, F.J., Flores, J.A., Grimalt, J.O., Hodell, D.A., Curtis, J.H., 2007. Holocene climate variability in the western Mediterranean region from a deepwater sediment record. *Paleoceanography* 22.
- García-Alix, A., Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Jiménez-Espejo, F.J., Delgado-Huertas, A., 2012. Holocene environmental change in southern Spain deduced from the isotopic record of a high-elevation wetland in Sierra Nevada. *Journal of Paleolimnology* 48, 471-484.
- García-Antón, M., Franco-Múgica, F., Morla-Juaristi, C., Maldonado-Ruiz, J., 2011. The biogeographical role of *Pinus* forest on the Northern Spanish Meseta: a new Holocene sequence. *Quaternary Science Reviews* 30, 757-768.
- Gil-García, M.J., Dorado-Valiño, M., Valdeolillos Rodríguez, A., Ruiz-Zapata, M.B., 2002. Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International* 93-94, 13-18.
- Gil-García, M.J., Ruiz-Zapata, M.B., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C.J., 2007. Late holocene environments in Las Tablas de Daimiel (south central Iberian peninsula, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 241-250.

- Gil-Romera, G., Carrión, J.S., McClure, S.B., Schlich, S., Finlayson, C., 2009. Holocene vegetation dynamics in mediterranean Iberia: Historical contingency and climate-human interactions. *Journal of Anthropological Research* 65, 271-285.
- Gil-Romera, G., Carrión, J.S., Pausas, J.G., Sevilla-Callejo, M., Lamb, H.F., Fernández, S., Burjachs, F., 2010a. Holocene fire activity and vegetation response in South-Eastern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 29, 1082-1092.
- Gil-Romera, G., López-Merino, L., Carrión, J.S., González-Sampérez, P., Martín-Puertas, C., López-Sáez J.A., Fernández, S., García-Antón, M., Stefanova, V., 2010b. Interpreting resilience through long-term ecology: Potential insights in western Mediterranean landscapes. *Open Ecology Journal*, 3, 43-53.
- Gómez, A., Vendramin, G.G., González-Martínez, S.C., Alía, R., 2005. Genetic diversity and differentiation of two Mediterranean pines (*Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Ait.) along a latitudinal cline using chloroplast microsatellite markers. *Diversity and Distributions* 11, 257-263.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Carrión, J.S., Peña-Monné, J.L., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., 2005. Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: New data and a review. *Quaternary International* 140-141, 4-20.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66, 38-52.
- González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., 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.
- González-Sampérez, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena, M., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez-Bea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71, 121-132.
- González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427-457.
- González-Sampérez, P., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., Santos, L., Morellón, M., Mata, P., Andrade, A., Carrión, J.S., 2013. Reconstrucción paleoambiental del último ciclo glacial en la Iberia continental: la secuencia del Cañizar de Villarquemado (Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 49-76.
- Gracia, F.J., Gutiérrez, F., Gutiérrez, M., 2003. The Jiloca karst polje-tectonic graben (Iberian Range, NE Spain). *Geomorphology* 52, 215-231.

- Grimm, E.C., 1987. CONISS: a Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences* 13, 3-35.
- Gutiérrez, F., Valero-Garcés, B., Desir, G., González-Sampériz, P., Gutiérrez, M., Linares, R., Zarroca, M., Moreno, A., Guerrero, J., Roqué, C., Arnold, L.J., Demuro, M., 2013 Late Holocene evolution of playa lakes in the central Ebro depression based on geophysical surveys and morpho-stratigraphic analysis of lacustrine terraces. *Geomorphology* 196, 177-197.
- Gutiérrez-Elorza, M., Gracia, F.J., 1997. Environmental interpretation and evolution of the Tertiary erosion surfaces in the Iberian Range (Spain). Geological Society, London, Special Publications 120, 147-158.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4.
- Hoek, W.Z., Yu, Z.C., Lowe, J.J., 2008. INTegration of Ice-core, MARine, and TERrestrial records (INTIMATE): refining the record of the Last Glacial-Interglacial Transition. *Quaternary Science Reviews* 27, 1-5.
- Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255-290.
- Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200, 4-18.
- Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., 2012. Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Research* 77, 44-53.
- Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Hernández-Corbalán, M.D., Anderson, R.S., Delgado-Huertas, A., 2013. Vegetation, fire, climate and human disturbance history in the southwestern Mediterranean area during the late Holocene. *Quaternary Research* 79, 110-122.
- Kim, J.-H., Rambu, N., Lorenz, S.J., Lohmann, G., Nam, S.-I., Schouten, S., Rühlemann, C., Schneider, R.R., 2004. North Pacific and North Atlantic sea-surface temperature variability during the Holocene. *Quaternary Science Reviews* 23, 2141-2154.
- Kofler, W., Krapf, V., Oberhuber, W., Bortenschlager, S., 2005. Vegetation responses to the 8200 cal. BP cold event and to long-term climatic changes in the Eastern Alps: possible influence of solar activity and North Atlantic freshwater pulses. *The Holocene* 15, 779-788.
- Kullman, L., 2013. Ecological tree line history and palaeoclimate - review of megafossil evidence from the Swedish Scandes. *Boreas* 42, 555-567.
- Lamb, H.F., Eicher, U., Switsur, V.R., 1989. An 18,000-Year Record of Vegetation, Lake-Level and Climatic Change from Tigalmamine, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Biogeography* 16, 65-74.
- Lamb, H.F., van der Kaars, S., 1995. Vegetational response to Holocene climatic change: pollen and

palaeolimnological data from the Middle Atlas, Morocco. *The Holocene* 5, 400-408.

Lamb, H., Roberts, N., Leng, M., Barker, P., Benkaddour, A., van der Kaars, S., 1999. Lake evolution in a semi-arid montane environment: response to catchment change and hydroclimatic variation. *Journal of Paleolimnology* 21, 325-343.

Lloret, F., Lobo, A., Estevan, H., Maisongrande, P., Vayreda, J., Terradas, J., 2007. Woody plant richness and NDVI response to drought events in Catalanian (northeastern Spain) forests. *Ecology* 88, 2270-2279.

López-Blanco, C., Gaillard, M.-J., Miracle, M.R., Vicente, E., 2012. Lake-level changes and fire history at Lagunillo del Tejo (Spain) during the last millennium: Climate or human impact? *The Holocene* 22, 551-560.

López-Merino, L., Martínez Cortizas, A., López-Sáez, J.A., 2010. Early agriculture and palaeoenvironmental history in the North of the Iberian Peninsula: a multi-proxy analysis of the Monte Areo mire (Asturias, Spain). *Journal of Archaeological Science* 37, 1978-1988.

López-Merino, L., Silva Sánchez, N., Kaal, J., López-Sáez, J.A., Martínez Cortizas, A., 2012. Post-disturbance vegetation dynamics during the Late Pleistocene and the Holocene: An example from NW Iberia. *Global and Planetary Change* 92-93, 58-70.

López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Carrión, J.S., 2010. Late Holocene ecological history of *Pinus pinaster* forests in the Sierra de Gredos of central Spain. *Plant Ecology* 206, 195-209.

Lorrio, A.J., Ruiz-Zapatero, G., 2005. The Celts in Iberia: an overview. *Journal of Interdisciplinary Celtic Studies* 6, 1-88.

Lowe, J.J., Rasmussen, S.O., Björck, S., Hoek, W.Z., Steffensen, J.P., Walker, M.J.C., Yu, Z.C., 2008. Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. *Quaternary Science Reviews* 27, 6-17.

Luzón, A., Pérez, A., Mayayo, M.J., Soria, A.R., Sánchez Goñi, M.F., Roc, A.C., 2007. Holocene environmental changes in the Gallocanta lacustrine basin, Iberian Range, NE Spain. *The Holocene* 17, 649-663.

Luzón, M.A., Pérez, A., Borrego, A.G., Mayayo, M.J., Soria, A.R., 2011. Interrelated continental sedimentary environments in the central Iberian Range (Spain): Facies characterization and main palaeoenvironmental changes during the Holocene. *Sedimentary Geology* 239, 87-103.

Magri, D., Parra, I., 2002. Late Quaternary western Mediterranean pollen records and African winds. *Earth and Planetary Science Letters* 200, 401-408.

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Mata, M.P., González-Sampériz, P., Bao, R., Moreno, A., Stefanova, V., 2008. Arid and humid phases in southern Spain during the last 4000 years: the Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene* 18, 907-921.

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Brauer, A., Mata, M.P., Delgado-Huertas, A., Dulski, P., 2009. The Iberian–Roman Humid Period (2600–1600 cal BP) in the Zoñar Lake varve record (Andalucía, southern Spain). *Quaternary Research* 71, 108-120.

- Martín-Puertas, C., Matthes, K., Brauer, A., Muscheler, R., Hansen, F., Petrick, C., Aldahan, A., Possnert, G., van Geel, B., 2012. Regional atmospheric circulation shifts induced by a grand solar minimum. *Nature Geoscience* 5, 397-401.
- Mayewski, P.A., Rohling, E.E., Curt Stager, J., Karlén, W., Maasch, K.A., David Meeker, L., Meyerson, E.A., Gasse, F., van Kreveld, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Rack, F., Staubwasser, M., Schneider, R.R., Steig, E.J., 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research* 62, 243-255.
- Montserrat-Martí, J., 1992. Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: estudio palinológico. Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Zaragoza.
- Moore, P., Webb, J.A., Collinson, A., 1991. *Pollen Analysis*, second ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Morales-Molino, C., Postigo-Mijarra, J.M., Morla, C., García-Antón, M., 2012. Long-term persistence of Mediterranean pine forests in the Duero Basin (central Spain) during the Holocene: The case of *Pinus pinaster* Aiton. *The Holocene* 22, 561-570.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 28, 2582-2599.
- Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J.P., Büntgen, U., Catalán, J., González-Sampériz, P., González-Trueba, J.J., López-Sáez, J.A., Moreno, A., Rabes, S., Saz-Sánchez, M. á., Scussolini, P., Serrano, E., Steinhilber, F., Stefanova, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B., 2012. A multi-proxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees. *Climate of the Past* 8, 683-700.
- Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., 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.
- Moreno, A., Stoll, H., Jiménez-Sánchez, M., Cacho, I., Valero-Garcés, B., Ito, E., Edwards, R.L., 2010. A speleothem record of glacial (25–11.6 kyr BP) rapid climatic changes from northern Iberian Peninsula. *Global and Planetary Change* 71, 218-231.
- Moreno, A., López-Merino, L., Leira, M., Marco-Barba, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., López-Sáez, J.A., Santos, L., Mata, P., Ito, E., 2011. Revealing the last 13,500 years of environmental history from the multiproxy record of a mountain lake (Lago Enol, northern Iberian Peninsula). *Journal of Paleolimnology* 46, 327-349.
- Moreno, A., González-Sampériz, P., Morellón, M., Valero-Garcés, B.L., Fletcher, W.J., 2012a. Northern Iberian abrupt climate change dynamics during the last glacial cycle: A view from lacustrine sediments. *Quaternary Science Reviews* 36, 139-153.
- Moreno, A., Pérez, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., Martrat, B., González-Sampériz, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Cacho, I., Herrera, G., Canals, M., Grimalt, J.O., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-

- Garcés, B.L., 2012b. The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews* 43, 16-32.
- Muñoz Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., Varela, R.A.D., 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas* 34, 381-400.
- Muñoz Sobrino, C., Heiri, O., Hazekamp, M., van der Velden, D., Kirilova, E.P., García-Moreiras, I., Lotter, A.F., 2013. New data on the Lateglacial period of SW Europe: a high resolution multiproxy record from Laguna de la Roya (NW Iberia). *Quaternary Science Reviews* 80, 58-77.
- Ntinou, M., Badal, E., Carrión, Y., Fueyo, J.L.M., Carrión, R.F., Mira, J.P., 2013. Wood use in a medieval village: the contribution of wood charcoal analysis to the history of land use during the 13th and 14th centuries a.d. at Poble d'Ifach, Calp, Alicante, Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 115-128.
- Pantaléon-Cano, J., Yll, E.-I., Pérez-Obiol, R., Roure, J.M., 2003. Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain). *The Holocene* 13, 109-119.
- Pèlach, A., Nadal, J., Soriano, J.M., Molina, D., Cunill, R., 2009a. Changes in Pyrenean woodlands as a result of the intensity of human exploitation: 2,000 years of metallurgy in Vallferrera, northeast Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany* 18, 403-416.
- Pèlach, A., Pérez-Obiol, R., Ninyerola, M., Nadal, J., 2009b. Landscape dynamics of *Abies* and *Fagus* in the southern Pyrenees during the last 2200 years as a result of anthropogenic impacts. *Review of Palaeobotany and Palynology* 156, 337-349.
- Peña, J. L., Sancho, C., Lozano, M. V., 2000. Climatic and tectonic significance of Late Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian Range, northeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 1403-1417.
- Peñalba, M.C., 1994. The History of the Holocene Vegetation in Northern Spain from Pollen Analysis. *Journal of Ecology* 82, 815-832.
- Pérez-Obiol, R., Julià, R., 1994. Climatic Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30,000-Yr Pollen Record from Lake Banyoles. *Quaternary Research* 41, 91-98.
- Pérez-Obiol, R., Bal, M.-C., Pèlach, A., Cunill, R., Soriano, J.M., 2012. Vegetation dynamics and anthropogenically forced changes in the Estanilles peat bog (southern Pyrenees) during the last seven millennia. *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 385-396.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampériz, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., Navas, A., 2013. Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 73, 149-169.
- Peyron, O., Goring, S., Dormoy, I., Kotthoff, U., Pross, J., Beaulieu, J.-L. de, Drescher-Schneider, R., Vannière, B., Magny, M., 2011. Holocene seasonality changes in the central Mediterranean region

reconstructed from the pollen sequences of Lake Accessa (Italy) and Tenaghi Philippon (Greece). *The Holocene* 21, 131-146.

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.

Pueyo, Y., Moret-Fernández, D., Saiz, H., Bueno, C.G., Alados, C.L., 2013. Relationships Between Plant Spatial Patterns, Water Infiltration Capacity, and Plant Community Composition in Semi-arid Mediterranean Ecosystems Along Stress Gradients. *Ecosystems* 16, 452-466.

Rasmussen, S.O., Vinther, B.M., Clausen, H.B., Andersen, K.K., 2007. Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews* 26, 1907-1914.

Reed, J.M., Stevenson, A.C., Juggins, S., 2001. A multi-proxy record of Holocene climatic change in southwestern Spain: the Laguna de Medina, Cádiz. *The Holocene* 11, 707-719.

Reille, M., 1992. *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille.

Reimer, P.J., Baillie, M., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G., Edwards, R.L., 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 51, 1111-1150.

Renssen, H., Seppä, H., Heiri, O., Roche, D.M., Gooze, H., Fichefet, T., 2009. The spatial and temporal complexity of the Holocene thermal maximum. *Nature Geoscience* 2, 411-414.

Rico, M.T., Sancho-Marcén, C., Arenas-Abad, M.C., Vázquez-Urbez, M., Valero-Garcés, B.L., 2013. El sistema de barreras tobáceas Holocenas de las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 141-158.

Rimbu, N., Lohmann, G., Kim, J.-H., Arz, H.W., Schneider, R., 2003. Arctic/North Atlantic Oscillation signature in Holocene sea surface temperature trends as obtained from alkenone data. *Geophysical Research Letters* 30, 1280.

Roca, J.R., Julià, R., 1997. Late-glacial and Holocene lacustrine evolution based on ostracode assemblages in Southeastern Spain. *Geobios* 30, 823-830.

Romero-Viana, L., Julià, R., Schimmel, M., Camacho, A., Vicente, E., Miracle, M.R., 2011. Reconstruction of annual winter rainfall since AD 1579 in central-eastern Spain based on calcite laminated sediment from Lake La Cruz. *Climatic change* 107, 343-361.

Rubiales, J.M., García-Amorena, I., García-Álvarez, S., Morla, C., 2009. Anthracological evidence suggests naturalness of *Pinus pinaster* in inland southwestern Iberia. *Plant Ecology* 200, 155-160.

Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Hernández, L., Génova, M., Martínez, F., Manzanque, F.G., Morla, C., 2010. Late Quaternary dynamics of pinewoods in the Iberian Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 476-491.

Rubiales, J.M., Hernández, L., Romero, F., Sanz, C., 2011. The use of forest resources in central Iberia during the Late Iron Age. Insights from the wood charcoal analysis of Pintia, a Vaccaean oppidum. *Journal of Archaeological Science* 38, 1-10.

- Rubio, J.C., 2004. Contexto hidrogeológico e histórico de los humedales del Cañizar. Consejo de la Protección de la Naturaleza de Aragón, Serie de Investigación, Zaragoza.
- Sánchez Goñi, M.F., Hannon, G.E., 1999. High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *The Holocene* 9, 39-57.
- Sancho, C., Peña, J.L., Meléndez, A., 1997. Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie* 41, 289-307.
- Sancho, C., Muñoz, A., González-Sampériz, P., Cinta Osácar, M., 2011. Palaeoenvironmental interpretation of Late Pleistocene–Holocene morphosedimentary record in the Valsalada saline wetlands (Central Ebro Basin, NE Spain). *Journal of Arid Environments* 75, 742-751.
- Schnurrenberger, D., Russell, J., Kelts, K., 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29, 141-154.
- Sebastián López, S., 1989. Cella: historia y arte. *Revista Xiloca* 3, 91-96.
- Simón-Gómez, J., 1989. Late Cenozoic stress field and fracturing in the Iberian Chain and Ebro Basin (Spain). *Journal of Structural Geology* 11, 285-294.
- Shakun, J.D., Carlson, A.E., 2010. A global perspective on Last Glacial Maximum to Holocene climate change. *Quaternary Science Reviews* 29, 1801-1816.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene forest history of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603-610.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. Extended (super 14) C data base and revised CALIB 3.0 (super 14) C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215-230.
- Stuiver, M., Grootes, P.M., Braziunas, T.F., 1995. The GISP2 $\delta^{18}O$ Climate Record of the Past 16,500 Years and the Role of the Sun, Ocean, and Volcanoes. *Quaternary Research* 44, 341-354.
- Tinner, W., Lotter, A.F., 2001. Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology* 29, 551-554.
- Tinner, W., Kaltenrieder, P., 2005. Rapid responses of high-mountain vegetation to early Holocene environmental changes in the Swiss Alps. *Journal of Ecology* 93, 936-947.
- Tzedakis, P.C., 2007. Seven ambiguities in the Mediterranean palaeoenvironmental narrative. *Quaternary Science Reviews* 26, 2042-2066.
- Utrilla, P., Domingo, R., Montes, L., Mazo, C., Rodanés, J.M., Blasco, F., Alday, A., 2012. The Ebro Basin in NE Spain: A crossroads during the Magdalenian. *Quaternary International* 272-273, 88-104.
- Valero-Garcés, B.L., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Machín, J., González-Sampériz, P., Kelts, K., 2000a. Quaternary palaeohydrological evolution of a playa lake: Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Sedimentology* 47, 1135-1156.
- Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Machín, J., Kelts, K.,

- 2000b. Lateglacial and Late Holocene environmental and vegetational change in Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Quaternary International* 73-74, 29-46.
- Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Navas, A., Machín, J., Delgado-Huertas, A., Peña-Monné, J.L., Sancho-Marcén, C., Stevenson, T., Davis, B., 2004. Paleohydrological fluctuations and steppe vegetation during the last glacial maximum in the central Ebro valley (NE Spain). *Quaternary International* 122, 43–55.
- Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Navas, A., Mata, P., Machín, J., Delgado Huertas, A., González Sampériz, P., Schwalb, A., Morellón, M., Cheng, H., Edwards, R.L., 2008. The Taravilla lake and tufa deposits (Central Iberian Range, Spain) as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 259, 136-156.
- van Geel, B., Buurman, J., Waterbolk, H.T., 1996. Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP. *Journal of Quaternary Science* 11, 451-460.
- Vannière, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Danianu, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene* 21, 53-73.
- Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, Á., Gil-García, M.J., Pérez-González, A., Gallardo-Millán, J.L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 cal. ka BP from the Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *Journal of Quaternary Science* 25, 1051-1062.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., Valero-Garcés, B., in press. Diatom and vegetation responses to late glacial and Early-Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392, 335-249.
- Vicente-Redón, J.D., 2002. La presencia de Roma en la actual provincial de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel.
- Vicente-Serrano, S.M., Zouber, A., Lasanta, T., Pueyo, Y., 2012. Dryness is accelerating degradation of vulnerable shrublands in semiarid Mediterranean environments. *Ecological Monographs* 82, 407-428.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M., Widmann, M., 2008. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews* 27, 1791-1828.
- Zanchetta, G., Drysdale, R.N., Hellstrom, J.C., Fallick, A.E., Isola, I., Gagan, M.K., Pareschi, M.T., 2007. Enhanced rainfall in the Western Mediterranean during deposition of sapropel S1: stalagmite evidence from Corchia cave (Central Italy). *Quaternary Science Reviews* 26, 279-286.

5.2

Results

Human-landscape interactions in the Conquezueta-Ambrona Valley (Soria, continental Iberia): from the Early Neolithic land use to the origin of the current oak woodland

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 436, 41-57. (2015).

Abstract

The sedimentological, geochemical and palynological analyses performed in the Conquezueta palaeolake (41°11'N; 2°33'W; 1.124 m a.s.l.) provide a detailed, multiproxy palaeoenvironmental reconstruction in one of the key areas of inner Iberian Neolithic colonization. Combined with archaeobotanical and archaeological data from well-dated settlements along the Conquezueta-Ambrona Valley we investigate how environmental conditions may affect both socio-economic adaptations and livelihood strategies of prehistoric communities. The first evidences of early Neolithic occupation in the valley ca. 7.250-6.450 cal BP (5.300-4.500 BC) coincided with the onset of a period (7.540-6.200 cal BP, 5.590-4.250 BC) with higher water availability and warmer climate as alluvial environments were substituted by carbonate-wetland environments in the basin. The Conquezueta record supports an Early Neolithic colonization of the inner regions of Iberia favored by warmer and humid climate features and with preferential settlement patterns associated to lakes. The maximum human occupation of the valley occurred during the Mid-Late Neolithic and Chalcolithic (6.200-3.200 cal BP, 4.250-1.250 BC) as evidenced by the high number of archaeological sites. Although a number of hydrological oscillations have been detected during this period, the intense landscape transformation at basin-scale, leading to a deforested landscape was largely a

consequence of widespread farming and pastoral practices. Socio-economic activities during Bronze, Iron and Roman times modified this inherited landscape, but the second largest ecosystem transformation only occurred during Mediaeval times when a new agrarian landscape developed with the expansion of stockbreeding transhumance. The current vegetation cover characterized by patches of holm and marcescent oaks and fields reflects an intense human management combining both extensive herding with agrarian activities in order to transform the previous forested landscape into a dehesa-like system.

Key words: Human-Environment interaction, Neolithic, Palynology, Archaeobotany, Multiproxy reconstruction, Continental Iberia

Introduction

Modes and rates of early agriculture spread and the onset of the cultural landscapes at Mediterranean-scale have grabbed the attention of the European archaeological scene during the last decade (Pinhasi et al., 2005; Cortes Sánchez et al., 2012; Zapata et al., 2013; Mercuri, 2014). Since the pioneering study carried out by Sokal et al. (1991), combined phylogenetic analysis and detailed archaeobotanical works have clearly identified first traces of agriculture in the Early Holocene (Coward et al., 2008) and related them with the onset of humid climate conditions (Willcox et al., 2009; Haldorsen et al., 2011). Nowadays, it is well-accepted that the European Neolithisation process followed a demic diffusion model originated at the Fertile Crescent (Coward et al., 2008), firstly spreading across southern Levant and eastern Mediterranean islands (Vigne et al., 2012) and reaching the westernmost areas at ca. 7.350 cal BP (5.400 BC) (Zilhão, 2001; Bocquet-Appel et al., 2009). This wave of advance was characterized by the introduction of new crop varieties (Fuller et al., 2014), livestock domestication (Zeder, 2008) and forest clearance, modifying, at least locally, the landscape physiognomy and vegetation structure.

In geographical terms, the early adoption of Neolithic agriculture in the Iberian context followed the previously explained east-west pattern, although controversy exists regarding the timing (Zilhão, 2001). In Mediterranean

coastal environments, numerous evidences demonstrate that agriculture was early adopted (Antolín and Buxó, 2011; Cortes Sánchez et al., 2012; Morales et al., 2013; Zapata et al., 2013; Antolín et al.; in press). However, continental areas have been relatively less studied and the paradigm that inner Iberia followed a marginal and secondary colonization has been widely accepted. Recent studies have changed this traditional view and seriously questioned the whole chronological framework of the Iberian Neolithisation (Rojo-Guerra et al., 2006; Alday, 2011; Zilhão, 2011; Utrilla et al., 2013). Particularly, radiocarbon dates performed in short-lived pulse and cereal samples (e.g., Peña-Chocarro et al., 2005a,b; Stika, 2005; Rojo-Guerra et al., 2006, 2008) revealed the presence of Neolithic settlements dispersed in inner Iberia as soon as ca. 7.350 cal BP (Rojo-Guerra et al., 2008 and references therein).

Multiproxy-based studies provide an unambiguous evidence revealing traces of agricultural and landscape management (López-Merino et al., 2010; Di Rita and Melis, 2013; Revelles et al., in press), but clear evidences for an intense and early landscape transformation in inner Iberia during Neolithisation are still scarce (Carrion et al., 2010 and references therein). Terrestrial archives (particularly lakes) provide integrated reconstructions at a basin-scale of past land use changes and vegetation dynamics (e.g., Morellón et al., 2011; Rull et al., 2011; Corella et al., 2013) and allow a better constrain

of the environment where past cultures took place (Cañellas-Boltà et al., 2013). Comparison between changes in arboreal pollen frequencies and synchronous increase in charcoal particles help to evaluate anthropogenic deforestation processes (e.g., Gil-Romera et al., 2008; Morales-Molino et al., 2011). In addition, when archaeobotanical and plant macrofossils are available from nearby, well-dated archaeological settlements, human-induced landscape transformations are easier to infer (Sadori et al., 2010). In fact, the integrated interdisciplinary collaboration including palaeoenvironmental and archaeological research is crucial to achieve a better understanding of human-environment interactions and to explore possible feedbacks between settlement patterns and climate variability (González-Sampériz et al., 2009; Fiorentino et al., 2013; Mercuri et al., 2015; Montes et al., 2016).

In this paper we reconstruct the palaeoenvironmental history of the Conquezueta-Ambrona Valley (Soria, Northern Iberian Plateau; Figure 5.2.1) during the last 13.000 cal BP based on the Conquezueta palaeolake record. The region has been intensively surveyed from an archaeological (Shipman and Rose, 1983; Falguères et al., 2006; Terradillos-Bernal and Rodríguez, 2012), palaeobotanical (Ruiz-Zapata et al., 2003) and palaeontological (Villa et al., 2005) point of view. The first human occupations in this area occurred during the Acheulean industrial complex, Mid Pleistocene (ca. 350.000 cal BP, Villa and D'Errico, 2001; Falguères et al., 2006;

Santoja and Pérez-González, 2010). However, the environmental conditions during the first postglacial settlements are not well-constrained. In this contribution we document and date the first evidence of human-induced landscape transformation in a continental area of the Iberian Peninsula, applying a multiproxy strategy to a lacustrine record. Comparison with local archaeobotanical data allowed us to test possible environmental and/or socio-economic processes involved in the cultural changes during the onset of the Neolithic and the relationships between climate conditions and vegetation dynamics up to Mediaeval times.



Figure 5.2.1. Location of the Conquezueta palaeolake in the sites cited in the discussion are also included; 1) La Vaquera Cave (López García et al., 2003); 2) Espinosa del Cerrato (Franco-Múgica et al., 2001b); 3) Pelagallinas peatbog (Franco-Múgica et al., 2001a); 4) Somolinos tufa Lake (Currás et al., 2012); 5) Quintanar de la Sierra (Penalba, 1994); 6) Lake Arreo (Corella et al., 2013); 7) Ambrona archaeological site (Stika, 2005); 8) Los Cascajos archaeological site (Peña-Chocarro et al., 2005a); 9) Ojos del Tremedal (Stevenson, 2000); 10) Taravilla Lake (Moreno et al., 2008); 11) Villarquemado palaeolake (Aranbarri et al., 2014); 12) Les Ascusses sequence (Tallón-Armada et al., 2014); 13) Navarrés (Carrión and van Geel, 1999); 14) Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013); 15) Lake Estanya (Morellón et al., 2011) and 16) Lake Montcortès (Rull et al., 2011).

Site description

The Conquezueta palaeolake (41°11'N; 2°33'W; 1.124 m a.s.l.; Figure 5.2.2A) is located in the eastern fringe of the Iberian Northern Plateau, among the headwaters of the Duero, Tajo and Ebro River basins (Figure 1). The Conquezueta Basin sits on Upper Triassic claystones (Keuper facies) bounded by Triassic sandstones to the north and Jurassic and Cretaceous sandstones and marls to the south (Terradillos-Bernal and Rodríguez, 2012). The formation of the Conquezueta Basin was likely favored by karstification processes affecting the Upper Triassic formation since the Early Pleistocene. Active karstic, weathering and denudation processes culminated with the development of the endorheic Conquezueta-Ambrona Basin, later captured by the Masegar River, a tributary of the Jalón River (Pérez-González et al., 1997; Falguères et al., 2006). While the eastern Ambrona sector was captured by the Jalón River drainage basin and progressively eroded by fluvial incision, the western Conquezueta sub-basin remained a semi closed-basin, only fed by small creeks and with an ephemeral outlet to the northeast (Figure 5.2.2A).

Low annual rainfall values and large thermal amplitude define the regional climate as continental Mediterranean type. The mean annual temperature (Valdelcubo station, 1.103 m a.s.l.) is 10.8 °C, with large daily and monthly oscillations, and the precipitation (annual average 471 mm) follows the typical Mediterranean pattern with maximum values

during spring and autumn. Annual potential evapotranspiration rate is relatively high (up to 656 mm) and there is negative water balance at least from June to September.

The vegetation landscape in the Conquezueta-Ambrona Valley has been noticeably modified in order to expand agrarian activities (Figure 5.2.2B). Main crops are cereals but also sunflowers and flax have been extensively cultivated (Stika, 2005). The natural vegetation belongs to the current meso-Mediterranean bioclimatic belt, and includes *Quercus rotundifolia* and *Q. faginea* communities along with *Juniperus communis*, *Cistus laurifolius*, *Thymus zygis*, *T. vulgaris*, *T. mastichinia* and *Lavandula pedunculata*. Siliceous soils developed on the Upper Triassic sandstones (Buntsandstein Formation) support patches of *Quercus pyrenaica* with a shrubland composed of *Crataegus monogyna*, *Rosa canina* and *Prunus spinosa*. Thorny scrubs such as *Genista scorpius*, *G. pumila* and *Erinacea anthyllis* dominate the more degraded and open areas. Sparse *Pinus nigra* stands are located in the eastern sector of the basin and some *P. sylvestris* and *P. pinaster* reforestations are also present (Figure 5.2.2B). Regarding the hydroseral communities, *Typha* sp. and *Phragmites australis* predominate, although some species of the genus *Scirpus*, *Epilobium* or *Ranunculus* are also visible. Diverse tree stands formed by *Populus alba*, *Ulmus minor* or

Salix sp. are also found in the palaeolake surroundings.

The Ambrona-Conquezuella Basin has a large number of Neolithic and Chalcolithic sites (Stika, 2005; Rojo-Guerra et al., 2010) (Figure 5.2.2C). There is no archaeological evidence pointing to a previous regional Mesolithic occupation. Neolithic settlements are chronologically placed in two different phases; 1) four sites belong to the Early Neolithic period (7.250-6.450 cal BP, 5.300-4.500 BC) and they had been archaeobotanically studied in detail by Stika, (2005), and 2) complex megalithic tombs wide spreading along the valley belong to the Mid-Late Neolithic (6.450-4.950 cal BP, 4.500-3.000 BC) (Rojo-Guerra et al., 2010). Finally, during the Chalcolithic (4.950-3.950 cal BP, 3.000-2.000 BC), an exponential increase in the number of settlement occurred (Figure 5.2.2C).

5.2. Conquezueta sequence

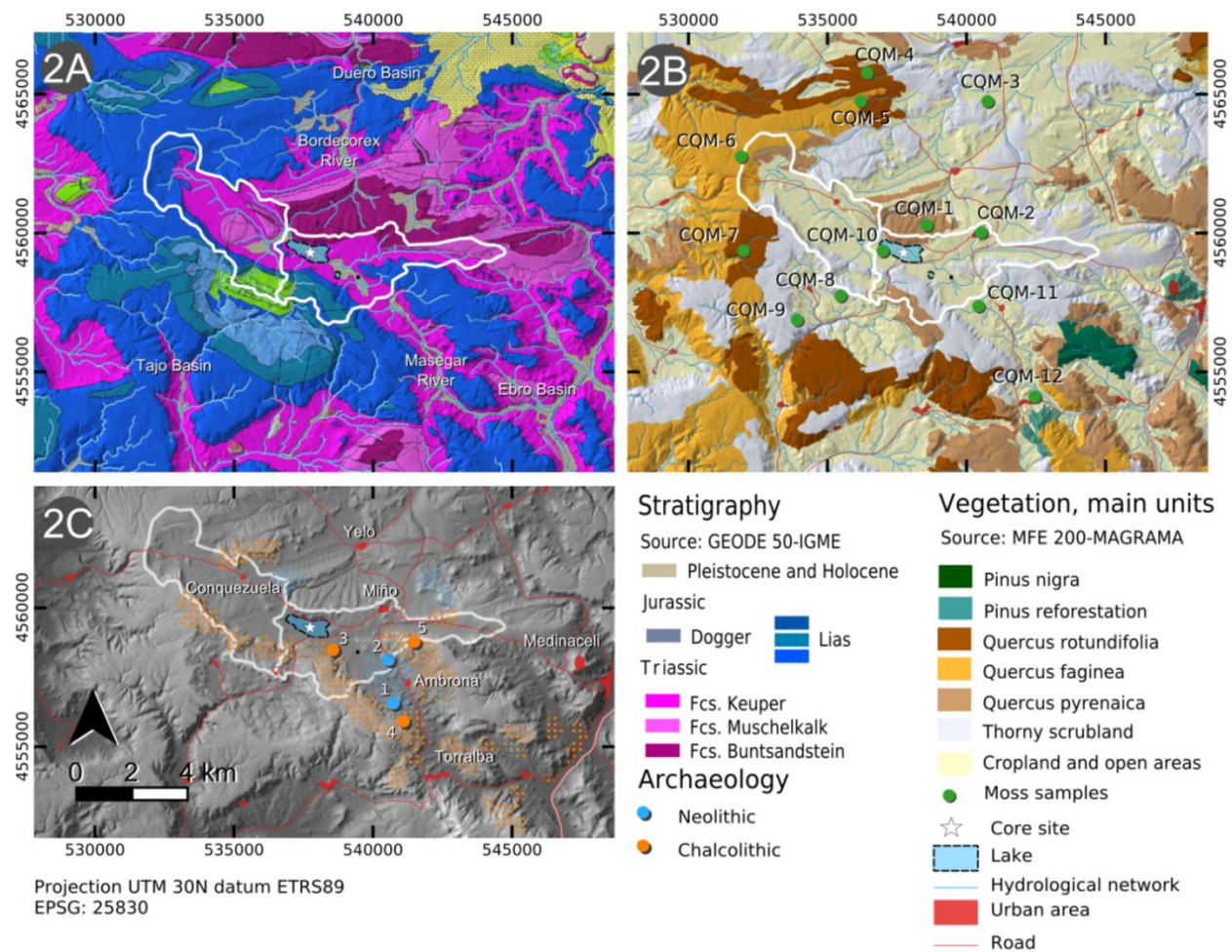


Figure 5.2.2. Geological setting (2A) and main vegetation communities (2B) in the Conquezueta–Ambrona Valley. The location of modern moss polster (CQM) are included. Neolithic and Chalcolithic period archaeological sites surveyed along the Conquezueta–Ambrona Valley (2C). Data have been modified from Morán-Dauchez (2006). Most important archaeological settlements cited in the text are also shown and follow 1) La Lámpara; 2) La Revilla; 3) La Sima; 4) La Peña de la Abuela and 5) La Tarayuela.

Material and methods

In 2010, a 206 cm-long core was retrieved from the Conquezuella palaeolake area using a Van Walt/Eijkelkamp mechanical drilling machine. The core was split lengthwise, and sedimentary units and facies described following Schnurrenberger et al. (2003) criteria. Images were obtained using a digital Color Line Scan Camera attached to the Avaatech XRF Core Scanner.

XRF measurements at 1 cm resolution were obtained with an Avaatech XRF Core Scanner using two different settings: 10-s count times, 10 kV X-ray voltage, and an X-ray current of 1000 μ A for light elements (Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Mn and Fe) and 25-s count times, 30 kV voltage and 2000 μ A for heavy elements (Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Br, Y, Zr and Pb). Element concentrations are not directly available but the obtained intensity values in counts per second (cps) can be used to estimate relative concentrations. In addition, 79 samples for total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC) and total nitrogen content (TN) were analyzed in the IPE-CSIC laboratory of Zaragoza, with LECO SC 144 DR and VARIO MAX CN elemental analyzers. TOC and TIC values are expressed in percentages.

58 samples for pollen and non-pollen palynomorphs (NPPs) were taken every 2-3 cm and prepared at the IPE-CSIC. In addition, 12 moss samples (labeled as CQM) were collected

in order to characterize the modern pollen rain-vegetation relationship in the Conquezuella palaeolake surroundings (Figure 5.2.2B). Laboratory procedure follows standard chemical method (Moore et al., 1991) with HF (40%), HCl (37%), KOH (10%) and Thoulet solution (density = 2.0). Acetolysis was performed on moss samples.

Pollen identification was supported by the reference collection from IPE-CSIC, determination keys and photo atlases (Reille, 1992). The pollen sums range from 108 to 449 grains with an average and standard deviation of 337 and 97 respectively. A total of 110 palynomorph taxa were identified. *Pinus pinaster/halepensis* pollen type was differentiated from *Pinus nigra/sylvestris* type following the suggestions of Carrión et al. (2000). Spirogyra algae as well as the Type 128 palynomorph were recognized based on specific literature (van Geel, 1978; Carrión and van Geel, 1999). Palynological results are expressed as percentages, excluding hygrophytes, hydrophytes, ferns and NPPs from the pollen sum. A stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares (Grimm, 1987), has been applied to the terrestrial pollen dataset in order to establish pollen zones. CONISS analysis was performed in Psimpoll v.4.27 (Bennett, 2009).

The pollen rain-vegetation relationship was explored aiming to define the real presence of

oaks in our fossil spectra. We defined palynologically the oak communities in the near vicinity of the palaeolake by applying a Bray Curtis dissimilarity coefficient to our 12 modern pollen samples. We used a paired, UPGMA clustering method to the surface pollen data. UPGMA dendrogram has been constructed in R software (Vegan package, R Core Team, 2012).

The Conquezuella palaeolake depth-age model is based on 9 AMS ^{14}C samples obtained from bulk sediment and performed using Clam software package (Blaauw, 2010).

Results

Sedimentary sequence

Visual description, smear slides microscopic observation and geochemical analyses (XRF elements and ratios together with TOC, TIC and atomic TOC/TN) allowed characterization of sedimentary facies and sedimentological units in the Conquezuella sequence. From base to top, four main sedimentary units have been defined (Figure 5.2.4).

UNIT-4 (206-153 cm depth) is composed of massive, carbonate and siliciclastic gravels and sands, with a very low organic content (TOC < 1%). Geochemically, this unit is characterized by the highest Zr/Rb ratio coherent with the coarser and detrital nature of the sediments, and the lowest Sr/Ti also indicative of dominance of allochthonous siliciclastic minerals. Both, sedimentary and geochemical features point to deposition in an alluvial setting.

UNIT-3 (153-95 cm depth) groups light-colored carbonate-rich massive to banded silts. These sediments are characterized by a decreasing grain-size trend (lower Zr/Rb values), lower siliciclastic content (low Al, Si values) and increasing carbonate content (higher Ca/Ti, Sr/Ti ratios and TIC percentages). This unit represents the onset of sedimentation in a shallow lake still with low bioproductivity but high rates of carbonate production in the palustrine belt.

UNIT-2 (95-44 cm depth) is composed of organic and carbonate-rich silts. The unit is characterized by an increase in organic matter and a decrease in atomic TOC/TN ratio, indicative of the change from land-based vascular plants (values around 18-20) to mainly algal dominance (values 11-13) (Meyers and Lallier-vergés, 1999). This unit can be divided into three sub-units. Sediments in SUB-2C (95-80 cm depth) have higher siliciclastic content, although with increasing values of Ca/Ti and Fe/Mn ratios (Figure 5.2.4). During SUB-2B (80-60 cm depth), this trend is reverted with a marked reduction in the carbonate content (Ca/Ti) and an increase in fine siliciclastics (Al, Si). In SUB-2A (60-44 cm depth) carbonate content rise again (Figure 5.2.4). The sediment variability in UNIT-2 is common in wetland-shallow lake settings, where a mosaic of depositional environments occurs. Changes in carbonate content in the sediments are associated to better development of littoral paludal environments, commonly related to a decrease in lake level.

UNIT-1 (44-0 cm depth) is composed of organic-rich silts with the highest percentages of TOC (up to 5 %) and the lowest values of TOC/TN ratio (up to 10). Besides, maximum values of the fine siliciclastic fraction are attained in this unit (high Si and Al and low Zr/Rb), carbonate content are the lowest (Figure 5.2.4).

5.2. Conquezuella sequence

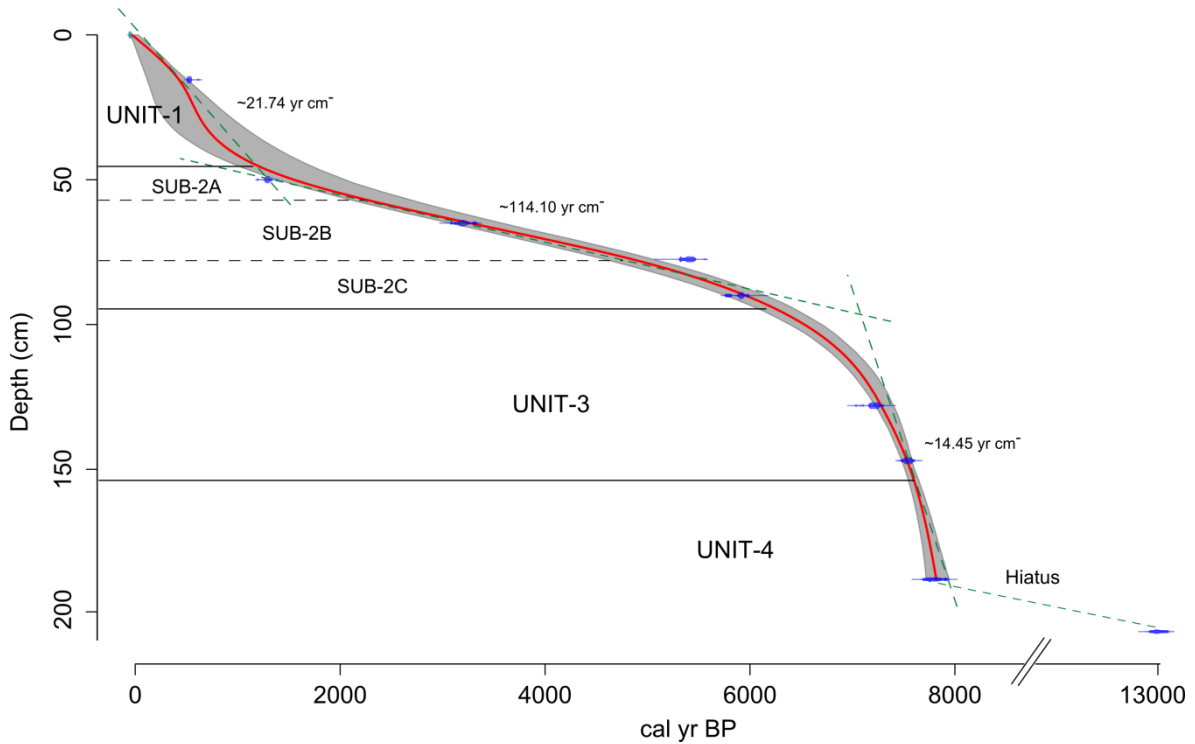


Figure 5.2.3. Depth-age model for the Conquezuella palaeolake based on lineal interpolation of ¹⁴C data (Table 5.2.1)

These sediments were deposited in a wetland dominated by organic productivity with limited palustrine carbonate forming processes. The top 15 cm interval shows evidence of modern soil processes and bioturbation.

5.2. Conquezuella sequence

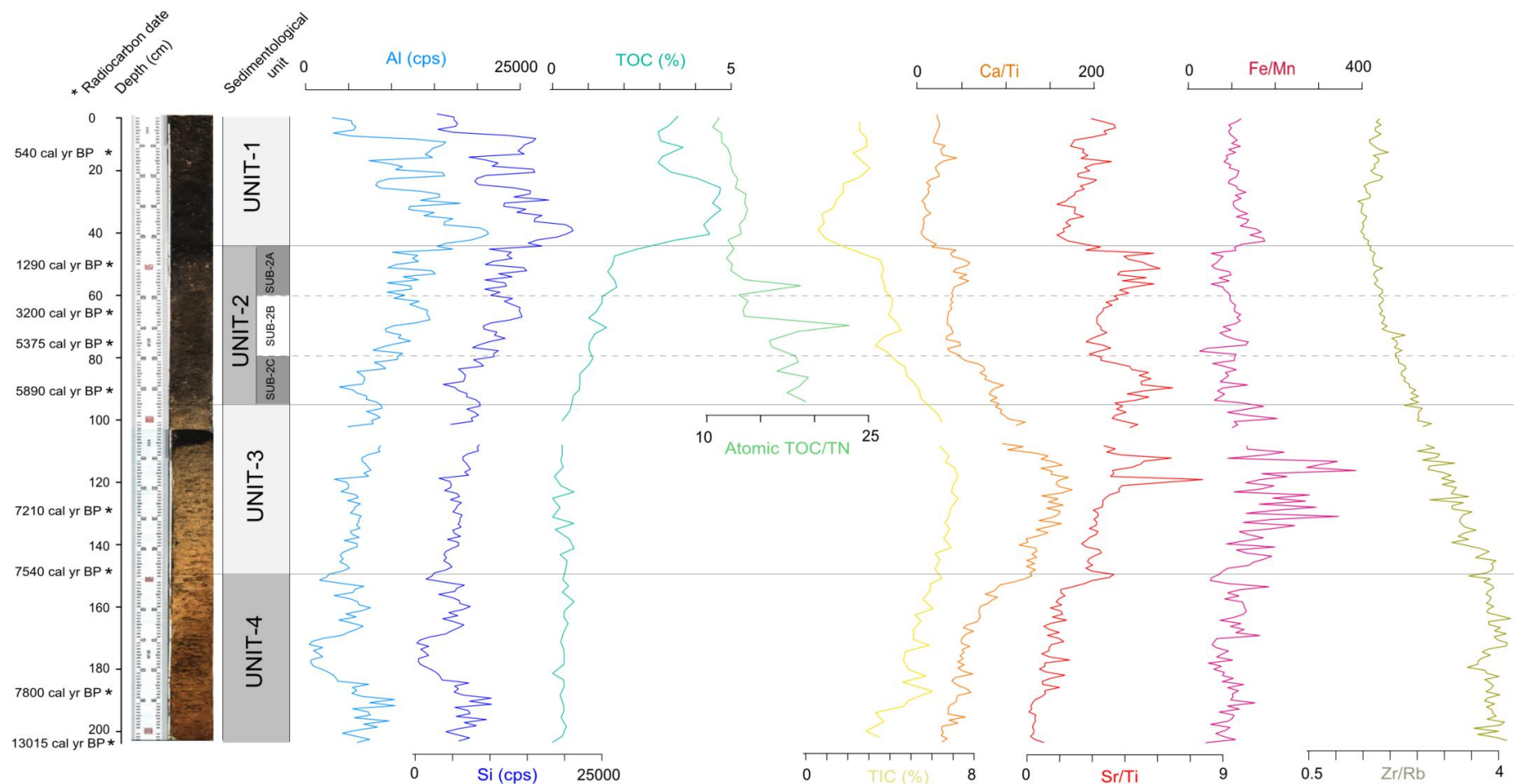


Figure 5.2.4. Main sedimentological units, selected XRF curves and ratios and elemental geochemical analysis (TOC, TIC and atomic TOC/TN) for the Conquezuella sequence. XRF intensities are expressed in counts per second (cps) and TOC and TIC values in percentages.

Chronological model

The depth-age model for Conquezuella palaeolake sequence (Figure 5.2.3) is based on 9 AMS ^{14}C samples obtained from bulk sediment (Table 5.2.1) and calibrated using the latest INTCAL13 curve (Reimer et al., 2013) implemented in Clam, software package for classical, non-Bayesian, age modeling (Blaauw, 2010). The sedimentary record (from ca. 13.000 to 540 cal BP) shows a highly variable sedimentation rate (Figure 5.2.3). A sedimentary hiatus likely occurs within UNIT-4, between the two lowermost dates. Abrupt sedimentological changes in UNIT-4 (Figure 5.2.4) and the null pollen preservation (see further details below),

also suggest a major hiatus covering the Lateglacial and early Holocene periods.

The sedimentation rate increases during UNIT-3, reaching up to 14.45 yr cm⁻¹ and greatly decreases in UNIT-2 (ca. 114 yr cm⁻¹). The top UNIT-1 has an intermediate accumulation rate, ca. 21.74 yr cm⁻¹ (Figure 5.2.3) as a response to a rapid organic accumulation in the wetland (Figure 5.2.4). Periods of higher sedimentation rate correspond to phases of dominant carbonate (UNIT-3) or organic (UNIT-1) production in the wetland-lake complex.

Table 5.2.1. Radiocarbon dates (AMS) for the Conquezuella sequence obtained from bulk sediment.

Lab. number	Depth (cm)	Radiocarbon date (^{14}C AMS yr BP)	Age error (yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal yr BP)
Poz-54171	15.5	510	25	551-507
Poz-60559	50	1.365	30	1.337-1.261
Beta-384641	65	3.010	30	3.244-3.168
Poz-54172	77.5	4.655	35	5.469-5.311
Poz-50557	90	5.145	35	5.950-5.877
Beta-384641	128	6.280	40	7.307-7.156
Poz-60556	147	6.670	40	7.606-7.474
Poz-60727	188	6.970	60	7.857-7.726
Poz-60553	203	11.170	90	13.204-12.803

Pollen sequence

According to the CONISS analysis, 5 main vegetation zones (CQ) have been defined and roughly follow the units established by the sedimentological sequence. Pollen, spore and NPP preservation and diversity was good except in sedimentary UNIT-4. The summary pollen diagrams are plotted in the Figure 5.2.5.

CQ-5 (206-145 cm depth, 13.020-7.540 cal BP, UNIT-4): 13 samples have been analyzed in this section; however none of them contains enough pollen to be included in the diagrams.

CQ-4 (145-99 cm depth, 7.540-6.200 cal BP, UNIT-3): The highest frequencies of *Pinus nigra/sylvestris* type (> 60%) together with the continuous presence of *Juniperus*, *Quercus faginea/pyrenaica* type and *Quercus ilex/coccifera* type characterize the pollen assemblage of this period (Figure 5.2.5). The first Cerealia type record is found at ca. 7.380 cal BP while Fabaceae, Cichorioideae or Asteraceae appear but still showing low values. Hygro-hydrophytes, *Spirogyra*, as well as Type 128 palynomorph, attain the lowest frequencies of the whole sequence while *Glomus* peaks are recorded (Figure 5.2.5).

CQ-3 (99-64 cm depth, 6.200-3.200 cal BP, SUB-2C, SUB-2B): The frequency of anthropogenic-related indicators increase at the same time of a remarkable and long-term decrease in *Pinus nigra/sylvestris* type (Figure 5.2.5). Cichorioideae attach the highest frequencies, followed by Chenopodiaceae,

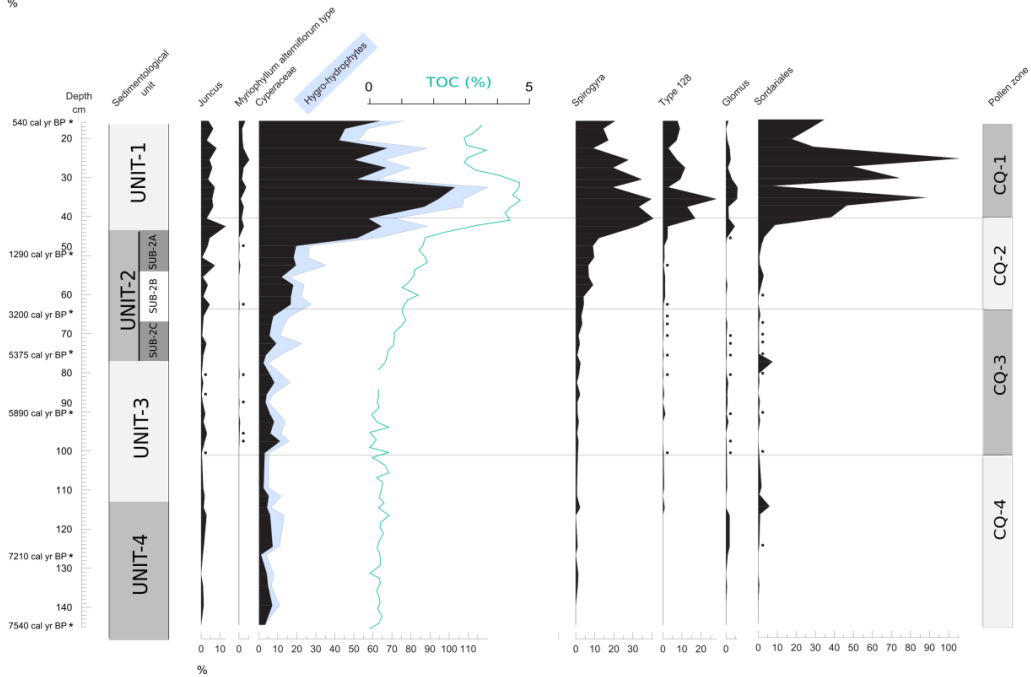
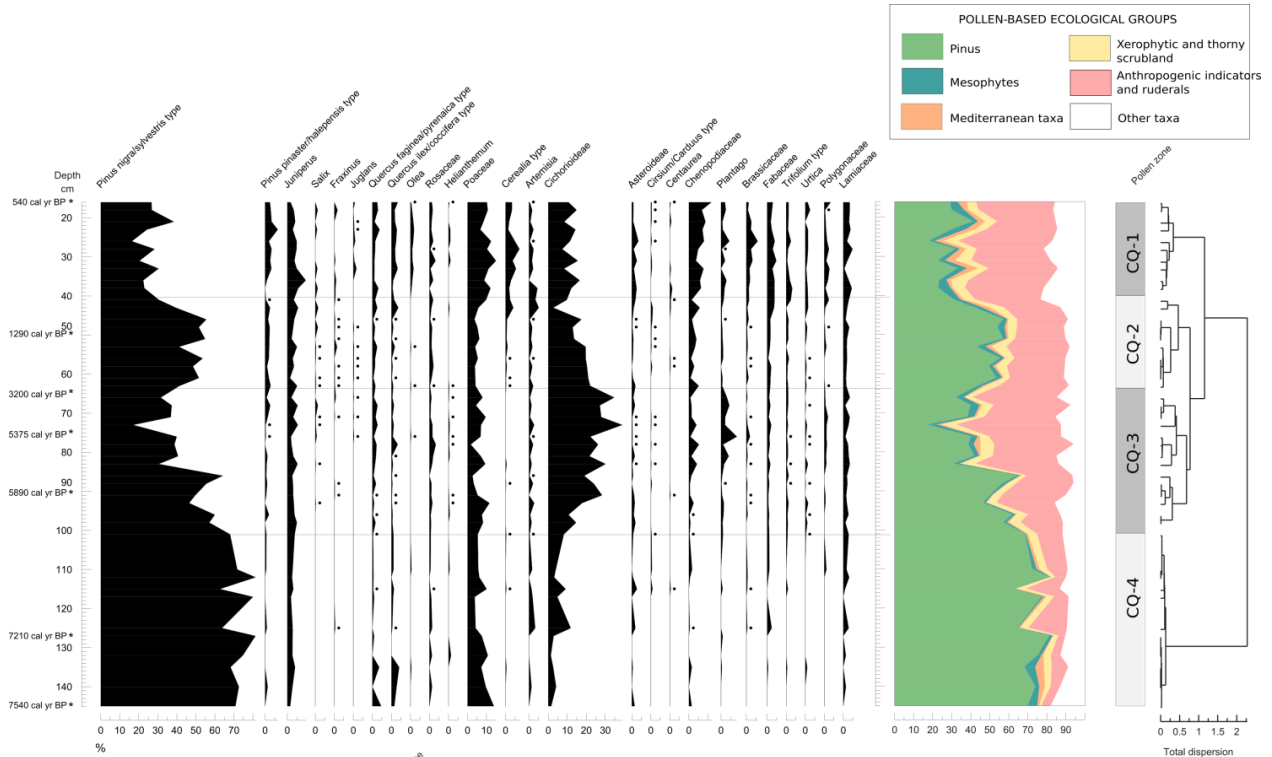
Brassicaceae, Fabaceae, Polygonaceae and Lamiaceae, denoting a progressive landscape opening (Figure 5.2.5). *Juniperus*, *Quercus faginea/pyrenaica* type and *Quercus ilex/coccifera* type are also continuously recorded. Overall, both mesophytes and Mediterranean taxa do not attain high frequencies. Hygro-hydrophytes, *Spirogyra* algae and Type 128 do not show marked changes with respect to the previous trend (Figure 5.2.5).

CQ-2 (64-40 cm depth, 3.200-930 cal BP, SUB-2A): A partial recovery in the arboreal pollen is recorded, *Pinus nigra/sylvestris* type being the main favored taxon. *Pinus pinaster/halepensis* type also increase and *Juniperus* is continuously recorded. Anthropogenic-related indicators, however, remain high and probably well-represented locally (Figure 5.2.5). Towards the end of the zone a progressive increase in Cyperaceae and *Juncus* is observed, synchronous to the development of *Spirogyra* and the Type 128 palynomorph (Figure 5.2.5). Sordariales shows an exponential increase.

CQ-1 (40-16 cm depth, 930-540 cal BP, UNIT-1): Arboreal pollen presents minimum values as a consequence of *Pinus nigra/sylvestris* type decrease. However, *Pinus pinaster/halepensis* type, *Juniperus*, *Quercus faginea/pyrenaica* type and *Quercus ilex/coccifera* type report slight increases (Figure 5.2.5). Cerealia type, Fabaceae and *Trifolium* type are well represented, paralleling other nitrophilous and ruderal taxa like *Artemisia*, Cichorioideae,

Asteraceae, Chenopodiaceae, Brassicaceae, *Plantago*, *Urtica* and Polygonaceae that reveal a noticeable expansion (Figure 5.2.5). *Olea* and *Juglans* report continuous frequencies. An exponential increase is observed in Cyperaceae that is followed by *Juncus*, *Myriophyllum alterniflorum* type, *Spirogyra* and *Type 128* (Figure 5.2.5). Sordariales reach their highest values together with *Glomus*. The change observed in the hygro-hydrophyte assemblage is also highlighted by the sedimentological and geochemical proxies defined in UNIT-1.

5.2. Conquezuella sequence



5.2. Conquezuella sequence

Figure 5.2.5. (above) Summary pollen diagram for trees, shrubs and herbs for the Conquezuella palaeolake sequence. Mesophytes comprises *Betula*, *Corylus*, *Tilia*, *Alnus*, *Salix*, *Populus*, *Ulmus*, *Celtis*, *Fraxinus*, *Juglans*, *Fagus*, Deciduous *Quercus*, *Quercus faginea/pyrenaica* type, *Buxus*, *Cornus*, *Myrtus*, *Vitis*, *Hedera* and *Smilax*. Mediterranean taxa englobes *Quercus ilex/coccifera* type, *Quercus suber*, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Thymelaea*, *Phillyrea*, *Olea*, Oleaceae and *Arbutus*. Anthropogenic indicators and ruderals group is composed of Cerealia type, *Artemisia*, Cichorioideae, Asteroideae, *Cirsium/Carduus* type, *Centaurea*, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, *Plantago*, Brassicaceae, Fabaceae, *Trifolium* type, *Lotus* type, Boraginaceae, *Urtica*, *Rumex*, *Euphorbia*, *Papaver*, Geraniaceae, Malvaceae, Polygonaceae, *Asphodelus* and *Linum*. Xerophytic and thorny scrubland includes *Juniperus*, Rosaceae, *Prunus* type, *Ribes*, *Genista*, *Cistus*, *Helianthemum*, *Ephedra distrachya* type, *Ephedra fragilis* type, Lamiaceae and *Teucrium*. (below) Summary pollen diagram for hygrophytes, hydrophytes and NPPs. Hygrohydrophytes group comprises *Ranunculus*, *Juncus*, Cyperaceae, *Typha/Sparganium* type, *Typha latifolia* type, *Thalictrum/Alisma* type, *Myriophyllum alterniflorum* type, *Myriophyllum spicatum/pectinatum* type, *Potamogeton*, *Utricularia*, *Nuphar*, *Nymphaea* and *Callitriche*.

Modern pollen-vegetation relationship

The 12 moss pollsters collected from the surroundings of the Conquezuella-Ambrona Valley (Figure 5.2.2B) reveal different pollen spectra in comparison to the fossil assemblages, especially regarding the frequencies acquired by both evergreen and marcescent oaks. The results of the cluster analysis separate two main groups of moss samples (Figure 5.2.6).

The first cluster comprises pollen types corresponding to the samples collected from open and degraded areas (samples CQM-11, CQM-3, CQM-12, CQM-10, CQM-8, and CQM-9) where an open, patched thorny scrubland of *Genista scorpius*, *G. pumila* and *Erinacea anthyllis* dominate (Figure 5.2.2B). Overall, Poaceae, anthropogenic and nitrophilous indicators like Cerealia type, Asteraceae, *Cirsium/Carduus* type, Chenopodiaceae and *Plantago* characterize the pollen assemblage. Shrubs like *Juniperus*, *Genista*, *Cytisus/Ulex* type and heliophytes such as *Cistus* and *Helianthemum* are also well represented. *Quercus faginea/pyrenaica* type and *Quercus ilex/coccifera* type do not present high values. Although sparsely recorded and confined to the eastern sector of the Conquezuella-Ambrona Valley (Figure 2B), *Pinus nigra/sylvestris* type values are well recorded in the samples collected from the open environments.

The second cluster (samples CQM-4, CQM-6, CQM-7, CQM-1, CQM-2, and CQM-5) indicates noticeable frequencies of *Quercus faginea/pyrenaica* type and *Quercus*

ilex/coccifera type, followed by *Olea* and shrubs like Rosaceae, *Prunus* type and Lamiaceae (Figure 5.2.6). This assemblage defines well the landscape where the moss samples were collected, comprising diverse patches of *Quercus rotundifolia*, *Q. faginea* and *Q. pyrenaica* along with diverse shrubs such as *Rosa canina*, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa* and *Lavandula pedunculata*, as shown in the Figure 5.2.2B. In these moss samples, *Pinus nigra/sylvestris* type does not present high frequencies whereas Poaceae, anthropogenic and nitrophilous indicators are almost absent (samples CQM-4, CQM-6, CQM-7) (Figure 5.2.6).

5.2. Conquezuela sequence

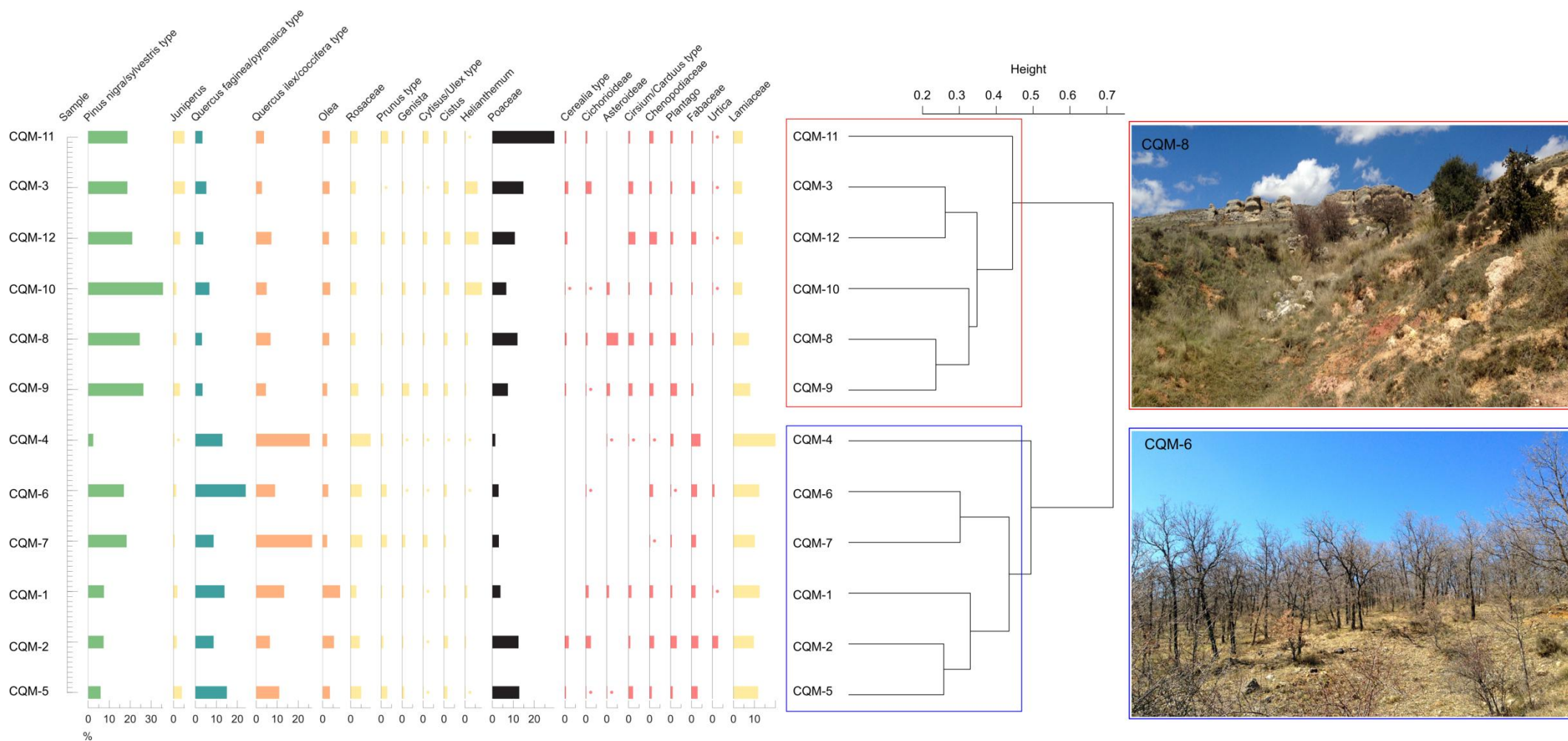


Figure 5.2.6. Summary pollen diagram obtained from surface moss pollsters collected around Conquezuela palaeolake surroundings (Figure 5.2.2B).

Discussion

The sedimentological, geochemical and palynological analyses carried out in the Conquezueta palaeolake provide a detailed reconstruction of the landscape evolution in one of the most representative areas of the Neolithic colonization in inner Iberia (Rojo-Guerra et al., 2008). Comparison of the carpological research carried out by Stika, (2005) from the nearby La Lámpara and La Revilla settlements and our pollen results (Figure 2.5.5) helped to characterize the land use changes developed in the region since the Early Neolithic. The occurrences of a large number of well-dated archaeological sites in the Ambrona-Conquezueta Valley also allow discussing the links between environmental factors and human settlement patterns since the first postglacial occupations. Overall, six phases in the landscape evolution have been established.

Pre-Neolithic alluvial environment in the Conquezueta-Ambrona Valley (13.000 to 7.540 cal BP)

Coarse siliciclastic sediments at the base of the sequence indicate a dominant alluvial environment in the basin during the Lateglacial and Early Holocene (ca. 13.000- 7.540 cal BP). Alluvial fans from the basin margins developed and reached the coring site and the center of the basin. Unfortunately, the lack of a coherent chronological model for this interval (Figure 5.2.3) and the absence of pollen remains

prevent further interpretation of landscape characteristics during this period.

Early Neolithic settlements, pinewoods and first traces of landscape management (7.540-6.200 cal BP, 5.590-4.250 BC)

The Mid Holocene (7.540-6.200 cal BP, 5.590-4.250 BC) landscape in the Conquezueta-Ambrona Valley was characterized by a conifer forest, mainly composed of *Pinus sylvestris* and/or *Pinus nigra* stands with juniper (Figure 5A). More than 1.600 needle fragments were discovered in La Peña de la Abuela settlement (Figure 5.2.2C) (Stika, 2005) and also the anthracological data collected from archaeological sites suggest local pinewoods dominance (Carrión and Badal, 2005). Radiocarbon dates performed on *Pinus nigra/sylvestris* type charcoal remains revealed that montane pine was the main collected taxon near La Lámpara settlement (Figure 5.2.2C) at least between 7.136±33 and 6.608±35 yr BP (7.965-7.500 cal BP, 6.015-5.550 BC) (Figures 5.2.7 and 5.2.8B) (Table 5.2.2). The complete dominance of *Pinus nigra/sylvestris* type in the Conquezueta palaeolake pollen record noticeably differs from other continental Mediterranean regions where *Quercus ilex* together with *Quercus faginea* types were the main spread communities during this period (Carrión et al., 2001).

5.2. Conquezueta sequence

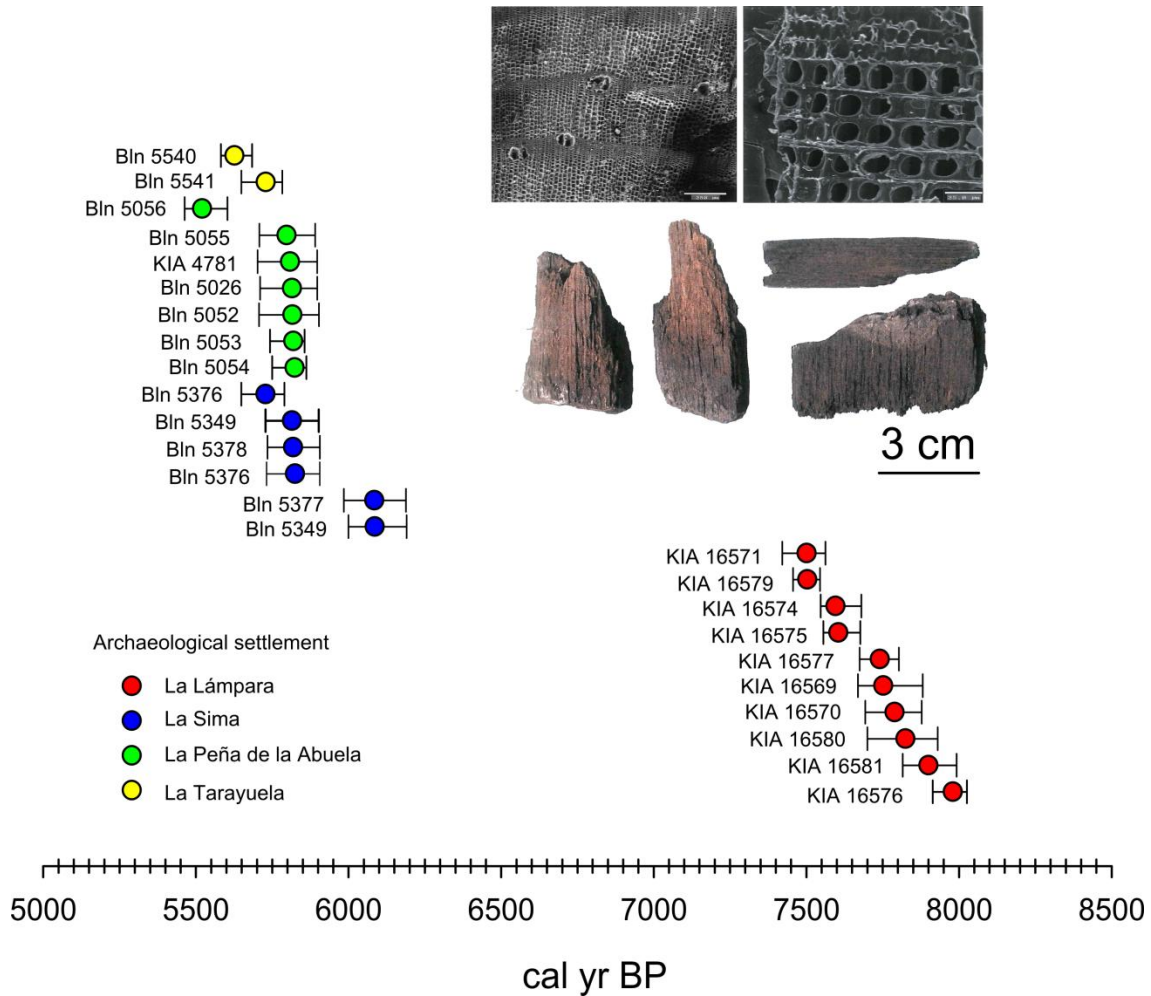


Figure 5.2.7. Distribution of radiocarbon dates performed on *Pinus nigra/sylvestris* type macrofossils retrieved from archaeological settlements located along the Conquezueta–Ambrona Valley (Figure 5.2.2C). Charcoal identification and SEM images have been obtained from Carrión and Badal, (2005). Radiocarbon dates follow Rojo-Guerra et al. (2006).

However, montane pinewoods dominance even during the most humid and thermal Holocene phases, is not limited to our study area. It has been well-documented by means of pollen and macrofossil data in numerous sequences located along the Central Range (Franco-Múgica et al., 1998; Rubiales et al., 2007; Rubiales and Génova, 2016), northern Iberian Range (Peñalba, 1994; García Antón et al., 1995; García-Amorena et al., 2011) or in the Albarracín Range (Stevenson, 2000; Aranbarri

et al., 2014). A modeling approach carried out by Benito Garzón et al. (2007) coupled with the results obtained by Cheddadi et al. (2006), highlights a broader distribution of *Pinus sylvestris* in the Iberian Peninsula for the Mid Holocene, especially at the meso- and supra-Mediterranean belts. Pinewood persistence in continental Iberia throughout the whole Holocene responds to pine ecophysiological traits as distribution is defined by complex soil-related autoecological aspects and the lack of

potential competitors (Rubiales et al., 2010). The vegetation around Conquezueta palaeolake seems to have followed a similar pattern revealing a new example of pinewood resilience in inner Iberia.

Regarding hydrological fluctuations, the progressive change in both sedimentological and geochemical indicators in the Conquezueta sequence at the top of UNIT-4 revealed the development of carbonate-producing lake environments at least since ca. 7.540 cal BP (5.590 BC) (Figure 5.2.4). This depositional change from alluvial to lacustrine reflects a significant increase in the local water-table and a more positive water balance in the basin. In particular, the decrease in Zr/Rb, the coeval increase in TIC, Ca/Ti and Sr/Ti ratios illustrate the establishment of a carbonate lake (Figure 5.2.4). Carbonate formation in the palustrine belt could have been favored by the increase in temperatures. The lower Al and Si values suggest a runoff decrease. At a regional scale, slightly higher lake levels compared to the onset of the Holocene have been also registered in other Mediterranean-climate sequences like Lake Estanya (Morellón et al., 2009) or Villarquemado palaeolake (Aranbarri et al., 2014) (Figure 5.2.1), as a possible effect of southern penetration of westerlies (Vannièrè et al., 2011).

The archaeobotanical remains described by Stika, (2005) in several Ambrona sites revealed the oldest cultivated cereals in continental Iberia dated between 7.240 and 7.010 cal BP (5.290

and 5.060 BC). *Triticum monococcum* (einkorn) and *T. dicoccum* (emmer) dominated the overall crop spectrum, but also some *Hordeum vulgare* (barley) remains were identified in La Lámpara and La Revilla settlements (Figure 5.2.8C). The first appearance of Cerealia type in the Conquezueta pollen sequence occurred at ca. 7380 cal BP (5430 BC) although it is just a presence not indicative of significant agricultural activities (Figure 5.2.5). The limited presence of pollen grains in the sequence, however, is to be expected because of the cereal pollen production strategy, since some genera are autogamous (e.g., *Hordeum* or *Triticum*) and their large pollen size (>40 µm) greatly hampers the surface area distribution (Fyfe, 2006). Palynological data demonstrate that cereal presence is not continuously recorded far from cultivated fields (Mercuri et al., 2013a). In the Ambrona-Conquezueta Valley, early agricultural practices seem to have been confined in the eastern areas, next to La Lámpara and La Revilla settlements (Figure 5.2.2C), but not necessarily around the palaeolake.

Human responses to climate variability during the Neolithic have been widely reported in the Mediterranean Basin (Roberts et al., 2011 and references therein). Recently Fiorentino et al. (2013) concluded that variations in agricultural practices were directly related to changes in the precipitation regime, with drastic reduction of occupation linked to recurrent arid spells. Changes in the human livelihood strategies and cultural trajectories seem to have been coincident to major climate changes at the

circum-Mediterranean Basin (Mercuri et al., 2011). Although taking into account that the Neolithisation process is a really complex cultural period with many abiotic, biotic and social factors intrinsically involved, Early Neolithic colonization of the inner regions of Iberia seems to have occurred under warm and humid climate conditions with settlement patterns commonly associated to large water bodies.

Pinewoods deforestation, landscape management and hydrological variability during the Mid-Late Neolithic and Chalcolithic (6.200-3.200 cal BP, 4.250-1.250 BC)

The human impact near the Conquezueta palaeolake landscape increased during this phase (6.200-3.200 cal BP, 4.250-1.250 BC), considerably modifying the vegetation physiognomy. Pinewoods were cleared in order to obtain new farmlands, but probably also for building purposes (Figure 5.2.5) (Carrión and Badal, 2005). Anthracological data reveal that the montane pine still was the main exploited taxon between 5.308 ± 31 and 4.773 ± 29 14C yr BP (6.085 - 5.520 cal BP, 4.135 - 3.570 BC) (Table 5.2.2) (Carrión and Badal, 2005). This is coherent with the Conquezueta palaeolake pollen signal of a long-term use of pine wood (Figures 5.2.8A and 5.2.8B). Some pine wood remains presented wood-working activity. Montane pine was probably chosen for supporting structures like beams and posts, due to its high wood durability and density (Ntinou et al., 2013). In fact, the Mid-Late Neolithic period

(6.450-4.950 cal BP, 4.500-3.000 BC) in the Conquezueta-Ambrona Valley was characterized by the development of semicircular funerary structures demanding large amount of fuel for combustion and crematory practices (Rojo-Guerra et al., 2005, 2010). All the radiocarbon dates were correlated with the high amount of Bell-Beaker pottery fragments discovered along the numerous archaeological settlements of the area (Figure 5.2.2C) (Morán-Dauchez, 2006).

Weeds like *Atriplex* sp., *Chenopodium* cf. *album* (Chenopodiaceae), *Heliotropium* cf. *europaeum* (Boraginaceae), *Polygonum aviculare* (Polygonaceae), *Fallopia convolvulus*, and *Descurainia sophia* (Brassicaceae) have been identified as the common plants growing in the nearby fertile arable lands, at least during the Early Neolithic (Stika, 2005). During this period also the Conquezueta pollen spectra included Chenopodiaceae, Polygonaceae and Brassicaceae curves (Figure 5.2.5). Cereals continued to be poorly represented in our pollen results. As seen in the previous phase, only isolated grains were identified, those were not cultivated in the lake surroundings. Fabaceae seem not to be especially abundant in the pollen assemblages, neither in the archaeobotanical finds (Stika, 2005). The Neolithic levels of Los Cascajos open-air settlement (Figure 5.2.1) reported similar conclusions (Peña-Chocarro et al., 2005a) while in La Vaquera cave only few finds of *Lens* sp. (lentil) and *Vicia sativa* (common vetch) were recovered from the post-Neolithic layers (López García et al., 2003)

(Figure 5.2.1). The explanation for the relatively reduced crop diversity in the settlements located along the Conquezueta-Ambrona Valley may be attributed to the harsh environmental conditions and the low fertility soils. This contrasts with the broad spectrum of legumes produced by the Early Neolithic sites located in the Iberian Mediterranean coast (Antolín et al., 2015), northern Africa (Morales et al., 2013), or the Pyrenees (Lancelotti et al., 2014).

The exponential rise in Cichorioideae characterizing the Conquezueta palaeolake sequence during the Mid Holocene deserves a special mention (Figure 5.2.5A). Despite high Cichorioideae pollen frequencies in Mediterranean archaeological contexts have been traditionally associated to human presence, recently, it has been clearly identified as pasture indicator, revealing traces of animal breeding and grazing areas where no apparent pollen re-deposition, concentration or preservation issues are present (Florenzano et al., 2015). Modern pollen analogues performed in continuously grazed areas show simultaneous, local occurrence of Cichorioideae, Asteraceae or *Cirsium/Carduus* type in the pollen results (Mazier et al., 2006) similar to the assemblage recorded in the Conquezueta palaeolake (Figure 5.2.5) but also in the surface moss polsters (Figure 5.2.6). This is coeval to the rise of nitrophilous and ruderal taxa like *Plantago* and *Urtica* (Mercuri et al., 2013b) and of *Glomus*, commonly associated with trampled areas (Abel-Schaad and López-Sáez, 2012). These characteristics, continuously recorded in

our study during the Late Neolithic and Chalcolithic (Figure 5.2.5A), were followed by peaks in Sordariales, pointing to pastureland management of the nearby areas. Animal husbandries in intensive Neolithic farming systems like those found in Conquezueta-Ambrona Valley, have been linked to both production and traction as well as to woodland clearing practices (Antolín et al., 2014). The zooarchaeological data retrieved from La Peña de la Abuela and La Sima sites (Figure 5.2.2C) reveal the presence of a local husbandry dominated by ovicaprine herding with occasional remains of *Bos* sp. and *Sus* sp. (Liesau and Montero, 2005). Economic activities centered on pastureland management and cereal farming, along with large-scale woodland deforestation and animal production, suggests a specialized economy, a common feature in Neolithic societies (Antolín et al., 2014).

Sedimentological and geochemical indicators from Conquezueta palaeolake sequence reveal recurrent hydrological oscillations in a wetland setting from carbonate-producing to more detrital depositional environments during the 6.200-3.200 cal BP (4.250-1.950 BC) interval (Figure 5.2.4). Carbonate formation (higher Ca/Ti, Sr/Ti, TIC) and frequent oxidation processes (higher Fe/Mn) continue to be dominant during SUB-2C (until ca. 5.120 cal BP, 3.170 BC), highlighting the abundance of palustrine environments in a relatively shallow lake. By contrast, this trend is slightly reverted during SUB-2B (5.120-3.200 cal BP, 3.170-1.950 BC), with the simultaneous increase in

detrital input (Si, Al) along with the coeval decrease in carbonate proxies (Ca/Ti, Sr/Ti, TIC). This short period of augmented runoff could be related to an increase in precipitation or changes in the forest cover in the watershed as shown by the pollen diagram (decrease in pine, numerous pollen indicators of watershed disturbance) (Figure 5.2.4).

The long-term hydrological variability recorded in Conquezuella palaeolake from a carbonate lake to an organic-dominated wetland reflect a water table lowering that matches the general western Mediterranean palaeoenvironmental history, with higher lake levels during the Early-Mid Holocene and a general aridity increased towards the Mid-Late Holocene (Magny et al., 2012). Well-dated hydrological and palynological sequences evidenced a remarkable shift in the precipitation regime toward more seasonal conditions that started during the second half of the Holocene (Di Rita and Magri, 2009; Sadori et al., 2011; Magny et al., 2012; Magri et al., 2015). Roughly, broadleaves trees start losing their dominance at the Iberian-scale (Carrión et al., 2010 and references therein) while pinewoods and sclerophytes spread in continental Mediterranean environments (Carrión and van Geel, 1999; Aranbarri et al., 2014). Similarly, Lake Estanya (Morellón et al., 2009), Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013) and Villarquemado palaeolake (Aranbarri et al., 2014) (Figure 5.2.1) reported a trend toward lower lake levels after ca. 5.000 cal BP. Atmospheric mechanisms explaining pronounced and recurrent droughts in the

western and central Mediterranean Basin, has been presumably linked to the southward migration of the ITCZ (Di Rita and Magri, 2009; Vannièrè et al., 2011).

In the Conquezuella-Ambrona Valley, anthropogenic impact clearly affected the surrounding vegetation structure, hampering to easily discern its natural dynamic. Long-term disturbed landscapes like those inferred by the Conquezuella palaeolake record likely represent locally-induced land use changes. Nevertheless, the background trend towards an arid climate (Carrión et al., 2010; Sadori et al., 2011) may have also contributed buffering the regional vegetation replacement and therefore, both anthropogenic and climate variables should be considered as possible record likely represent locally-induced land use changes. Nevertheless, the background trend towards an arid climate (Carrión et al., 2010; Sadori et al., 2011) may have also contributed buffering the regional vegetation replacement and therefore, both anthropogenic and climate variables should be considered as possible drivers.

5.2. Conquezuella sequence

Table 5.2.2. Radiocarbon dates performed on *Pinus nigra/sylvestris* type macrofossils retrieved from archaeological sites located along the Conquezuella-Ambrona Valley (Figure 5.2.2B). All dates were calibrated with Calib v. 7.0 (Stuiver and Reimer, 1993). The LA, SI, PA and TA abbreviations refer to La Lámpara, La Sima, La Peña de la Abuela and La Tarayuela sites.

Lab. number	Settlement	Radiocarbon date (¹⁴ C AMS yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal BP)	Mean calibrated age (cal BP)
KIA 16576	LA	7.136±33	8.014-7.929	7.964
KIA 16581	LA	7.075±44	7.979-7.823	7.900
KIA 16580	LA	6.989±48	7.933-7.708	7.825
KIA 16570	LA	6.956±39	7.864-7.690	7.789
KIA 16569	LA	6.920±50	7.858-7.664	7.752
KIA 16577	LA	6.915±33	7.802-7.677	7.741
KIA 16575	LA	6.744±33	7.665-7.568	7.605
KIA 16574	LA	6.729±45	7.670-7.556	7.596
KIA 16579	LA	6.610±32	7.525-7.440	7.503
KIA 16571	LA	6.608±35	7.565-7.438	7.501
BIn 5349	SI	5.308±31	6.185-5.994	6.086
BIn 5377	SI	5.303±34	6.185-5.990	6.084
BIn 5376	SI	5.048±27	5.898-5.730	5.825
BIn 5378	SI	5.068±33	5.906-5.740	5.818
BIn 5349	SI	5.082±31	5.834-5.747	5.815
BIn 5376	SI	5.001±32	5.764-5.650	5.728
BIn 5054	PA	5.110±39	5.833-5.747	5.823
BIn 5053	PA	5.099±39	5.835-5.746	5.819
BIn 5052	PA	5.054±39	5.909-5.713	5.816
BIn 5026	PA	5.033±32	5.896-5.709	5.815
KIA 4781	PA	5.050±50	5.909-5.707	5.808
BIn 5055	PA	5.029±39	5.895-5.706	5.797
BIn 5056	PA	4.773±29	5.589-5.467	5.520
BIn 5541	TA	5.000±38	5.772-5.644	5.729
BIn 5540	TA	4.892±36	5.664-5.585	5.626

Pinewoods recovery and long-term lake lowering (3.200-930 cal BP, 1.950 BC-1.020 AD)

After 3.200 and till 930 cal BP (1.950 BC-1.020 AD) montane pinewood recovered (Figure 5.2.5), although the lack of archaeobotanical remains and macrofossil evidences make it difficult to discern if pines were located near the lake or in the surrounding mountains. Pollen sequences relatively close to the Conquezuella palaeolake, like Somolinos tufa Lake (Currás et al., 2012) or Pelagallinas peatbog (Franco-Múgica et al., 2001a) (Figure 5.2.1), also showed the presence of pinewoods during the Late Holocene, occasionally punctuated by human-induced deforestation processes linked to increased fire-activity and contemporaneous rise in ruderal and nitrophilous elements. Nevertheless, a trend towards oak dominated open woodland, shaping the present landscape, was progressively appreciable in many different sequences during pre-Roman (Uzquiano et al., 2012) and Roman times (Moreno et al., 2008; Currás et al., 2012).

In the Conquezuella palaeolake sequence, woodland recovery may have been related to a change in the local settlement pattern towards more-strategically positioned elevations. In addition, a demographic reduction or large-scale migration pattern may have also caused a lower human impact in the regional vegetation. Post-Chalcolithic sites significantly reduced in number along the Conquezuella-Ambrona Valley and those found were located at higher altitudes (Morán-Dauchez, 2006).

.Although it is not possible to define the spatial distribution of communities and human activities using exclusively regional palynological proxies, the coeval increase in *Cerealia* type and the rise in arboreal pollen, mainly *Pinus nigra/sylvestris* type, suggest different pollen source areas reaching the basin. Cereal-based agriculture continued or even spread in the Conquezuella palaeolake surroundings (Figure 5.2.5). Ruderals, nitrophilous taxa and indicators of pastoral activities (Cichorioideae, Asteroideae, *Cirsium/Carduus* type, some Fabaceae, *Trifolium* type, Chenopodiaceae, Polygonaceae) still predominated locally, although in lower frequencies than during the Mid-Late Neolithic and Chalcolithic periods (Figure 5.2.8A). This may partially reflect the reforestation of wide areas by montane pinewoods, previously dedicated to extensive herding management (Figure 5.2.5), and therefore, partial abandonment of pastureland activities. In fact, *Plantago* and Sordariales did not attain the high values previously recorded.

Although a lowering lake level trend started at the base of UNIT-2 (ca. 5.800 cal BP, 3.850 BC), changes in sedimentation patterns at the base of SUB-2A (around 3.200 cal BP, 1.950 BC) suggest a decreasing lake level conducive to development of paludal environments where carbonate production and organic accumulation increased while siliciclastic supply to the lake slightly decreased (Figure 5.2.3). The onset of UNIT-1 brought a larger hydrological shift, with the definitive colonization of the basin by vegetation and the concomitant development of

dense sedge and reed communities (*Juncus*, Cyperaceae and overall, hygro-hydrophytes) (Figure 5.2.5).

The reduction or even absence of Iron Age, pre- and Roman-period sites in the Conquezueta-Ambrona Valley was directly associated with changes in the settlement patterns towards defensive positions instead of climatically-induced adaptations. Population migration towards urban areas likely represented a social and economic change in an urban livelihood, especially under the Roman Hispania (i.e. Occilis, current town of Medinaceli), leading reforestation processes occur in the previous disturbed rural areas.

Agrarian landscape development between 930-540 cal BP (1.020-1.410 AD) in the Conquezueta- Ambrona Valley

Forest communities presented the minimum values of the whole sequence during this period (Figure 5.2.5), while an agrarian landscape expanded in the area. Cereal fields widespread as deduced by the continuous and high values of Cerealia type. Overall, the same trend was followed by ruderals and nitrophilous taxa like Chenopodiaceae, Brassicaceae, Fabaceae, *Trifolium* type and Polygonaceae (Figures 5.2.5 and 5.2.8A). Additionally, regional sequences, like the nearby Somolinos tufa lake (Currás et al., 2012) but also in many continental records like Taravilla Lake (Moreno et al., 2008), Espinosa del Cerrato (Franco-Múgica et al., 2001b), Lake Arreo (Corella et al., 2013), Lake Montcortès (Rull et al., 2011) or Lake Estanya

(Morellón et al., 2011) (Figure 5.2.1), showed a continuous Cerealia type curve with values up to >3 % since Roman times, indicating that the agricultural intensification occurred simultaneously at a regional scale. In general, cereal-based agricultural landscape in both Northern and Southern Iberian Plateaux, as well as in the Ebro Valley, were more intensively developed during Mediaeval times, being barley (*Hordeum vulgare*) and free-threshing wheat (*Triticum aestivum/durum*) the main produced crops (Alonso, 2005; Vigil-Escalera et al., 2014).

The rise in arboricultural pollen indicators was also remarkable (Figure 5.2.5). Although walnut pollen is discontinuously recorded since 5.330 cal BP (3.380 BC) and therefore demonstrating its native character (Carión and Sánchez-Gómez, 1992), the coeval increase of olive groves likely represent a regional cultivation especially during post-Roman times. The synchronous increase in *Olea* and *Juglans* together with *Castanea* and *Vitis* in the pollen assemblages have been defined as a clear marker for tracing human pressure in Mediterranean environments (Abel-Schaad and López-Sáez, 2012; Kouli, 2012; Mercuri et al., 2013a). Nevertheless, a detailed archaeobotanical research is needed in order to detect the local exploitation of economic valuable taxa and infer changes in the local production systems.

The exponential rise in Sordariales along with the contemporaneous increase in Poaceae, *Plantago*, *Urtica*, *Glomus* chlamydospores and

moderate Cichorioideae values suggests pasturelands management in the watershed (Figure 5.2.5). It is well-known that Mesta system played a major role in Castilian rural territories since the 13th century (Rodríguez-Picavea, 2010). Protected under the Crown of Castile, woodlands were leaved at service of transhumant livestock shaping the forested landscape into open pasturelands (Valbuena-Carabaña et al., 2010).

The change towards a vegetated wetland environment with limited open-water areas is recorded by the expansion of sedges and meadows that densely colonized the basin (Figure 5.2.5). The simultaneous increase in TOC and atomic TOC/TN curves coeval to the spread of diverse hygro-hydrophyte taxa like *Juncus* or Cyperaceae indicate the development of an environment conducive to organic-rich silt deposition and peat accumulation (Figures 5.2.4 and 5.2.5). The continuous lake-infilling is also well-demonstrated by the expansion of *Spirogyra* that commonly grows under shallow and stagnant waters (van Geel, 1978). However, the persistence of submerged aquatic plants (i.e. *Myriophyllum alterniflorum* type, *Potamogeton*) and NPPs like Type 128 indicative of eutrophic waters (van Geel, 1978) (Figure 5.2.5), may reflect a fragmented depositional environment with small ponds near the coring site.

Climate conditions during Mediaeval times have been recently inferred to be dry and warm at Iberian-scale (Moreno et al., 2012). This caused a prominent change in both hydrological and

vegetation dynamics and probably allowed the spread of many cultivars (e.g., *Olea*). The development of agrarian practices and the potential role of climate changes, however, should be analyzed carefully and when possible using a high-resolution and multiproxy approach.

In the uppermost 15 cm sediment corresponding to the last 500 years, bioturbation processes and agricultural practices notably disturbed the sediment. Therefore pollen and geochemical analyses have not been taken into account (Figures 5.2.4 and 5.2.5). In 1.959, the wetland was drained in order to expand agrarian activities and to eradicate possible malarial-ridden swampy areas.

A human-induced origin of the current mixed oak woodlands?

One of the most conspicuous features of the Conquezueta vegetation history is the reduced spread of evergreen and mascescent oak forest throughout the last ca. 7.540 cal BP (Figure 5.2.5), especially during the mid Holocene, when sclerophyllous woodland is well recorded in continental Mediterranean Iberia (Carrión et al., 2010; Aranbarri et al., 2014 and examples therein). In fact, pollen-based reconstructed vegetation along the Holocene record noticeably differs from the current landscape, where diverse *Quercus rotundifolia*, *Q. faginea* and *Q. pyrenaica* communities dominate in the more-protected upland areas of Conquezueta basin (Figure 5.2.2B). To understand the dynamics of oak populations in the past, we have performed a palynological analysis on modern moss

samples to evaluate how current vegetation is represented in the pollen rain at basin-scale. Overall, the pollen spectra obtained from the moss polsters yielded a noticeable variability amongst them. This might be partially explained by the degree of openness in where the samples were collected (Figure 5.2.6). As expected, both *Quercus ilex/coccifera* and *Q. faginea/pyrenaica* types are better represented in *Quercus*-dominated dense patches, but they reveal a completely different pollen signature in those samples collected from more open areas. Overall, *Pinus nigra/sylvestris* type attains higher values (Figure 5.2.6), whereas *Quercus* pollen frequencies show values similar to our fossil spectra (< 10%) (Figure 5.2.5) and to those results obtained from previous palynological works carried out along the Conquezuella-Ambrona Valley (Ruiz-Zapata et al., 2003).

So, different questions related to the origin of current oak woodland remain unresolved: 1) is the current vegetation the result of a cultural landscape where oak woodland was favored for economic purposes? If so, since when?; 2) is it possible that climate variability occurred during the last 500 years buffered a regional-scale landscape transformation? If so, how?; or 3) is it the sparse presence of oak pollen in the palaeoenvironmental sequence related only to statistical facts or also to pollen productivity and dispersal?.

Regarding the third question, a detailed study focused on oak's PPE (Pollen Productivity

Estimates) is needed (Bunting et al., 2004), but this will be the subject of future work.

In relation to natural climate variability, the modern spread of drought-tolerant holm oaks in the area seems not to be directly linked to recent climatic change. Despite the increase in temperatures recorded in the Mediterranean Basin during the last decades (Giorgi et al., 2004), centennial *Quercus* individuals compose the current oak woodland in the area. In addition, it is well-known that during the last 500 years climate in the Iberian Peninsula has been generally more humid and colder (Morellón et al., 2012) in comparison to the previous drier and warmer Mediaeval period (Moreno et al., 2012). Besides, regional pollen records covering this period report pine and broadleaved forest expansion (Moreno et al., 2008; Corella et al., 2013; Pérez-Sanz et al., 2013), synchronous to minor glacier fluctuations (García-Ruiz et al., 2014) and sharp decreases of evergreen *Quercus* pollen frequencies (Pérez-Sanz et al., 2013), chronologically-placed within the Little Ice Age Period. Therefore, climate as a single driver is not able to explain the vegetation change from pine to oak communities in the Conquezuella-Ambrona Valley area during the last centuries, and other variables have to be considered.

The replacement of pinewoods by evergreen *Quercus* communities is not common in the Iberian palaeoenvironmental literature, although some records have evidenced the complex interplay between anthropogenic-origin activities and Mediterranean woodland opening, triggered

by punctual perturbations such as an increased fire disturbance (Gil-Romera et al., 2010). For example in Navarrés, located in eastern Iberia (Figure 5.2.1), palynological data reveal a prominent substitution of *Pinus* by more fire-prone *Quercus* species as Kermes oak (*Quercus coccifera*) triggered by intermittent episodes of anthropogenic-origin fire activity (Carrión and van Geel, 1999; Gil-Romera et al., 2010). Similar conclusions were obtained from the recently published Neolithic site of Les Ascusses (Figure 5.2.1), where a slight decrease in *Pinus pinea* is observed followed by the expansion of evergreen *Quercus* and the pyrophilous NPP *Chaetomium* (Tallón-Armada et al., 2014). In the nearby Somolinos tufa Lake, Currás et al. (2012) report a long-term substitution of *Pinus* by *Quercus ilex* type and linked with the maximum presence of macrocharcoal in the sediment, chronologically placed within the Muslim conquest.

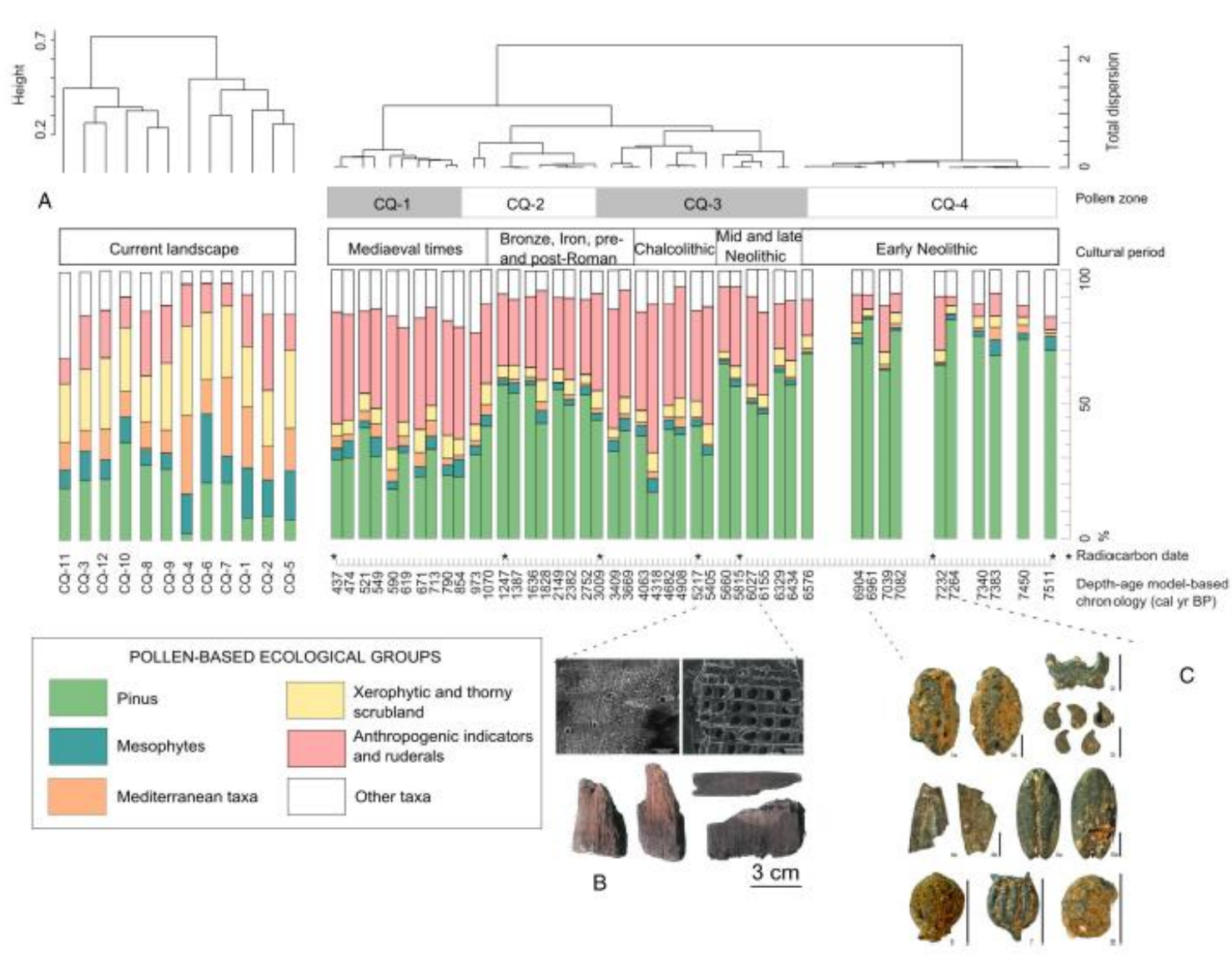
Additionally, both evergreen and marcescent oaks, the dominant taxa in current vegetation landscape of Conquezuella area, are strong resprouters and they formed multi-stemmed tree forests after recurrent coppicing (Figure 5.2.6, photo from CQM6). Thus, expansion of both *Quercus* types is granted after disturbance, quickly recolonizing cleared landscapes (Pons and Pausas, 2006). Nevertheless, it is not possible to confirm that fire disturbances have been the origin of current oak formation.

In any case, in the Conquezuella palaeolake it is likely that recent oak woodlands expansion was

mainly favored by human activities, shaping the landscape into a dehesa-like ecosystem. In this kind of human-made environment, typical of the Iberian Mediterranean landscape, economical activities are integrated with the scattered trees that are viewed as an important part of the system (Joffre et al., 1999). The oak-dominated woodland may have persisted under a controlled landscape management combining cultivars and arable lands with more extensive activities like animal husbandry or accord production.

5.2. Conquezueta sequence

Figure 5.2.8. Main vegetation composition obtained from the Conquezueta–Ambrona Valley (A) and comparison with local anthracological (B) and archeobotanical data (C). Cultural phases described in the text have been also introduced. Pollen-based ecological groups are defined in the Figure 5.2.5 caption. Charcoal identification and SEM images have been obtained from Carrión and Badal, (2005). Carbonized plant remains follow Stika, (2005).



Final remarks

The sedimentological, geochemical and palynological proxies performed in the Conquezueta palaeolake sequence, combined with the archaeological surveys and archaeobotanical research carried out in the nearby Ambrona Valley, have helped to define six main phases of landscape transformation between 13.000 and 540 cal BP for a continental region of inner Iberia.

1) A basin-scale alluvial environment persisted during the Lateglacial and Early Holocene (ca. 13000-7540 cal BP).

2) The development of a wetland-shallow lake environment ca. 7.540 cal BP (5.590 BC) marks the onset of a phase of positive hydrological balance that concurs with the higher temperature and humid conditions reconstructed in many Mediterranean Iberian sites for the Mid Holocene. These favorable climate features coincide with the beginning of the Neolithisation in the area. The regional vegetation landscape was composed of a dense montane pine forest, also supported by the anthracological results obtained from the nearby Early Neolithic site of La Lámpara. During this period, first clear but scattered agricultural (*Cerealia* type) and nitrophilous indicators (*Plantago*, Brassicaceae, Polygonaceae, *Urtica*) appeared in the pollen sequence as reported in the archaeobotanical finds.

3) Hydrological oscillations characterize the period between 6.300 and 3.200 cal BP (4.350 and 1.250 BC), alternating carbonate-, organic- and detrital-rich depositional sub-environments. The frequency and diversity of anthropogenic-related indicators attained the maximum representation at the expenses of the locally-confined montane pine, stressing a noticeable human pressure in the vegetation landscape, intensified by broader climate conditions.

4) The dominance of carbonate-rich wetland environments during the period 3.200-930 cal BP (1.250 BC-1.020 AD) highlights a progressive infilling of the lake basin, where more-organic conditions paralleled the expansion of diverse hydroseral communities. Pinewoods recovered during this period at regional-scale as a result of climate and socio-economic changes, whereas anthropogenic-related indicators still remained high in the palaeolake surroundings denoting a marked change in the patterns of settlement.

5) After 930 cal BP (1.020 AD) the basin was definitively colonized by sedges and a peat-like environment was established. Woodlands attained the minimum representation while the presence of olive groves and walnut cultivars suggests arboricultural practices during Mediaeval times, next to the cereal fields. Mesta system and the well-known Mediaeval rural livelihood may have acquired especial relevance

explaining the vegetation landscape during this phase.

6) The modern landscape, defined by intercalated holm oak and marcescent oak patches, is probably result of intense human management in order to transform the previous vegetation landscape into a dehesa-like system, combining both extensive herding with agrarian activities. The timing of this vegetation landscape in the Conquezueta surroundings remains still unknown.

References

- Abel-Schaad, D., López-Sáez, J.A., 2013. Vegetation changes in relation to fire history and human activities at the Peña Negra mire (Bejar Range, Iberian Central Mountain System, Spain) during the past 4,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 199–214.
- Alday, A., 2011. Nuevos datos para el estudio del Neolítico del interior de la Península Ibérica: Apostillas a una lectura por parte de J. Zilhão del yacimiento de Mendandia. *Munibe* 62, 197-205.
- Alonso, N., 2005. Agriculture and food from the Roman to the Islamic Period in the North-East of the Iberian peninsula: archaeobotanical studies in the city of Lleida (Catalonia, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 341–361.
- Antolín, F., Buxó, R., 2011. Proposal for the systematic description and taphonomic study of carbonized cereal grain assemblages: A case study of an early Neolithic funerary context in the cave of Can Sadurní (Begues, Barcelona province, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 20, 53–66.
- Antolín, F., Buxó, R., Jacomet, S., Navarrete, V., Saña, M., 2014. An integrated perspective on farming in the early Neolithic lakeshore site of La Draga (Banyoles, Spain). *Environmental Archaeology*.
- Antolín, F., Jacomet, S., Buxó, R., 2015. The hard knock life. Archaeobotanical data on farming practices during the Neolithic (5400-2300 cal BC) in the NE of the Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science*. doi:10.1016/j.jas.2015.05.007.
- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S., 2014. Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change* 114, 50–65.
- Benito Garzón, M.B., Sánchez de Dios, R., Sainz Ollero, H., 2008. The evolution of the *Pinus sylvestris* L. area in the Iberian Peninsula from the last glacial maximum to 2100 under climate change. *The Holocene* 18, 705–714.
- Bennett, K., 2009. Documentation for Psimpoll 4.27 and Pscomb 1.03: C Programs for Plotting Pollen Diagrams and Analysing Pollen Data, Queen's University of Belfast, Department of Archaeology and Palaeoecology.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5, 512–518.
- Bocquet-Appel, J.-P., Naji, S., Linden, M.V., Kozłowski, J.K., 2009. Detection of diffusion and contact zones of early farming in Europe from the space-time distribution of ¹⁴C dates. *Journal of Archaeological Science* 36, 807–820.
- Bunting, M.J., Gaillard, M.-J., Sugita, S., Middleton, R., Broström, A., 2004. Vegetation structure and pollen source area. *The Holocene* 14, 651–660.
- Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Sáez, A., Margalef, O., Bao, R., Pla-Rabes, S., Blaauw, M., Valero-Garcés, B., Giralt, S., 2013. Vegetation changes and human

settlement of Easter Island during the last millennia: a multiproxy study of the Lake Raraku sediments. *Quaternary Science Reviews* 72, 36–48.

Carrion, J.S., Sanchez-Gomez, P., 1992. Palynological data in support of the survival of walnut (*Juglans regia* L.) in the western Mediterranean area during last glacial times. *Journal of Biogeography* 19, 623–630.

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.

Carrión, J.S., Navarro, C., Navarro, J., Munuera, M., 2000. The distribution of cluster pine (*Pinus pinaster*) in Spain as derived from palaeoecological data: Relationships with phytosociological classification. *The Holocene* 10, 243–252.

Carrión, J.S., Andrade, A., Bennett, K.D., Navarro, C., Munuera, M., 2001. Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11, 635–653.

Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458–475.

Carrión, Y., Badal, E., 2005. Estudio antracológico de tres monumentos funerarios del Valle de Ambrona. In: Rojo-Guerra M.A (ed.) *Un desafío a la eternidad: Tumbas monumentales del Valle de Ambrona.*

Arqueología en Castilla y León, vol 14. Junta de Castilla y León, pp 279–288.

Cheddadi, R., Vendramin, G.G., Litt, T., François, L., Kageyama, M., Lorentz, S., Laurent, J.-M., De Beaulieu, J.-L., Sadori, L., Jost, A., Lunt, D., 2006. Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology and Biogeography* 15, 271–282.

Corella, J.P., Stefanova, V., El Anjoumi, A., Rico, E., Giralt, S., Moreno, A., Plata-Montero, A., Valero-Garcés, B.L., 2013. A 2500-year multi-proxy reconstruction of climate change and human activities in northern Spain: The Lake Arreo record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386, 555–568.

Cortés Sánchez, M., Jiménez Espejo, F.J., Simón Vallejo, M.D. Gibaja Bao, J.F., Faustino Carvalho, A., Martínez-Ruiz, F., Rodrigo Gamiz, M., Flores, J.A., Paytan, A., López Sáez, J.A., Peña-Chocarro, L., Carrión, J.S., Morales Muñoz, A., Roselló Izquierdo, E., Riquelme Cantal, J.A., Dean, R.M., Salgueiro, E., Martínez Sánchez, R.M., De la Rubia de Gracia, J.J., Lozano Francisco, M.C., Vera Peláez, J.L., Llorente Rodríguez, L. & Bicho, N.F., 2012. The Mesolithic–Neolithic transition in southern Iberia. *Quaternary Research* 77, 221–234.

Coward, F., Shennan, S., Colledge, S., Conolly, J., Collard, M., 2008. The spread of Neolithic plant economies from the Near East to northwest Europe: a phylogenetic analysis. *Journal of Archaeological Science* 35, 42–56.

Currás, A., Zamora, L., Reed, J.M., García-Soto, E., Ferrero, S., Armengol, X., Mezquita-Joanes, F., Marqués, M.A., Riera, S., Julià, R., 2012. Climate change and human impact in central Spain during

- Roman times: High-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl). *Catena* 89, 31–53.
- Di Rita, F., Magri, D., 2009. Holocene drought, deforestation and evergreen vegetation development in the central Mediterranean: A 5500 year record from Lago Alimini Piccolo, Apulia, southeast Italy. *The Holocene* 19, 295–306.
- Di Rita, F., Melis, R.T., 2013. The cultural landscape near the ancient city of Tharros (central West Sardinia): Vegetation changes and human impact. *Journal of Archaeological Science* 40, 4271–4282.
- Falguères, C., Bahain, J.-J., Pérez-González, A., Mercier, N., Santonja, M., Dolo, J.-M., 2006. The Lower Acheulian site of Ambrona, Soria (Spain): ages derived from a combined ESR/U-series model. *Journal of Archaeological Science* 33, 149–157.
- Fiorentino, G., Caldara, M., Santis, V.D., D'Oronzo, C., Muntoni, I.M., Simone, O., Primavera, M., Radina, F., 2013. Climate changes and human–environment interactions in the Apulia region of southeastern Italy during the Neolithic period. *The Holocene* 23, 1297–1316.
- Florenzano, A., Marignani, M., Rosati, L., Fascetti, S., Mercuri, A.M., 2015. Are Cichorieae an indicator of open habitats and pastoralism in current vegetation in southern Italy? A test to guide the pollen interpretation in palaeobotanical data. *Plant Biosystems* 149, 154–165.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Sainz Ollero, H., 1998. Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain. *The Holocene* 8, 69–82.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Maldonado Ruiz, J., Morla Juaristi, C., Sainz Ollero, H., 2001a. Evolución de la vegetación en el sector septentrional del macizo de Ayllón (Sistema Central). Análisis polínico de la turbera de Pelagallinas. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 59, 113–124.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Maldonado Ruiz, J., Morla Juaristi, C., Sainz Ollero, H., 2001b. The Holocene history of Pinus forests in the Spanish Northern Meseta. *The Holocene* 11, 343–358.
- Fuller, D.Q., Denham, T., Arroyo-Kalin, M., Lucas, L., Stevens, C.J., Qin, L., Allaby, R.G., Purugganan, M.D., 2014. Convergent evolution and parallelism in plant domestication revealed by an expanding archaeological record. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 6147–6152.
- Fyfe, R., 2006. GIS and the application of a model of pollen deposition and dispersal: a new approach to testing landscape hypotheses using the POLLANDCAL models. *Journal of Archaeological Science* 33, 483–493.
- García-Amorena, I., Rubiales, J.M., Moreno Amat, E., Iglesias González, R., Gómez-Manzanaque, F., 2011. New macrofossil evidence of *Pinus nigra* Arnold on the Northern Iberian Meseta during the Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163, 281–288.
- García Antón, M., Franco-Múgica, F., Maldonado-Ruiz, J., Morla Juaristi, Sainz Ollero, H., 1995. Una secuencia polínica en Quintana Redonda (Soria). Evolución Holocena del tapiz vegetal en el Sistema Ibérico septentrional. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 52, 187–195.

- García-Ruiz, J.M., Palacios, D., de Andrés, N., Valero-Garcés, B.L., López-Moreno, J.I., Sanjuán, Y., 2014. Holocene and “Little Ice Age” glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene* 24, 1439–1452.
- Gil-Romera, G., García Antón, M., Calleja, J., 2008. The late Holocene palaeoecological sequence of Serranía de las Villuercas (southern Meseta, western Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 653–666.
- Gil-Romera, G., Carrión, J.S., Pausas, J.G., Sevilla-Callejo, M., Lamb, H.F., Fernández, S., Burjachs, F., 2010. Holocene fire activity and vegetation response in South-Eastern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 29, 1082–1092.
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S., 2004. Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961–1990). *Climate Dynamics* 22, 733–756.
- González-Sampériz, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena, M., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez-Bea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71, 121–132.
- Grimm, E.C., 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences* 13, 13–35.
- Haldorsen, S., Akan, H., Çelik, B., Heun, M., 2011. The climate of the Younger Dryas as a boundary for Einkorn domestication. *Vegetation History and Archaeobotany* 20, 305–318.
- Joffre, R., Rambal, S., Ratte, J.P., 1999. The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforestry Systems* 45, 57–79.
- Kouli, K., 2012. Vegetation development and human activities in Attiki (SE Greece) during the last 5,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 267–278.
- Lancelotti, C., Balbo, A.L., Madella, M., Iriarte, E., Rojo-Guerra, M., Royo, J.I., Tejedor, C., Garrido, R., García, I., Arcusa, H., Pérez Jordà, G., Peña-Chocarro, L., 2014. The missing crop: investigating the use of grasses at Els Trocs, a Neolithic cave site in the Pyrenees (1564 m asl). *Journal of Archaeological Science* 42, 456–466.
- Liesau, C; Montero, S., 2005. Los restos de fauna recuperados en los recintos funerarios de Ambrona. In: Rojo-Guerra M.A (ed.) *Un desafío a la eternidad: Tumbas monumentales del Valle de Ambrona. Arqueología en Castilla y León*, vol 14. Junta de Castilla y León, pp 365–367.
- López García, P., Aranz Carrero, A.M., Macías Rosado, R., Uzquiano Ollero, P., Gil Hernández, P., 2003. Arqueobotánica de la Cueva de La Vaquera. In: Estremera Portela, M.S. (ed). *Primeros agricultores y ganaderos en la Meseta Norte: el Neolítico de la Cueva de La Vaquera (Torreiglesias, Segovia)*. Arqueología en Castilla y León, vol 11. Junta de Castilla y León, Zamora, pp 247–255.
- López-Merino, L., Cortizas, A.M., López-Sáez, J.A., 2010. Early agriculture and palaeoenvironmental history in the North of the Iberian Peninsula: a multiproxy analysis of the Monte Areo mire (Asturias, Spain). *Journal of Archaeological Science* 37, 1978–1988.

- Magny, M., Peyron, O., Sadori, L., Ortu, E., Zanchetta, G., Vannière, B., Tinner, W., 2012. Contrasting patterns of precipitation seasonality during the Holocene in the south- and north-central Mediterranean. *Journal of Quaternary Science*. 27, 290–296.
- Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 267–284.
- Mazier, F., Galop, D., Brun, C., Buttler, A., 2006. Modern pollen assemblages from grazed vegetation in the western Pyrenees, France: a numerical tool for more precise reconstruction of past cultural landscapes. *The Holocene* 16, 91–103.
- Mercuri, A.M., Sadori, L., Uzquiano, P., 2011. Mediterranean and north-African cultural adaptations to mid-Holocene environmental and climatic changes. *The Holocene* 21, 189–206.
- Mercuri, A.M., Bandini Mazzanti, M., Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rattighieri, E., 2013a. *Olea*, *Juglans* and *Castanea*: The OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula. *Quaternary International* 303, 24–42.
- Mercuri, A.M., Bandini Mazzanti, M., Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rattighieri, E., Torri, P., 2013b. Anthropogenic Pollen Indicators (API) from archaeological sites as local evidence of human-induced environments in the Italian peninsula. *Annali di Botanica* 3, 143–153.
- Mercuri, A.M., 2014. Genesis and evolution of the cultural landscape in central Mediterranean: the 'where, when and how' through the palynological approach. *Landscape Ecology* 29, 1799–1810.
- Mercuri, A.M., Allevato, E., Arobba, D., Bandini Mazzanti, M., Bosi, G., Caramiello, R., Castiglioni, E., Carra, M.L., Celant, A., Costantini, L., Di Pasquale, G., Fiorentino, G., Florenzano, A., Guido, M., Marchesini, M., Mariotti Lippi, M., Marvelli, S., Miola, A., Montanari, C., Nisbet, R., Pena Chocarro, L., Perego, R., Ravazzi, C., Rottoli, M., Sadori, L., Uccesu, M., Rinaldi, R., 2015. Pollen and plant remains from Holocene archaeological sites: a dataset for the understanding of the biocultural diversity of the Italian landscape. *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 250–266.
- Meyers, P.A., Lallier-vergés, E., 1999. Lacustrine Sedimentary Organic Matter Records of Late Quaternary Paleoclimates. *Journal of Paleolimnology* 21, 345–372.
- Montes, L., Domingo, R., González-Sampériz, P., Sebastián, M., Aranbarri, J., Castaños, P., García-Simón, J.L., Alcolea, M., Laborda, R., 2016. Landscape, resources and people during the Mesolithic and Neolithic times in NE Iberia: the Arba de Biel Basin. *Quaternary International* 403, 133–150.
- Moore, P., Webb, J.A., Collinson, A., 1991. *Pollen Analysis*, second ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Morales, J., Pérez-Jord a, G., Peña-Chocarro, L., Zapata, L., Ru ız-Alonso, M., López-Sáez, J.A., Linst adter, J., 2013. The origins of agriculture in North-West Africa: macro-botanical remains from Epipalaeolithic and Early Neolithic levels of Ifri Oudadane (Morocco). *Journal of Archaeological Science* 40, 2659–2669.

- Morales-Molino, C., García Antón, M., Morla, C., 2011. Late Holocene vegetation dynamics on an Atlantic–Mediterranean mountain in NW Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 302, 323–337.
- Morán-Dauchez, G., 2006. Otros tiempos, otros mundos. La construcción del paisaje en el valle de Ambrona entre el primer neolítico y los inicios de la Edad de Bronce. Tesis Doctoral, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Valladolid.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 28, 2582–2599.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., González-Sampériz, P., Vegas-Vilarrúbia, T., Rubio, E., Rieradevall, M., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Romero, Ó., Engstrom, D., López-Vicente, M., Navas, A., Soto, J., 2011. Climate changes and human activities recorded in the sediments of Lake Estanya (NE Spain) during the Medieval Warm Period and Little Ice Age. *Journal of Paleolimnology* 46, 423–452.
- Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J.P., Büntgen, U., Catalán, J., González-Sampériz, P., González-Trueba, J.J., López-Sáez, J.A., Moreno, A., Pla-Rabes, S., Saz-Sánchez, M. á., Scussolini, P., Serrano, E., Steinhilber, F., Stefanova, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B., 2012. A multi-proxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees. *Climate of the Past* 8, 683–700.
- Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., 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.
- Moreno, A., Pérez, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., Martrat, B., González-Sampériz, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Cacho, I., Herrera, G., Canals, M., Grimalt, J.O., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B.L., 2012. The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews* 43, 16–32.
- Ntinou, M., Badal, E., Carrión, Y., Fueyo, J.L.M., Carrión, R.F., Mira, J.P., 2013. Wood use in a medieval village: the contribution of wood charcoal analysis to the history of land use during the 13th and 14th centuries A.D. at Pobra d'lfach, Calp, Alicante, Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 115–128.
- Peña-Chocarro, L., Zapata, L., Gazólaz, J.G., Morales, M.G., Sesma, J.S., Straus, L.G., 2005a. The spread of agriculture in northern Iberia: New archaeobotanical data from El Mirón cave (Cantabria) and the open-air site of Los Cascajos (Navarra). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 268–278.
- Peña-Chocarro, L., Zapata, L., Iriarte, M.J., González Morales, M., Straus, L.G., 2005b. The oldest agriculture in northern Atlantic Spain: new evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science* 32, 579–587.

- Penalba, M.C., 1994. The History of the Holocene Vegetation in Northern Spain from Pollen Analysis. *Journal of Ecology* 82, 815–832.
- Pérez-González, A., Santonja, M., Gallardo, J., Aleixandre, T., Sesé, C., Soto, E., Mora, R., Villa, P., 1997. Los yacimientos pleistocenos de Torralba y Ambrona y sus relaciones con la evolución geomorfológica del Polje de Conquezueta (Soria). *Geogaceta* 21, 175-178.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampériz, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., Navas, A., 2013. Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 73, 149–169.
- Pinhasi, R., Fort, J., Ammerman, A.J., 2005. Tracing the Origin and Spread of Agriculture in Europe. *PLoS Biology* 3, e410.
- Pons, J., Pausas, J.G., 2006. Oak regeneration in heterogeneous landscapes: The case of fragmented *Quercus suber* forests in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 231, 196–204.
- R Core Team (2012). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing).
- Reille, M., 1992. *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Grootes, P., Guilderson, T., Hafidason, H., Hajdas, I., Hatt Z, C., Heaton, T., Hoffmann, D., Hogg, A., Hughen, K., Kaiser, K., Kromer, B., Manning, S., Niu, M., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Staff, R., Turney, C., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55.
- Roberts, N., Brayshaw, D., Kuzucuoğlu, C., Perez, R., Sadori, L., 2011. The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *The Holocene* 21, 3–13.
- Rodríguez-Picavea, E., 2010. Cattle ranching and the Order of Calatrava in the medieval Castile (twelfth to fifteenth centuries). *La España Medieval* 33, 325-346.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., Morán-Dauchez, G., 2005. Un desafío a la eternidad: Tumbas monumentales del Valle de Ambrona. *Arqueología en Castilla y León*, vol 14. Junta de Castilla y León.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2006. La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26, 30-100.
- Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., Morán-Dauchez, G., 2008. Paisajes de la Memoria. Asentamientos del Neolítico antiguo en el Valle de Ambrona (Soria). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valladolid. Valladolid.
- Rojo-Guerra, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2010. Tombs for the dead, monuments to eternity: the deliberate destruction of megalithic

- graves by fire in the interior highlands of Iberia (Soria province, Spain). *Oxford Journal of Archaeology* 29, 253-275.
- Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Génova, M., Gómez Manzaneque, F., Morla, C., 2007. The Holocene history of highland pine forests in a submediterranean mountain: the case of Gredos mountain range (Iberian Central range, Spain). *Quaternary Science Reviews* 26, 1759–1770.
- Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Hernández, L., Génova, M., Martínez, F., Manzaneque, F.G., Morla, C., 2010. Late Quaternary dynamics of pinewoods in the Iberian Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 476–491.
- Rubiales, J.M., Génova, M., in press. Late Holocene pinewoods persistence in the Gredos Mountains (central Spain) inferred from extensive megafossil evidence. *Quaternary Research*. doi:10.1016/j.yqres.2015.04.006
- Ruiz-Zapata, M.B., Pérez-González, A., Santonja, M., Gil-García, M.J., Dorado-Valiño, M., Valdeolmillos Rodríguez, A., 2003. Vegetación Mesopleistocena del polje de Conquezueta (Soria). *Polen* 13, 5-17.
- Rull, V., González-Sampériz, P., Corella, J.P., Morellón, M., Giral, S., 2011. Vegetation changes in the southern Pyrenean flank during the last millennium in relation to climate and human activities: The Montcortès lacustrine record. *Journal of Paleolimnology* 46, 387–404.
- Sadori, L., Mercuri, A.M., Mariotti Lippi, M., 2010. Reconstructing past cultural landscape and human impact using pollen and plant macroremains. *Plant Biosystems* 144, 940–951.
- Sadori, L., Jahns, S., Peyron, O., 2011. Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean. *The Holocene* 21, 117–129.
- Santonja, M., Pérez-González, A., 2010. Mid-Pleistocene Acheulean industrial complex in the Iberian Peninsula. *Quaternary International* 223-224, 154-161.
- Schnurrenberger, D., Russell, J., Kelts, K., 2003. Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29, 141–154.
- Shipman, P., Rose, J., 1983. Evidence of butchery and hominid activities at Torralba and Ambrona; an evaluation using microscopic techniques. *Journal of Archaeological Science* 10, 465–474.
- Sokal, R.R., 1991. Ancient movement patterns determine modern genetic variances in Europe. *Human Biology* 63, 589–606.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene Forest History of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603–610.
- Stika, H.-P., 2005. Early Neolithic agriculture in Ambrona, Provincia Soria, central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 189–197.
- Tallón-Armada, R., Costa-Casais, M., Schellekens, J., Taboada Rodríguez, T., Vives-Ferrándiz Sánchez, J., Ferrer García, C., Abel Schaad, D., López-Sáez, J.A., Carrión Marco, Y., Martínez Cortizas, A., 2014. Holocene environmental change in Eastern Spain reconstructed through the multiproxy study of a pedo-sedimentary sequence from Les Alcusses (Valencia, Spain). *Journal of Archaeological Science* 47, 22–38.

Terradillos-Bernal, M., Rodríguez, X.-P., 2012. The Lower Palaeolithic on the northern plateau of the Iberian Peninsula (Sierra de Atapuerca, Ambrona and La Maya I): a technological analysis of the cutting edge and weight of artefacts. Developing an hypothetical model. *Journal of Archaeological Science* 39, 1467–1479.

Utrilla, P., Mazo, C., Domingo, R., 2013. El abrigo de Forcas II (parte oeste). Del Mesolítico laminar a los enterramientos Calcolíticos. In: Utrilla, P and Mazo C (ed.) *La Peña de Forcas* (Graus, Huesca). Un asentamiento estratégico en la confluencia del Ésera y el Isábena. *Monografías Arqueológicas/Prehistoria*, vol 46. Universidad de Zaragoza, pp 365–395.

Uzquiano, P., D'Oronzo, C., Fiorentino, G., Ruiz-Zapata, B., Gil-García, M.J., Ruiz-Zapatero, G., Märtens, G., Contreras, M., Baquedano, E., 2011. Integrated archaeobotanical research into vegetation management and land use in El Llano de la Horca (Santorcaz, Madrid, central Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 485-498.

Valbuena-Carabaña, M., de Heredia, U.L., Fuentes-Utrilla, P., González-Doncel, I., Gil, L., 2010. Historical and recent changes in the Spanish forests: A socio-economic process. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 492–506.

van Geel, B., 1978. A palaeoecological study of holocene peat bog sections in Germany and The Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. *Review of Palaeobotany and Palynology* 25, 1–120.

Vannière, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrion, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Daniau, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G.,

Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene* 21, 53–73.

Vigil-Escalera, A., Moreno-García, M., Peña-Chocarro, L., Morales Muñoz, A., Llorente Rodríguez, L., Sabato, D., Uccesu, M., 2014. Productive strategies and consumption patterns in the Early Medieval village of Gózquez (Madrid, Spain). *Quaternary International* 346, 7-19.

Vigne, J.-D., Briois, F., Zazzo, A., Willcox, G., Cucchi, T., Thiébaud, S., Carrère, I., Franel, Y., Touquet, R., Martin, C., Moreau, C., Comby, C., Guilaine, J., 2012. First wave of cultivators spread to Cyprus at least 10,600 y ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109, 8445–8449.

Villa, P., D'Errico, F., 2001. Bone and ivory points in the Lower and Middle Paleolithic of Europe. *Journal of Human Evolution* 41, 69–112.

Villa, P., Soto, E., Santonja, M., Pérez-González, A., Mora, R., Parcerisas, J., Sesé, C., 2005. New data from Ambrona: closing the hunting versus scavenging debate. *Quaternary International*, 126–128, 223–250.

Willcox, G., Buxó, R., Herveux, L., 2009. Late Pleistocene and early Holocene climate and the beginnings of cultivation in northern Syria. *The Holocene* 19, 151–158.

Zapata, L., López-Sáez, J.A., Ruiz-Alonso, M., Linstädter, J., Pérez-Jordà, G., Morales, J., Kehl, M., Peña-Chocarro, L., 2013. Holocene environmental change and human impact in NE Morocco:

Palaeobotanical evidence from Ifri Oudadane. *The Holocene* 23, 1286–1296.

Zeder, M.A., 2008. Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 11597–11604.

Zilhão, J., 2001. Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization at the origins of farming in west Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98, 14180–14185.

Zilhão, J., 2011. Time is on my side. The Dynamics of Neolithisation in Europe. *Studies in honour of Andrew Sherratt*. Oxbow, 46-55.

5.3

Results

Palaeobotanical insights from Early-Mid Holocene fluvial tufas in the Moncayo Natural Park (Iberian Range, NE Spain): regional correlations and biogeographic implications

Review of Palaeobotany and Palynology. (Under Review).

Abstract

Fluvial tufa sections located in the Queiles and Val River valleys (Moncayo Natural Park, Iberian Range, NE Iberia) are investigated following stratigraphic studies, radiocarbon dating and detailed palynological and anthracological analyses, in order to feature vegetation and paleoclimate evolution and discuss with regional results. The studied deposits have been chronologically framed within the Early-Mid Holocene (ca. 9.500 to 4.000 cal BP) in agreement with regional tufa build-up. Climatic and palaeoenvironmental conditions reconstructed for this period fit regional data from lacustrine sequences. The obtained pollen profiles and charcoal results show the existence of a local riparian woodland, where diverse mesophytes, such as deciduous *Quercus*, *Corylus*, *Salix*, *Populus*, *Ulmus*, *Juglans* and *Hedera*, define the main vegetation features in both river valleys. Unexpectedly, both pollen and anthracological data also place *Taxus baccata* and *Castanea sativa* populations growing near the study area, and denoting, in the case of chestnut, its native and long-term presence in the Iberian Range. Deciduous (*Quercus faginea/pyrenaica* type) and evergreen oaks (*Q. ilex/coccifera* type) were the main spread regional forests which conformed the meso-mediterranean vegetation belt of the Moncayo Massif and borderlands, accompanied by many warm-loving shrubs like *Olea*, *Phillyrea*, *Rhamnus* and *Pistacia*, pointing out the optimal thermal period of the Holocene. Pinewoods

(*Pinus nigra/sylvestris* type) and montane broadleaved communities (*Betula*, *Fagus*) were usually confined to high-altitude elevations following regional palynological sequences data, but charcoal record in our results also addresses its local presence. The findings show that combination of pollen assemblages and detailed charcoal analyses, together with the accurate dating of tufa build-ups, represent an essential tool to complete the regional palaeoclimatic and palaeohydrological reconstructions, as well as to draw precisely the past distribution of unusual taxa.

Key words: Fluvial tufa, Palynology, Anthracology, Historical biogeography, *Taxus baccata*, *Castanea sativa*

Introduction

Fluvial tufa deposits (Pedley, 1990; Ford and Pedley, 1996) have provided to be excellent palaeobotanical archives (Dabkowski, 2014). Charcoal remains and detailed leaf imprints preserved in fluvial tufa sequences constitute extraordinary proxies to develop Quaternary palaeoenvironmental studies (Pentecost, 2005) and to disentangle biogeographic aspects, regarding past distributions of vascular taxa (Ollivier et al., 2011). Examples of broader extension of European endangered or extinct taxa have been successfully derived from many locations across the Mediterranean Basin providing unequivocal, local evidence of key elements like, for example, *Zelkova* (Follieri et al., 1986), nowadays confined to the easternmost Caucasian region (Kvavadze and Connor, 2005). In addition, some works have also evidenced the potential of macrofloral and anthracological remains as direct proxies to infer treeline dynamics (Ali et al., 2003; Di Pasquale et al., 2014) or to identify the autochthony of conflictive tree species (e.g., *Populus alba*, Roiron et al., 2004, *Platanus orientalis*, Rosati et al., 2015).

In contrast, tufa palynology has been poorly developed as a research line because of recurrent taphonomic biases that concur in relatively low pollen concentrations (Ricci et al., 2014). Recently, Bertini et al. (2014) concluded that high precipitation rates in tufa formation and depositional system typologies explain the pollen preservation in tufa environments *per se*

excluding the general assumption that alkaline environments are responsible for corrosion phenomena. Despite high amount of sterile layers and pollen preservation issues, it has been proved successfully that pollen analysis reflects both local and regional vegetation and, therefore, may represent the climate scenarios when the tufa deposition took place (Taylor et al., 1998). Locally confined pollen assemblages coupled with independent indicators, such as molluscan faunas or isotope geochemistry analyses, have demonstrated to be excellent indicators of past local hydrological oscillations (Vermoere et al., 1999; Murton et al., 2001) that provide further evidence of the sedimentary processes involved, as pollen deposition is mostly related to waterborne transport in tufa depositional environments (Bertini et al., 2014).

In the Iberian Peninsula, vegetation reconstructions focused on pollen analysis of carbonate sequences have scarcely been reported, although some sequences provided successful results spanning palaeobotanically poorly-known time intervals (examples in González-Sampériz et al., 2010). This is especially evident for Middle and Upper Pleistocene records obtained from rock shelters and caves (e.g., García-Antón and Sainz-Ollero, 1991; Burjachs and Julià, 1994; Schulte et al., 2008), in which pollen-biased studies have been mandatory to disentangle main climate features and to establish broad-scale biostratigraphic correlations (González-Sampériz et al., 2010).

Leaf imprints have testified the local evidence of meso-thermophilous taxa like *Quercus faginea*, *Acer opalus*, *Alnus glutinosa* or *Corylus avellana* (Martinez Tudela et al., 1986), evidencing the establishment of humid conditions and the spread of broadleaved woodland in the Mediterranean Iberia during the last interglacial. During the Mid Holocene, palynological studies in fluvial travertine sections and barrage systems have also been reported, completing the fragmentary vegetation picture of Iberian continental environments (Taylor et al., 1998). Detailed macrofloral and charcoal studies have been addressed to past distribution of tree species (Menéndez Amor, 1970; García-Amorena et al., 2011; Roiron et al., 2013), in all cases improving the taxonomic and spatial resolution of pollen analysis.

The main goal of this research is to decipher the palaeoenvironmental evolution of the tufa deposits in the valleys of the Queiles and Val rivers during the Early-Mid Holocene by means of detailed analysis of pollen and charcoal assemblages. The vegetation dynamics of the Moncayo Natural Park, hot spot of biodiversity located in the northern sector of the Iberian Range, has been scarcely investigated and previous pollen studies have been focused on mountain environments where ombrotrophic peatbogs and lakes widely dominate (Peñalba, 1994; Sánchez Goñi and Shannon, 1999; Gil-García et al., 2002; Ruiz-Zapata et al., 2002, 2015, among others). Mid- and low-altitude environments have been poorly studied in the area and nearby regions because of the lack of

continuous sedimentary records (González-Sampériz, 2004; González-Sampériz et al., 2008). The results shown in this paper complement the palaeobotanical knowledge of the Iberian Range phytogeography. Specific aims are: 1) to define the vegetation history both at a local and a regional-scale by means of detailed and chronologically well-constrained pollen and charcoal profiles; 2) to correlate the main vegetation development of the Early-Mid Holocene time-interval in the Iberian Range, and; 3) to discuss the specific plant traits with special emphasis on past biogeographies.

Site description

The studied tufa deposits are located along the valleys of the Queiles and Val rivers, in the northeastern sector of Iberian Range and the adjacent Ebro Depression (Figure 5.3.1B). The watershed of the Queiles River is around 550 km², with an altitude ranging between 2.326 m a.s.l (Moncayo summit) and 250 m a.s.l (mouth at Tudela). It is drained by the Queiles River and its tributary Val River, which flows into the Ebro River (Figure 5.3.1C). Both rivers are fed mainly from the karstic aquifer of Araviana-Vozmediano that is hosted mainly in Jurassic limestones surrounding the northern side of the Permian and Triassic Moncayo Massif materials (Gil-Imaz and Pocióvi-Juan, 1994). Main springs are found in Agreda (150 Ls⁻¹) and in Vozmediano (500-800 Ls⁻¹) (García-Gil et al., 2013) (Figure 5.3.1C). Groundwater discharges are of bicarbonate-calcium type and constitute the source of present and probably past tufa build-ups distributed along the Queiles and the Val valleys.

The climate particularities of the Moncayo Range are determined by its geographical position and its high elevation with respect to the nearby regions, which can be illustrated as a Eurosiberian island surrounded by the semi-arid Ebro Depression eastwards and the continental Northern Plateau (del Valle and San Roman, 1994). The massif receives important rainfall contribution from Atlantic fronts, resulting in a marked contrast between the northern and southern sides (Figure 5.3.2). The climate

conditions near the studied tufa build-ups (ca. 700-900 m a.s.l.) are defined by a typical Mediterranean regime, with a seasonal precipitation distribution and a summer dry period, while areas of higher altitudes are characterized by more regular rainfall and lower temperatures (Figure 5.3.2).

The modern vegetation of the Moncayo Massif (Figure 5.3.2) reflects the combined results of climate, edaphic and historical factors, where both Eurosiberian and Mediterranean communities are well-represented in the altitudinal vegetation zonation (Longares, 2004). The meso-Mediterranean vegetation belt up to 1000 m a.s.l. is defined by Mediterranean sclerophyllous woodlands dominated by *Quercus ilex* subsp. *ballota* and *Quercus faginea* communities, along with many xero-thermophilous shrubs such as *Quercus coccifera*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* and *Genista scorpius*. Olive cultivars and Aleppo pine reforestations are spread in the region (Figure 5.3.2). In the supra-Mediterranean level *sensu* Longares (2004), mixed broadleaved woodland including both acidophilous *Quercus pyrenaica* and *Q. robur*, are mixed with *Sorbus aria*, *S. aucuparia*, *Sambucus racemosa*, *Ilex aquifolium* and *Fagus sylvatica*, the latter one increasingly abundant in the higher sectors, reaching 1.600 m a.s.l. (Figure 5.3.2).

5.3. Queiles and Val tufa sequences

Figure 5.3.1. Location of the studied areas (Queiles and Val river valleys) in the northern hemisphere and in the Iberian Range (NE Spain). C: Main geological and geomorphological features along with the location of the main tufa build-ups in the studied valleys.

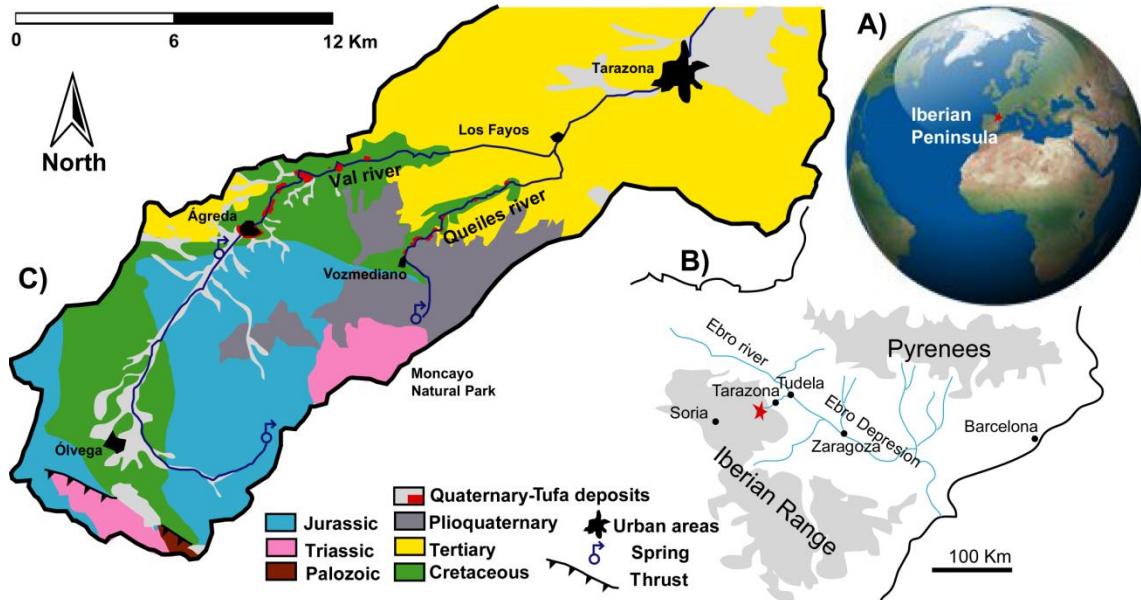
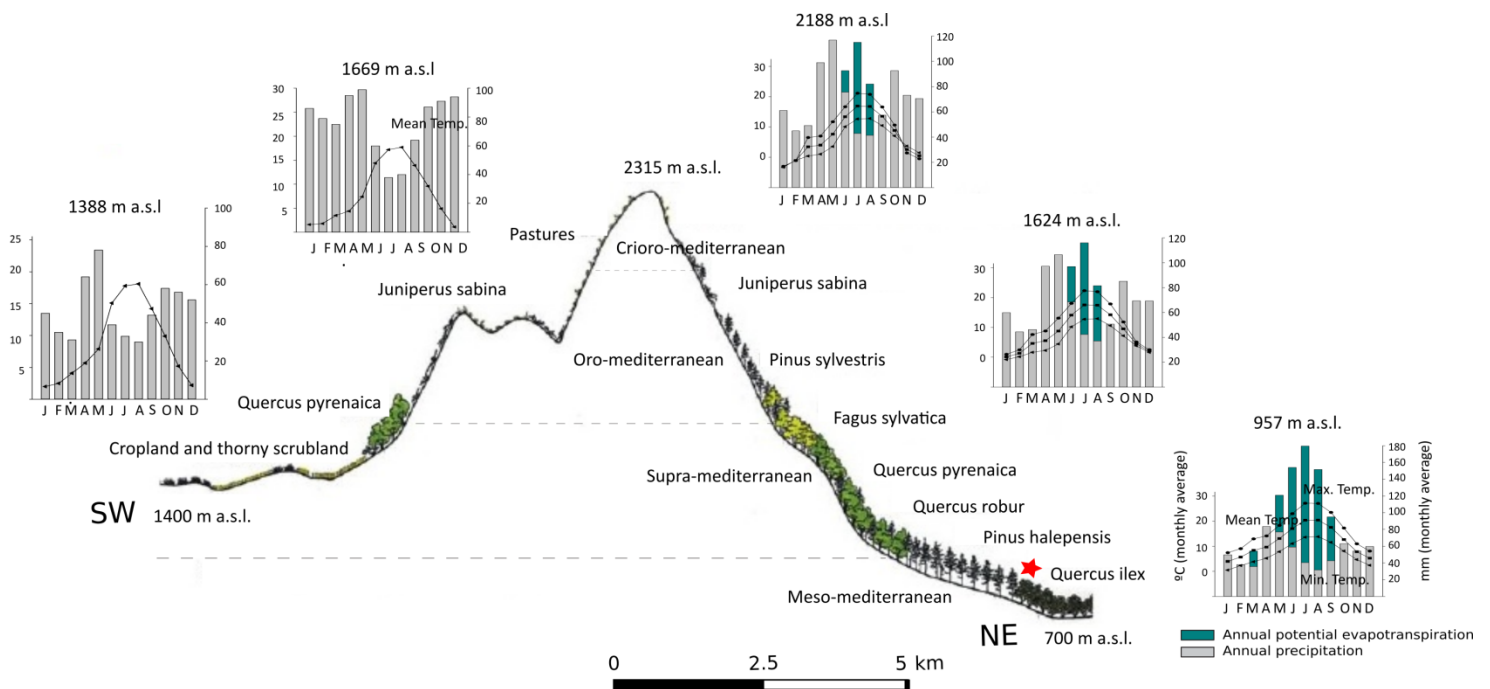


Figure 5.3.2. Modern vegetation zonation in the Moncayo Massif (modified from Longares 2004). Main climate features extracted from the Atlas Climático Digital de Aragón (Cuadrat et al., 2007), have also been displayed following an altitudinal gradient. Studied tufa build-ups location is shown by a red star.



The pine belt (both *Pinus sylvestris* and *P. uncinata*), presumably planted and punctually colonized by beech stands, defines the upper treeline in the Moncayo Massif, progressively reaching the treeless oro- and crioro-mediterranean belts, characterized by a scrubland with *Juniperus communis* subsp. *alpina*, *J. sabina* and *Cytisus balansae* subsp. *europaeus*, patched by a *Festuca aragonensis* grassland (Figure 5.3.2) (Longares, 2004).

The Moncayo Massif is considered an interesting hot spot of biodiversity, where many circum-Boreal trees are confined to their southernmost range limit (Gómez García et al., 2003). Among them, sessile oak (*Quercus petraea*), pedunculated oak (*Q. robur*) and beech forest stands are the most relevant species (Martínez del Castillo et al., 2015). Their presence is explained by the recurrent water supply and particular edaphic features (Gómez García et al., 2003).

The local vegetation communities in the surroundings of both Queiles and Val tufa deposits are mainly defined by a dense riparian woodland with abundant *Corylus avellana*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia platyphyllos*, *Acer monspessulanum*, *Populus tremula*, *Salix atrocinerea*, *Cornus sanguinea*, *Sambucus nigra* and *Hedera helix*. On carbonate rocky areas, many Mediterranean affinity species and heliophytes are present: *Quercus ilex* subsp. *ballota*, *Q. coccifera*, *Artostaphylos uva-ursii*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Rhamnus*

lycioides, *R. alaternus*, *Cistus ladanifer*, and *Prunus spinosa*, among others (Figure 5.3.2).

Material and methods

Geological mapping of tufa outcrops along the Queiles and Val valleys (Figure 5.3.1C) was undertaken on an aerial photography base (1:18.000 scale). Detailed geomorphic and stratigraphic field studies of the mapped tufa build-up were carried out. Subsequently, selected stratigraphic sections were described and sampled for palaeobotanical and chronological approaches. Facies study followed the nomenclature by Arenas-Abad et al. (2010).

Samples for pollen analyses were selected in the several stratigraphic sections measured in the tufa build-ups (7 samples in Queiles and 7 samples in Val sections, Figure 5.3.3) and then processed in the laboratory (ca. 100 gr) following the standard procedures for carbonate facies (Bertini et al., 2014). Results are expressed as percentages with respect to the terrestrial pollen, excluding hygrophytes, aquatic plants, ferns and algae. Cichorioideae and Brassicaceae have been also excluded from the total pollen sum since in some levels the frequencies were up to >350%, likely caused by taphonomic biases (Ricci et al., 2014). Pollen identification follows Moore et al. (1991).

Samples of 2-5 kg material were collected for anthracological analysis exactly from the same layers sampled for palynological purposes (Figure 5.3.3). A systematic dry sieving was used to recover the charcoal fragments; the

coarse fraction and large charcoal fragments were collected with a 5-mm mesh; a 2-mm mesh was used to recover the smaller remains. Charcoal fragments were manually fractured according to the three anatomical planes and observed using a reflected-light microscope. Identification of charcoal is derived via comparisons with reference collections of current charred wood and anatomical wood atlases (Schweingruber, 1990).

A total of 7 charcoal samples (4 from Queiles, 2 from Val-1, 1 and 1 from Val-2) were selected for dating at the AMS Direct Laboratory, Seattle (USA). When possible samples were anatomically identified prior to submission to laboratory following Badal et al. (1994) suggestions. Radiocarbon dates were calibrated with Calib v. 7.02 (Stuiver and Reimer, 1993) using the latest INTCAL13 curve (Reimer et al., 2013).

Results

Stratigraphy

The studied tufa deposits crop out along the bottom of the valleys of the Queiles and Val rivers (Figure 5.3.1C). They appear as successive build-ups shaping a cut-and-fill terrace system. The present river longitudinal profiles display some knick-points that coincide with the presence of Holocene tufa build-ups corresponding to small tufa barrages. In general, the Holocene deposits of the two studied cases formed in moderate slope river conditions, with small barrages (bryophyte boundstones, phytoclast rudstones and stromatolites) separated by low-slope free-flowing water areas (oncoïd rudstones, phytoclast rudstones and coarse detritals) and ponded water areas (phytoclast rudstones, peaty marls and marls) *sensu* Arenas-Abad et al. 2010.

A build-up (41°50'N; 1°51'W; 854 m a.s.l.) in the valley of the Queiles river located very close to the karstic spring of Vozmediano (Figure 5.3.1C) was selected to be studied. The tufa deposits are 10 m thick and crop out continuously along 60 m. This outcrop allowed to describe seven sections (Figure 5.3.3A, from A to G). Two stratigraphic stretches can be differentiated in the tufa build-up. The lower one (5 m thick) is mainly made of 1) massive and cross-stratified millimeter- to centimeter-long oncoïd rudstones and/or 2) massive and laminated gray marls that contain abundant gastropods and charcoal remnants (Figure 5.3.3A). Decimetre-thick

lenticular beds made of gravels and sands sometimes appear interbedded. In contrast, the upper unit is made of phytoclast rudstones, bryophyte boundstones and less abundant oncoïd. The calibrated ¹⁴C ages of four samples (Queiles-A, B, C and G) are 5.825±27, 4.995±26, 4.135±24 and 4.060±27 cal BP, respectively (Figure 5.3.3A) (Table 5.3.1).

In the Val River, the selected tufa build-ups (41°52'N; 1°52'W; 765 m a.s.l.) occupy both sides of the river and reach 9 m in thickness. Three stratigraphic sections have been measured (Figure 5.3.3B, from 1 to 3); these mainly consist of phytoclast rudstones, plant boundstones, marls and coarse detritals. The lower and middle stretches of these sections include gray marl deposits, up to 2 m thick, that encompass charcoal remnants. Both palynological and anthracological studies have been performed in these levels from the 3 sections (Figure 5.3.3B). Two samples from the middle part of stratigraphic section VAL-1 provided ages of 7.590±35 and 7.180±33 cal BP, which is consistent with the stratigraphic order. Other sample from the base of section VAL-2 provided an age of 9.540±35 cal BP (Figure 5.3.3) (Table 5.3.1).

5.3. Queiles and Val tufa sequences

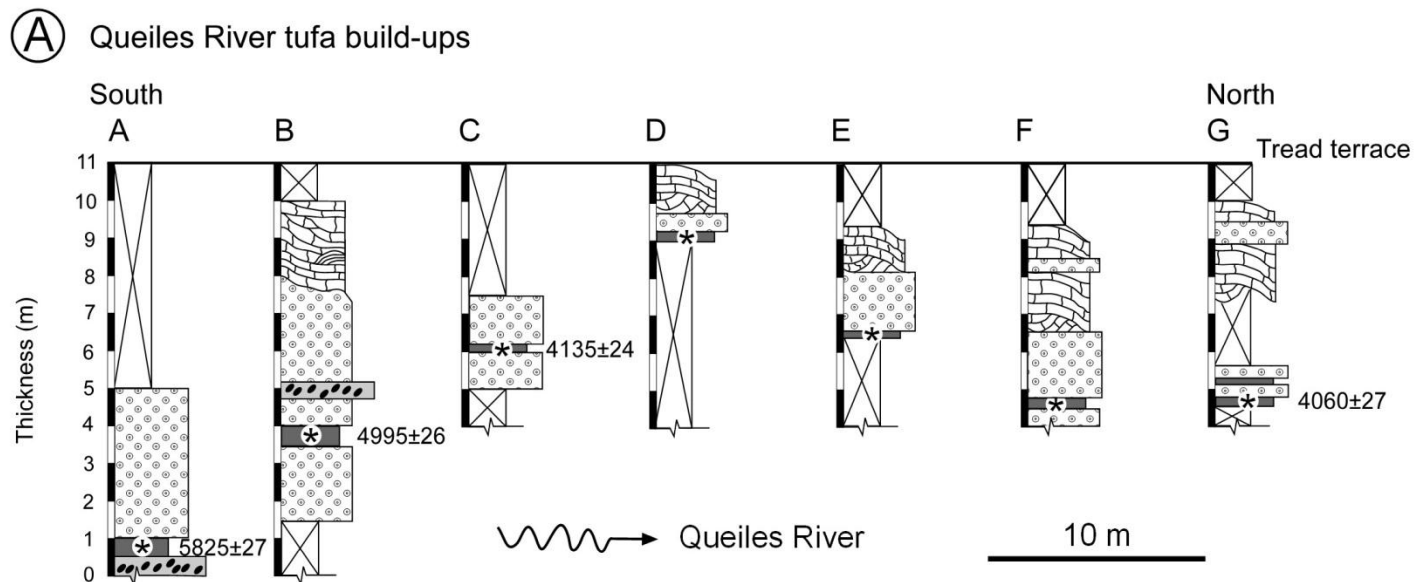
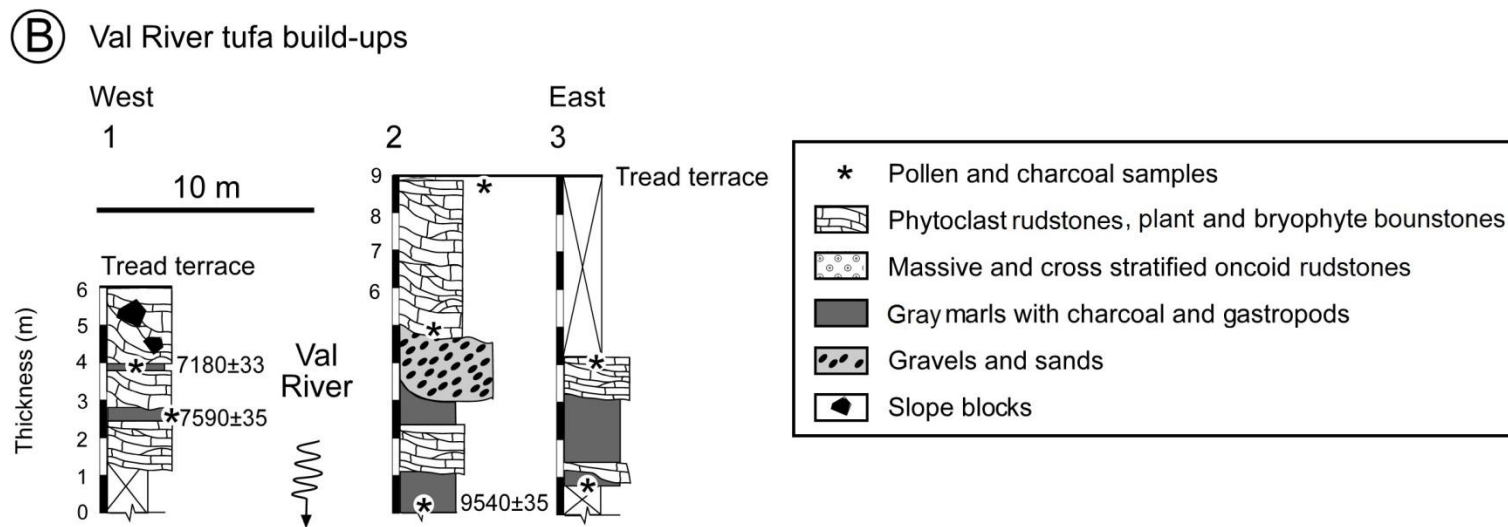


Figure 5.3.3. Stratigraphic characteristics of the tufa build-ups. Nomenclature of facies according to Arenas-Abad et al. (2010). Dates are indicated in cal BP (Table 5.3.1).



5.3. Queiles and Val tufa sequences

Lab ID	Samples	Building	Material	Radiocarbon date (¹⁴ C AMS yr BP)	Age error (yr BP)	Mean calibrated age (cal BP)
D-AMS 008305	QUEILES-G	Queiles	Charcoal	3.722	27	4.060
D-AMS 010099	QUEILES-C	Queiles	<i>Castanea sativa</i>	3.770	24	4.135
D-AMS 010098	QUEILES-B	Queiles	<i>Salix/Populus</i>	4.416	26	4.995
D-AMS 008304	QUEILES-A	Queiles	Charcoal	5.044	27	5.825
D-AMS 008306	VAL-1 Top	Val-1	Charcoal	6.237	33	7.180
D-AMS 008307	VAL-1 Base	Val-1	Charcoal	6.722	35	7.590
D-AMS 013885	VAL-2 Base	Val-2	<i>Pinus nigra/sylvestris</i> type	8.580	35	9.540

Table 5.3.1. Radiocarbon dates (AMS) for the Queiles and Val tufa buildings obtained from charcoal samples.

Palynological results

The palynological analysis performed in the Queiles and Val tufa deposits resulted in fertile pollen samples, identifying at least 109 palynomorph taxa as a consequence of the exceptional pollen preservation. Overall, all the studied deposits show similar pollen spectra (Figure 5.3.4) producing a snapshot of vegetation landscape for the Early-Mid Holocene interval in the region, 9.500-4.000 cal BP.

The mesophyte component attains the highest frequencies among the arboreal taxa: *Corylus* followed by *Fraxinus*, *Populus*, *Salix*, *Ulmus*, *Juglans*, *Castanea*, *Taxus* and *Quercus faginea/pyrenaica* type, reveal a typical riparian woodland assemblage. The pollen spectra are completed by *Tamarix*, *Viburnum*, Ericaceae, *Calluna* and *Hedera*, the latter acquiring remarkable values in Queiles (Figure 5.3.4). Rosaceae are well-represented in all the deposits together with many heliophytes (*Genista*, *Cytisus/Ulex* type, *Cistus* and *Helianthemum*) and elements with Mediterranean affinity like evergreen *Quercus*, *Juniperus*, *Pistacia*, *Rhamnus*, *Phillyrea* and *Olea*.

Pollen grains attributed to a montane broadleaved component are traced by the sporadic presence of *Betula* and *Fagus*. *Pinus sylvestris/nigra* type probably is not locally present or at least does not form dense stands, while *Pinus pinaster/halepensis* type is

practically absent from the fossil record (Figure 5.3.4).

Herbs, reaching >30% in some levels, are well-constrained to the local environment. Poaceae and Labiatae, presumably related to calcareous soils, are continuously present similarly to many cosmopolitan taxa like Cichorioideae, Chenopodiaceae and Fabaceae that are commonly linked to open habitats and environments with active geomorphic processes (Ricci et al., 2014). As there is no evidence of agricultural practices in the nearby areas, this assemblage is better explained by natural disturbances than by the spread of nitrophilous elements and weeds.

Hygrophytes, comprising Cyperaceae, Juncaceae, *Typha latifolia* type, *Typha/Sparganium* type, *Thalictrum/Alisma* type, and *Pedicularis* together with many hydrophytes like *Myriophyllum alterniflorum* type, *Potamogeton*, *Nymphaea*, *Nuphar*, *Callitriche*, and *Lemna* are an important component of the vegetation, linked to the type of deposit and the specific geomorphological setting. The high values of Pteridophytes (monolete and trilete fern spores, *Polypodium* and *Equisetum*), sometimes >30%, are also related to local humid conditions (Figure 5.3.4). The good pollen preservation, together with the noticeable values of aquatic taxa and ferns, highlights the establishment of a stable environment favorable to palynomorph preservation. This fact is consistent with the sedimentological features, which point to the development of ponds and

5.3. Queiles and Val tufa sequences

barrage tufa systems in both Queiles and Val river valleys (Figure 5.3.3).

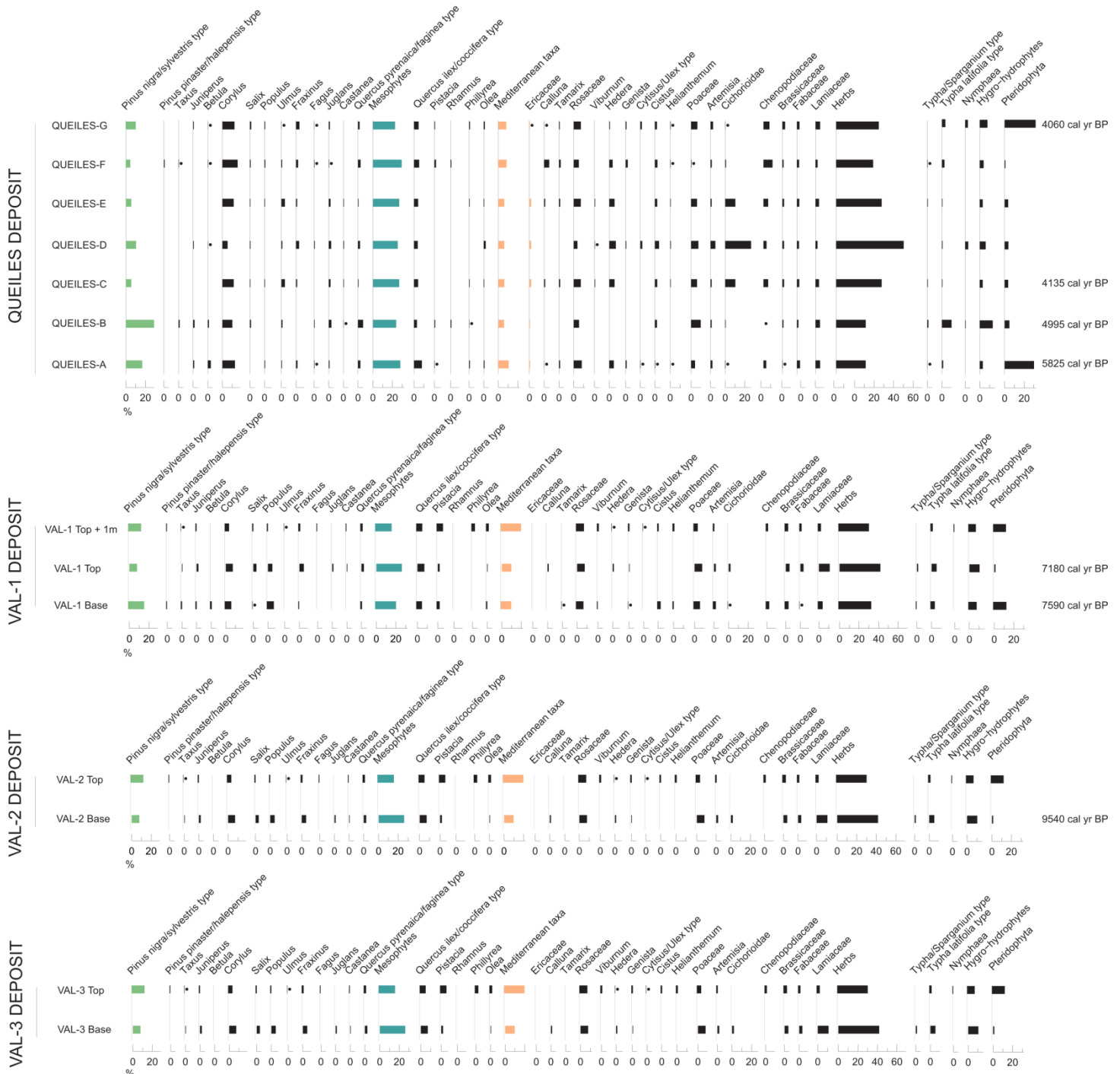


Figure 5.3.4. Palynological results from Queiles tufa and the different Val tufa build-ups. Radiocarbon data have also been included in order to show the beginning of tufa accumulation.

Anthracological results

The charcoal assemblage obtained from Queiles and Val tufa deposits reflects the local woody flora composition during the Early-Mid Holocene. All the charcoal fragments probably appear related to natural wildfires, since no archaeological settlements or shelters are known in the surrounding of the deposits and some AMS-dated levels preceded the onset of the Neolithic in the region (Table 5.3.1). Overall, 272 charcoals have been analyzed, reporting 16 diverse taxa (Tables 2 and 3). The number of charcoal fragments varied among tufa sites and levels, being Queiles better constrained (n= 239) than the Val deposits (n= 33). As in the pollen results, there are no major changes between sites and the charcoal assemblages are quite similar within the 9.540 and 4.060 cal BP time-interval, although some particular taxa are found in specific levels.

Quercus deciduous and *Corylus avellana*, coupling with the palynological results (Figure 5.3.4), are the most common broadleaved taxa together with *Quercus/Castanea*, cf. *Ulmus*, *Acer* and *Salix/Populus*, characterizing a dense and diverse riparian woodland during the Early-Mid Holocene in the Queiles and Val riverbanks (Tables 5.3.2 and 5.3.3). The accurately identified piece of charcoal of *Castanea sativa* was AMS-dated, throwing 4.135 cal BP (Table 5.3.1).

Among conifers, *Pinus sylvestris/nigra* type appears continuously in all the studied deposits, becoming the most abundant taxon. *Taxus*

baccata is also recorded in Queiles-G, C and A samples, chronologically occurring at 4.495, 4.135 and 4.060 cal BP (Table 5.3.2). *Juniperus* is sporadically recovered.

Elements with Mediterranean affinity, like evergreen *Quercus*, *Pistacia*, and Rosaceae Maloideae are also found in some layers, although their presence is considerably low in comparison with the mesophytes or the conifer spectra.

5.3. Queiles and Val tufa sequences

Taxa/ ¹⁴ C date	QUEILES DEPOSIT						
	QUEILES-A 5825 cal BP	QUEILES-B 4995 cal BP	QUEILES-C 4135 cal BP	QUEILES-D	QUEILES-E	QUEILES-F	QUEILES-G 4060 cal BP
<i>Acer</i> sp.	1						
<i>Castanea sativa</i>			1				
cf. <i>Corylus avellana</i>	6		1				1
cf. <i>Ulmus</i>			2				
<i>Juniperus</i> sp.	2	2				1	
<i>Pinus nigra/sylvestris</i> type	51	19	27			1	12
<i>Pistacia</i> sp.	2		1				
<i>Quercus</i> sp.							5
<i>Quercus/Castanea</i>			23				
<i>Quercus</i> deciduous	1	9	28	1			5
<i>Quercus</i> evergreen		1					
Rosaceae Maloideae	1						
<i>Salix/Populus</i>		2					
<i>Taxus baccata</i>		1	23				2
Indeterminable		3			1		
n=	64	37	109	1	1	2	25

Table 5.3.2. Anthracological results from Queiles tufa building.

5.3. Queiles and Val tufa sequences

	VAL DEPOSITS						
	VAL-1 Top	VAL-1 Base	VAL-2 Top +4m	VAL-2 Top 6 cm	VAL-2 Base	VAL-3 Top 40 cm	VAL-3 Base
Taxa/ ¹⁴ C date	7180 cal BP	7590 cal BP				9540 cal BP	
Conifer indetermina		5					
<i>Juniperus</i> sp.		2					
<i>Pinus nigra/sylvestris</i> type	4				11		
<i>Quercus/Castanea</i>		2					
<i>Quercus</i> deciduous	2	3					
Rosaceae Maloideae			1				
Indetermina				1		1	1
n=	6	12	1	1	11	1	1

Table 5.3.3. Anthracological results from the different Val tufa buildings.

Discussion

Early-Mid Holocene vegetation history of the Queiles and Val tufa systems and its regional significance

The detailed pollen analyses applied to fluvial tufa deposits coupled with anthracological data allow reconstructing both local and regional vegetation traits that inhabited varied environments and inferring background climate and hydrological constrains.

From ca. 9.540 to 4.060 cal BP, the local vegetation landscape in both the Queiles and Val tufa build-up was characterized by a well-developed riparian forest around a pond system associated with fluvial streams (Figure 5.3.4) (Table 5.3.1). The diversity of the riverside taxa was defined by remarkable frequencies of deciduous *Quercus* and *Corylus* accompanied by *Fraxinus*, *Juglans*, *Ulmus*, *Salix*, *Populus* and *Hedera*, a common assemblage recorded nowadays in the Queiles and Val riverbanks. The assemblage was complemented by the anthracological results, denoting the local presence of *Acer* and *Castanea sativa*, not recorded in high amounts in the palynological results. *Taxus baccata* has been abundantly recorded in the charcoal assemblage (Table 5.3.2), but sporadically preserved in the pollen spectra (Figure 5.3.4). This fact confirms the low traceability of *Taxus* in the palynological sequence, linked to the reduced content of sporopollenin of the pollen exine, becoming recurrently vulnerable to oxidation processes

(Havinga, 1967; Mitchell, 1990). Up to now there is no *Taxus* report in the anthracological literature for the Iberian Range, the pollen diagrams only reveal scattered presences (Peñalba, 1994; Sánchez Goñi and Hannon, 1999) and is lacking from sequences confined to the southern Iberian Range (e.g., Ojos del Tamedal, Stevenson, 2000; Villarquemado palaeolake, Aranbarri et al., 2014). The recently published paper by Uzquiano et al. (2015), dealing with the palaeobiogeography of *Taxus baccata* in Iberia, supports that yew populations reached a wider distribution in northeastern Spain between 8.000-4.000 cal BP, synchronously to the maximum spread of broadleaved communities. After that, populations declined, presumably as a consequence of increased drier conditions that favored the establishment of sclerophyllous woodland. Both pollen and charcoal results from the Queiles and Val profiles reveal yew presence during the Mid Holocene in a region where this taxon is not abundantly recorded at present.

Semi-deciduous and evergreen oaks along with numerous thermophilous trees and shrubs characterized the main vegetation landscape of the meso-mediterranean belt at the Moncayo Massif during the Early-Mid Holocene (Figure 5.3.4). According to charcoal data, *Quercus* evergreen was not relevant at a local-scale; but the moderate values recorded in the pollen data (ca. 15%) reflect the regional pollen signal rather

than local biases. During the same period, pollen sequences located at a similar altitude in intra-mountain valleys (e.g. Villarquemado palaeolake, Aranbarri et al., 2014) and Iberian Range borderlands (e.g. Navarrés, Carrión and van Geel, 1999; Les Alcusses; Tallón-Armada et al., 2014) exhibit the spread of Mediterranean communities dominated by evergreen oaks and many warm-loving taxa (Figure 4.3.5). In fact, remarkable presences of *Olea*, *Phillyrea* and *Cistus*, as well as shrubs like *Buxus*, *Rhamnus* and *Juniperus* have been detected in our results, pointing that some favorable warm enclaves were hosted in the lower belts of the Moncayo Massif during the Early-Mid Holocene in agreement with regional data. The continuous presence of *Pistacia* pollen (Figure 5.3.4), also traced in the anthracological results (Table 5.3.2), suggests that relatively mild winters and moister summers were common during the Mid Holocene in the region, contrarily to nowadays. Charcoal fragments of both *Pistacia lentiscus* and *P. terebinthus* were continuously reported in the nearby Cabezo de la Cruz settlement (Huerva River valley, central Ebro Depression) during the Bronze and Iron Ages (ca. 2.750-2.500 cal BP, Badal et al., 2013). Although the charcoal preservation in our samples does not allow distinguishing *Pistacia lentiscus* from *P. terebinthus*, modern vegetation surveys revealed both species growing in the Ebro Valley at different altitudes (from 70 to 800 m a.s.l. for *P. lentiscus* and from 400 to 1.200 m a.s.l. for *P. terebinthus*: <http://floragon.ipe.csic.es/index.php>), even spreading northwards and reaching the

calcareous coastal sectors of the Basque Country (Loidi et al., 1994). The isolated communities of *P. lentiscus* found in the nearby, favorable thermophilous shelters of the Bardenas Reales of Navarra Natural Park are a clear evidence of a broader distribution of the species during the warmer Holocene stages (e.g. Puy Aguila I, Iriarte, 2001) and of its successive contraction to favorable micro-enclaves during the late Holocene. By contrast, the reduced abundance of *Pinus pinaster/halepensis* type in our pollen profiles, suggest that, differently from nowadays in were the Aleppo pine reforestation has been recently extended (Figure 5.3.2), was absent locally during the Early-Mid Holocene and probably confined to the lower areas of the central Ebro Basin, as shown by palaeobotanical data (Alcolea, in press and examples therein) similar to its current distribution (<http://floragon.ipe.csic.es/index.php>, 80-800 m a.s.l.).

The relatively low frequencies of *Pinus* pollen represented in our palynological spectra points to both nearby small patches and a regional presence of montane pinewoods, which together with birch communities would occupied the high-altitudes of the Moncayo Range (Figure 5.3.4) similar to the current supra-mediterranean levels (Figure 5.3.2). Previous pollen profiles obtained in the Iberian Range from sequences located up to 1.600 m a.s.l. namely Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994), Las Pardillas (Sánchez Goñi and Hannon, 1999), Laguna Grande (Ruiz-Zapata et al., 2002), Laguna del Hornillo (Ruiz-

Zapata et al., 2015), as well as Orihuela del Tremedal (Stevenson, 2000), recorded pine values up to 60% (Figure 5.3.5), suggesting that montane pine communities were close to coring sites. This was especially evident in the case of Las Pardillas where *Pinus* stomas were traced in the fossil record (Figure 3.4.5) demonstrating its local presence (Sánchez Goñi and Hannon, 1999). According to the modern pollen surveys performed in the northern Iberian Range (Sánchez Goñi and Hannon, 1999), the highest *Pinus* frequencies (ca. 60-80%) are recorded at 1.700-2.000 m a.s.l., whereas in the lower elevations (800-1.200 m a.s.l.) pine values do not reach <40%, being limited by the typical pollen signature of the montane broadleaved communities (*Corylus*, deciduous *Quercus*, *Fagus*). The moister and warmer climate conditions established for the Mid Holocene in continental Mediterranean Iberia (Morellón et al. 2009; Aranbarri et al., 2014) may have promoted the spread of pinewoods in altitude (Figure 3.4.5), between 8.000 and 4.000 cal BP. Nevertheless, more samples retrieved from successions at higher elevations are needed in order to infer treeline oscillations.

Similarly, scattered *Fagus* pollen grains found in the Val tufa building (Figure 5.3.4) in a sample dated at 7.590 cal BP are in agreement with regional data that place first evidences ca. 8.200 cal BP in Las Pardillas (Sánchez Goñi and Hannon, 1999) or at ca. 8.600 cal BP in Hoyos de Iregua (Gil-García et al., 2002). However, *Fagus* showed sporadic occurrences since ca. 20.000 cal BP in Laguna Grande (Ruiz-Zapata

et al., 2002), even expanding during the Lateglacial, and thus, suggesting the potential of the Iberian Range as a phytodiversity reservoir (Magri et al., 2006; López-Merino et al., 2008; González-Sampériz et al., 2010).

5.3. Queiles and Val tufa sequences

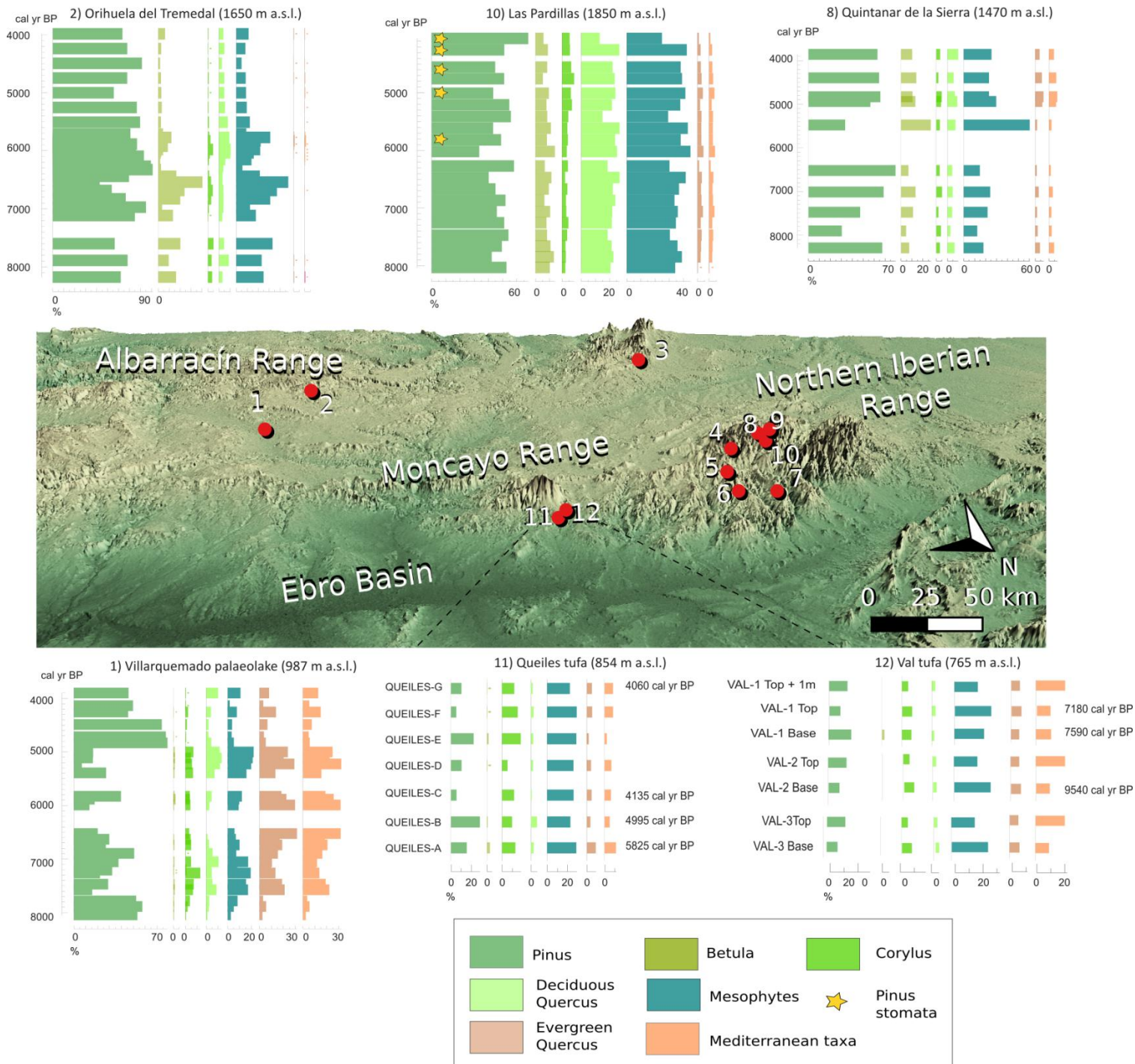


Figure 5.3.5. Vegetation trends shown by Mid Holocene pollen sequences located in the supra- and meso-mediterranean belts of the Iberian Range. The records cited in the Figure 5.3.6 have been also included and follow; 1) Villarquemado palaeolake (Aranbarri et al., 2014); 2) Orihuela del Tremedal (Stevenson, 2000); 3) Somolinos tufa lake (Currás et al., 2012); 4) Laguna del Hornillo (Ruiz-Zapata et al., 2015); 5) Hoyos de Iregua (Gil-García et al., 2002); 6) Laguna Nava (Gil-García et al., 1996); 7) Trampal de Nieva (Gil-García and Ruiz-Zapata, 2004); 8) Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994); 9) Laguna Grande (Ruiz-Zapata et al., 2002); 10) Las Pardillas (Sánchez Goñi and Hannon, 1999); 11) Queiles tufa (present study) and 12) Val tufa deposits (present study).

The general humid and warm conditions inferred by the pollen profiles from both Queiles and Val tufa build-ups between ca. 9.500-4.000 cal BP were also defined at a broader-scale by many sedimentological, geochemical and geomorphological proxies allowing to perform interesting palaeohydrological correlations for the inner Iberian Mediterranean realm. The tufa deposition in the Val tufa build-up started at 9.540 cal BP and continued until ca. 4.060 in Queiles deposit (Figure 5.3.3) (Table 5.3.1), corresponding regionally to the maximum accumulation of the Holocene tufa systems in the Iberian Range (Sancho et al., 2015). This was particularly well-recorded during the Early to Mid Holocene, when tufa build-ups occurred in the nearby Añamaza Valley (Arenas et al., 2014), Guadalaviar River (Sancho et al., 1997), Mijares River (Peña et al., 2000) or in Trabaque Canyon (Domínguez-Villar et al., 2012). In the Upper Ebro Depression, the tufa growing stages in Purón and Molinar rivers began at 9.275 and 7.860 cal BP respectively, and continued until ca. 4.000 cal BP, synchronous to the regional establishment of mixed broadleaved woodland (González-Amuchastegui and Serrano, 2015). Moist conditions and higher water availability resulting in the highest Holocene lake-levels were also inferred from nearby lacustrine records like, Estanya Lake (Morellón, et al., 2009), Marcelino palaeolake (Pellicer, et al., 2016) or Conquezueta basin (Aranbarri et al., 2015). The geochemical signatures obtained from the sediments of both lakes reflected a massive carbonate deposition, likely due to increased temperature between 7.500 and 5.000

cal BP. In the Bardenas Reales Natural Park, a humid phase at ca. 4.790 cal BP inferred by the occurrence of aquatic and marsh gastropod assemblages in alluvial records (Sancho et al., 2008; Murelaga et al., 2012) matches the rise in hygrophilous trees (*Alnus*, *Corylus*) and ferns (e.g. Puy Aguilar I settlement, Iriarte, 2009) nowadays absent in the region.

Definitively, the vegetation reconstruction and the hydrological features defined in both Queiles and Val fluvial tufa systems (Figure 5.3.3) are well-encompassed in the climate background of the inner Mediterranean Iberia. The lagged onset of humid conditions in the continental setting comparing to northern areas, were presumably the consequence of the divergence of the Atlantic fronts (Benito et al., 2003), coupled with the continental behavior of the study site that is characterized, even at present, by high evapotranspiration rates at both diurnal and annual scales. The lack or decrease of tufa deposits during the Early Holocene in the previously mentioned river valleys is consistent with many well-dated, multiproxy-based records from continental Mediterranean environments (e.g., Villarquemado palaeolake, Aranbarri et al., 2014, lake Estanya, Morellón et al., 2009; González-Sampériz et al., under review or Salines playa lake, Burjachs et al., in press) that show a parkland-like landscape with reduced lake levels until ca. 9.000 cal BP. Similarly, the reduced, almost absence of tufa deposits in the Queiles build-up during the Late Holocene, ca. 4.060 cal BP, (Figure 5.3.3), reflects a clear geomorphic adjustment to the establishment of

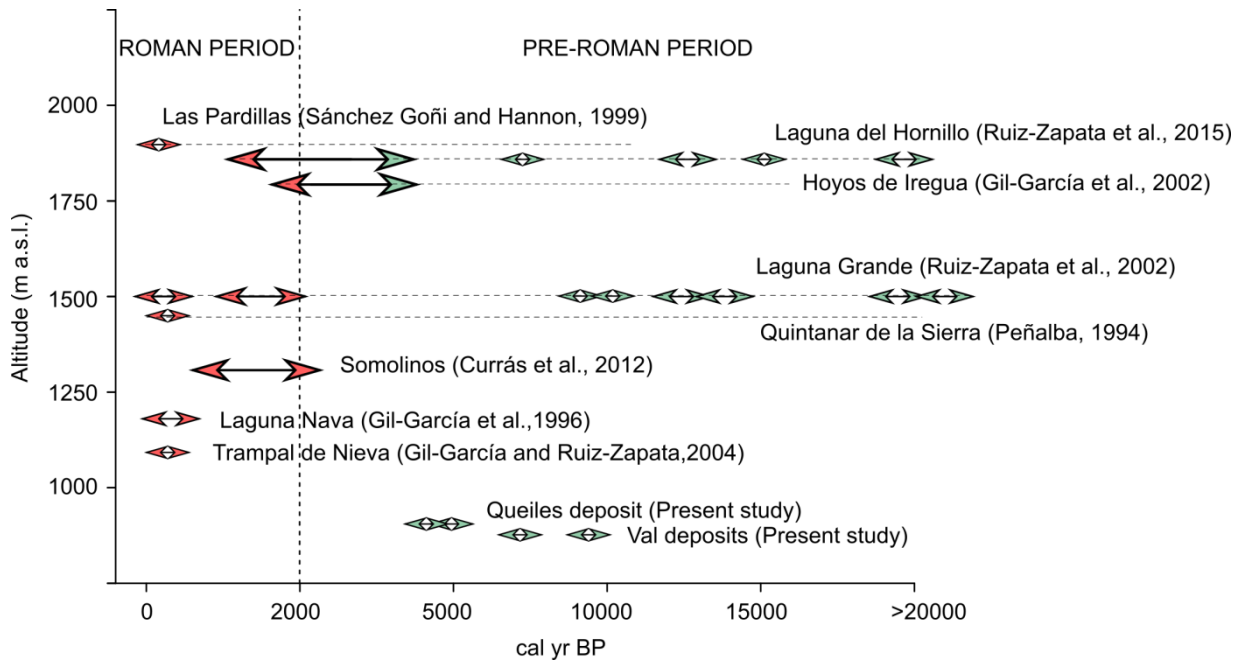


Figure 5.3.6. Presence of *Castanea sativa* pollen during pre- (green) and Roman times (red) in sedimentary records confined to the Iberian Range. The sites location has been displayed in Figure 5.3.5.

drier climate conditions, well-represented during the last 4.000 years at the Iberian-scale (Martín-Puertas et al., 2008; Arenas et al., 2014). The significant reduction of tufa development during the last 2.000 cal BP in the Iberian Range coincides with a decrease in summer insolation as well as lower water availability (Rico-Herrero et al., 2013). Anyway, in some particular settings, human impact on water resources and land use may have also altered adversely both vegetation landscape (Carión et al., 2010) and the tufa accumulation processes, mainly during the Eneolithic, Bronze and Iron Age periods at regional (González-Amuchastegui and Serrano, 2015) but also at European scale (Goudie et al., 1993).

New insights about the pre-Roman presence of *Castanea sativa* in the Iberian Range

The origin of *Castanea sativa* populations in the Iberian Peninsula has aroused controversy, as its presence was mostly related to its introduction during the Roman times (Laguna Lumbreras, 1997). During the 80s, most published works used *Castanea* pollen as criteria to establish the onset of a landscape transformation by changes in the economic production modalities and the consequent spread of arboricultural practices (Törnqvist et al., 1989). Some of these works, however, have poor chronological control. Palaeobotanical works were not even considered as an evidence of a possible autochthony of chestnut in the studied regions (e.g., Sánchez Goñi, 1988). In more recent times, the incorporation of molecular techniques and detailed radiocarbon-based palaeoenvironmental reconstructions

brought new evidences of chestnut distribution across the Mediterranean Basin (Fineschi et al., 2000; Conedera et al., 2004), discussing possible refugia areas and postglacial colonization routes. Nevertheless, the presence of *Castanea sativa* during the Holocene at Iberian-scale has not been accurately mapped and new data have been scarcely reported, especially concerning the macrofossil record.

Using an extensive palynological approach, Krebs et al. (2004) confirmed that *Castanea sativa* populations were confined to the Cantabrian coastal humid sectors during the Last Glacial Maximum. Anthracological data evidenced that chestnut was a significant taxon together with many deciduous trees like *Betula*, deciduous *Quercus*, *Sorbus aria*, and *Corylus avellana* in Cueva del Conde between ca. 42.400 and 36.500 cal BP (Uzquiano et al., 2008), at La Pila at ca. 14.000 cal BP (Uzquiano, 1992, 2014) or Altamira at ca. 19.220 cal BP (Uzquiano, 2014), thus contradicting traditional assumptions that *Castanea sativa* was extinguished during the last glacial cycle (Fineschi et al., 2000) (Table 5.3.4). During the Holocene, pre-Roman macrofossils of *Castanea sativa* were dispersed in the Eurosiberian sector, in many archaeological sites confined to Atlantic coastal humid and warm environments (e.g., Kobeaga II, Iriarte et al., 2007-2008), as well as in mid-altitude elevations, where a mixed broadleaved woodland was widespread, following the implementation of humid climate conditions (e.g. Mendandia, Ruiz-Alonso and Zapata, 2015;

Arenaza, Uzquiano and Zapata, 2000; Galician Bronze and Iron Age archaeological settlements, Figueiral and Bettencourt, 2004; Martín-Sejido et al., 2012, in press) (Table 5.3.4).

In the Iberian Range, and particularly in the Moncayo Natural Park, *Castanea sativa* is not abundant at present, although some tree stands are found in the watersheds of the Queiles and Val rivers, witness of its past. The high amount of *Castanea/Quercus* charcoal fragments in both Queiles and Val tufa build-ups at 7.590 and 4.135 cal BP, together with an unquestionable *Castanea sativa* charcoal fragment radiocarbon dated at 3.770 ± 24 (Table 5.3.3), suggest *Castanea sativa* presence in the Moncayo Massif during, at least, the Mid Holocene as part of a dense and diverse riparian environment. This was also evidenced by means of pollen analysis in both Queiles and Val tufa records where chestnut was already found at 9.540 cal BP (Figures 5.3.4 and 5.3.6), pointing its presence even during the Early Holocene. The siliceous soils that characterize the Moncayo Massif (Fidalgo and Ibarra, 2000) may have favored the presence of acidophilous species like chestnut, such as it has occurred at present to other species (i.e., pedunculated oak *Quercus robur*, Figure 5.3.2).

The impact of the Roman conquest in terms of arboricultural diffusion of “exotic plants” has been widely demonstrated in the central Ebro Depression by means of both pollen (González-Sampériz, 2004) and archaeobotanical data (Alonso, 2005). Commonly, chestnut is traced as

an important cultivar together with many other trees, such as *Laurus nobilis*, *Juglans regia* and *Vitis vinifera* (i.e., in the Roman site of La Cabañeta, near Zaragoza-Caesaraugusta, González-Sampériz, 2004), fitting the typical assemblage of the Roman world in the Mediterranean Basin (Conedera et al., 2004; Mercuri et al., 2013). The onset of the Roman culture in the Moncayo Massif borderlands is well demonstrated by the foundation of the rural *municipium* of *Turiaso* (currently Tarazona, 31-28 B.C, Valverde, 2012-2013) which became a strategic and prosperous enclave under the government of Emperor Augustus (García and Pérez, 2011). However, up to now, there is not any archaeobotanical findings suggesting the local presence of chestnut orchards until the Middle Ages, with scattered frequencies reported in the high-altitudinal sequences (Figure 5.3.6) but never reaching the values acquired in the central Iberian records, where chestnut was one of the most representative arboricultural element (e.g., Lanzahíta sequence, López-Sáez et al., 2010; Peña Negra mire, Abel-Schaad et al., 2012). Then, the scattered presence of *Castanea* pollen in the Iberian Range cannot be exclusively attributed to cultivation. There is no pollen sequence showing an exponential increase in chestnut with respect to the pre-Roman trend. More analyses performed in natural archives like the tufa settings reported in the present paper, are crucial to achieve a better understanding of the naturalness of modern landscapes and to accurately trace the biogeographic traits of key

and still controversial origin taxa like *Castanea sativa*.

Our data suggest that *Castanea sativa* is native to the southern Iberian Range and its presence in the riparian environment, even at present, is the consequence of the combination of edaphic, climatic and biogeographic drivers, discarding its introduction in Roman times. *Castanea* communities could have expanded through the Iberian Range following the onset of moist climate conditions, presumably during the Lateglacial and Early Holocene, as shown by the palynological results recorded in Laguna Grande (Ruiz-Zapata et al., 2002), in Laguna del Hornillo (Ruiz-Zapata et al., 2015) or in the Hoyos de Iregua peat section during the Mid and Late Holocene (Gil-García et al., 2002) (Figure 5.3.6). Another plausible hypothesis may be the long-term persistence of scattered *Castanea sativa* populations in favorable intra-mountainous shelters or fluvial domains, like Queiles and Val riverbanks, where its long-term prevalence was granted in a local, moist and meso-thermal environmental context. In fact, *Castanea* pollen was reported from many deposits spanning the Last Glacial Maximum (e.g., Laguna Grande, Ruiz-Zapata et al., 2002) (Figure 5.3.6) and highlighting, in all cases, its naturalness in the Iberian Range.

5.3. Queiles and Val tufa sequences

Site	Altitude (m a.s.l.)	Radiocarbon date (^{14}C yr BP)	Mean calibrated age (cal BP)	Anthracological assemblage	Reference
Val tufa		6.722 ± 35	7.590	<i>Pinus nigra/sylvestris</i> - <i>Juniperus</i> - <i>Quercus</i> deciduous	Present study
Queiles tufa		3.770 ± 24	4.135	<i>Pinus nigra/sylvestris</i> - <i>Quercus</i> deciduous- <i>Corylus avellana</i> - <i>Taxus baccata</i>	Present study
Silvade**		1.700 ± 30	1.605	<i>Erica cinerea</i> - <i>vagans</i>	García-Amorena et al., 2007
Finca Galea**	65	1.960 ± 100	1.915	<i>Quercus</i> subgen. <i>Quercus</i> Schwarz	García-Amorena et al., 2008
Pintia	775	2.470 ± 30 2.640 ± 30	2.580 2.760	<i>Pinus Pinaster</i> Ait.- <i>Quercus ilex</i> L. type- <i>Quercus faginea</i> Lam. and <i>Q. pyrenaica</i> Wild. type- <i>Juniperus</i> spp.- <i>Pinus</i> gr. <i>sylvestris/nigra</i>	Rubiales et al., 2011; Hernández et al., 2011
Castelo de Matos	890	2.700 ± 90 2.730 ± 70	2.825 2.840	Deciduous <i>Quercus</i> - <i>Corylus avellana</i> - <i>Quercus suber</i> - <i>Pinus sylvestris</i> - <i>Sorbus aucuparia</i>	Figueiral, 1996
St. Julião	297	2.750 ± 60 2.840 ± 80	2.850 2.965	Deciduous <i>Quercus</i> - <i>Corylus avellana</i> - <i>Ilex aquifolium</i> - <i>Acer</i> sp.- <i>Frangula alnus</i>	Figueiral, 1996; Figueiral and Bettencourt, 2004
Pego	220	3.086 ± 43	3.290	<i>Quercus</i> deciduous-Fabaceae-Rosaceae/Maloideae- <i>Corylus avellana</i>	Martín-Seijo et al., in press
Sola		3.338 ± 33 3.450 ± 37	3.575 3.715	<i>Quercus</i> deciduous-Fabaceae- <i>Quercus</i> sp. evergreen- <i>Corylus avellana</i> -Rosaceae/Maloideae	Figueiral and Bettencourt, 2004; Martín-Seijo et al., in press
Arenaza	180	3.580 ± 70 3.835 ± 55	3.880 4.250	<i>Quercus robur/petraea</i> - <i>Q. faginea</i> - <i>Q. ilex</i> - <i>Sorbus aria</i>	Uzquiano and Zapata, 2000
Santimamiñe	137	3.710 ± 40 5.010 ± 40 5.450 ± 50 7.580 ± 50	4.050 5.745 6.250 8.390	<i>Quercus</i> subgen. <i>Quercus</i> - <i>Prunus</i> sp.- <i>Arbutus unedo</i> - <i>Betula</i> sp.- <i>Fraxinus</i> sp.- <i>Alnus</i> sp.	Euba Rementeria, 2011

5.3. Queiles and Val tufa sequences

		10.100 ± 60	11.690		
		10.060 ± 60	11.595		
Lamas de Abade	220	3.980 ± 40 4.090 ± 40	4.460 4.605	<i>Quercus</i> sp. deciduous- <i>Alnus</i> sp.- Rosaceae/Maloideae- <i>Salix</i> sp./ <i>Populus</i> sp.	Martín-Seijo et al., 2012
Bitarados		4.046±42	4.525	<i>Quercus</i> deciduous- <i>Corylus avellana</i> - Rosaceae/Maloideae- <i>Quercus</i> sp. evergreen-Fabaceae	Martín-Seijo et al., 2012
Cova de El Toll		5.220 ± 100 5.490 ± 100 5.800 ± 100	6.000 6.285 6.600	<i>Buxus sempervirens</i> -Deciduous <i>Quercus</i> - <i>Acer</i> - <i>Quercus ilex</i>	Allué et al., 2013
Los Canes	325	5.865 ± 70	6.680	<i>Pinus sylvestris</i> -deciduous <i>Quercus</i> - <i>Q.</i> <i>ilex</i> - <i>Arbutus unedo</i> - <i>Fagus sylvatica</i> - <i>Sorbus aria</i>	Uzquiano, 1992b
Mendandia	720	6.540 ± 70	7.455	<i>Pinus</i> - <i>Fagus</i> - <i>Quercus ilex</i> - <i>Q.</i> subg. <i>Quercus</i> - <i>Acer</i>	Ruiz-Alonso and Zapata, 2015
Kobeaga II	205	6.945 ± 65	7.780	<i>Quercus ilex</i> - <i>Q.</i> subg. <i>Quercus</i> - <i>Corylus</i> <i>avellana</i> - <i>Arbutus unedo</i>	Iriarte et al., 2007-2008
El Espertín	1260	7.790 ± 120	8.610	<i>Pinus sylvestris</i> -deciduous <i>Quercus</i> - <i>Fagus sylvatica</i> - <i>Betula</i>	Uzquiano, 1992b
Peña del Perro	60	9.260 ± 110	10.450	Deciduous <i>Quercus</i> - <i>Sorbus aria</i> - <i>Arbutus unedo</i> - <i>Clematis</i> sp.	Uzquiano, 1992b
Laminak II	90	11.380 ± 140 11.700 ± 140	13.230 13.535	<i>Quercus ilex/suber</i> -deciduous <i>Quercus</i> - <i>Q. pyrenaica</i> - <i>Corylus avellana</i> - <i>Prunus</i> sp.	Uzquiano, 1994
La Pila	25	11.710 ± 120 12.160 ± 130 12.580 ± 190	13.540 14.055 14.810	<i>Juniperus</i> - <i>Betula</i> - <i>Salix</i> -deciduous <i>Quercus</i> - <i>Sorbus aria</i> - <i>Cytisus</i>	Uzquiano, 1992a, 2014
Altamira	75	15.919 ± 230	19.220	<i>Juniperus</i> - <i>Salix</i> - <i>Cytisus</i>	Uzquiano, 2014
Cueva del Conde	180	32.530 ± 440 37.710 ± 470 38.250 ± 390	36.540 42.040 42.385	<i>Pinus sylvestris</i> - <i>Betula</i> - <i>Sorbus aria</i> - <i>Corylus avellana</i>	Uzquiano et al., 2008

5.3. Queiles and Val tufa sequences

		30.380 ± 250	34.370		
Cueva de Covalejos	105	32.840 ± 280	36.885	<i>Betula-Pinus sylvestris-Sorbus aria-</i>	Uzquiano 2005
		41.640 ± 650	45.040	<i>Quercus robur-Corylus avellana-</i>	
				<i>Hippophae rhamnoides</i>	

Table 5.3.4. Radiocarbon dates of Iberian archaeological sites reporting *Castanea sativa* and *Castanea/Quercus* macrofossils prior to the pre-Roman period. Dates were calibrated by means of Calib v.7.02 software (Stuiver and Reimer, 1992) and chronologically ordered to facilitate readability. *Radiocarbon data directly performed on *Castanea sativa* charcoal. ***Castanea sativa* leaf and wood fragments retrieved from natural deposits.

Conclusions

The present study fills a palaeobotanical and palaeoclimatic information gap in middle altitudes of the northern flank of the Iberian Range, where the available vegetation traits were only reconstructed by high-altitudinal pollen profiles or by records confined to the southernmost Mediterranean areas. The location of the Range, strategically-placed between the Eurosiberian climatic region and the Mediterranean continental realm, allows some interesting vegetation, climatic and hydrological features to be recognized:

1) Fluvial tufa accumulation started at ca. 9.540 in the Val River valley and culminated at ca. 4.060 cal BP in the Queiles River valley, a period of humid conditions, as reported on a larger scale by regional lacustrine sequences, pointing climate features as the main driver of these geomorphological formations.

2) Pollen and anthracological studies of tufa build-ups have the potential to complete the palaeoclimatic and palaeobotanical information in those regions where natural deposits like lakes and peat bogs are scarce.

3) Both local and regional information inferred from Val and Queiles tufa deposits have addressed:

- Local vegetation was characterized through pollen and charcoal analyses, suggesting a riparian woodland where deciduous *Quercus* together with *Corylus*

avellana, *Ulmus*, *Castanea*, *Acer*, *Juglans* and *Hedera* were the main arboreal components. Small, nearby patches of conifers and Mediterranean elements cannot be discarded.

- Pinewoods and birch communities probably dominated in high-altitude environments, whereas the meso-Mediterranean belt was defined by a mixed Mediterranean oak woodland with many thermophytes confined to protected areas.

4) *Olea*, *Phillyrea* and *Pistacia* expanded between ca. 9.000 to 7.000 cal BP, as the result of the Early-Mid Holocene thermal optimum in the region.

5) *Taxus baccata* was locally present at least between ca. 5.000 and 4.000 cal BP. The first report of yew in the macrofossil assemblage in the Iberian Range is also highlighted.

6) *Castanea sativa* populations were native to the Moncayo Massif according to both palynological and anthracological data, contrary to the general assumption that they were introduced in the region after the Roman conquest.

In sum, this contribution not only has brought new data related to the palaeoenvironmental features of continental Mediterranean Iberia during the Early and Mid-Holocene, but also has confirmed the potential role of the Iberian Range as a long-term phytodiversity reservoir in the biogeographical history of southern Europe.

References

- Abel-Schaad, D., López-Sáez, J.A., 2012. Vegetation changes in relation to fire history and human activities at the Peña Negra mire (Bejar Range, Iberian Central Mountain System, Spain) during the past 4,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 199–214.
- Alcolea, M., in press. Mesolithic fuel use and woodland in the Middle Ebro Valley (NE Spain) through wood charcoal analysis. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.029
- Ali, A.A., Carcaillet, C., Guendon, J.-L., Quinif, Y., Roiron, P., Terral, J.-F., 2003. The Early Holocene treeline in the southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography* 12, 411–419.
- Allué, E., Burjachs, F., Vernet, J.-L., Morales, J.I., Rodríguez-Hidalgo, A., Cebrià, A., Rosell, J., 2013. Cova del Toll (Moià, Bages): Perspectiva paleoambiental i arqueobotànica del Plistocè i Holocè. *Quadern de Prehistòria Catalana* 21, 21–38.
- Alonso, N., 2005. Agriculture and food from the Roman to the Islamic Period in the North-East of the Iberian peninsula: archaeobotanical studies in the city of Lleida (Catalonia, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 341–361.
- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S., 2014. Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change* 114, 50–65.
- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Iriarte, E., Moreno, A., Rojo-Guerra, M., Peña-Chocarro, L., Valero-Garcés, B., Leunda, M., García-Prieto, E., Sevilla-Callejo, M., Gil-Romera, G., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., 2015. Human–landscape interactions in the Conquezueta–Ambrona Valley (Soria, continental Iberia): From the early Neolithic land use to the origin of the current oak woodland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 436, 41–57.
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcén, C., 2010. Fluvial and associated carbonate deposits. In: Alonso Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Eds.), *Carbonates in continental settings. Facies, environments and processes. Developments In Sedimentology* 61. Elsevier, Amsterdam, p. 133–176.
- Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Sancho, C., 2014. Sedimentology and depositional architecture of tufas deposited in stepped fluvial systems of changing slope: Lessons from the Quaternary Añamaza valley (Iberian Range, Spain). *Sedimentology* 61, 133–171.
- Badal, E., Bernabeu, J., Vernet, J.L., 1994. Vegetation changes and human action from the Neolithic to the Bronze Age (7000–4000 B.P.) in Alicante, Spain, based on charcoal analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 3, 155–166.
- Benito, G., Sopeña, A., Sánchez-Moya, Y., Machado, M.J., Pérez-González, A., 2003. Palaeoflood record of the Tagus River (Central Spain) during the Late

- Pleistocene and Holocene. *Quaternary Science Reviews* 22, 1737-1756.
- Bertini, A., Minissale, A., Ricci, M., 2014. Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: Anything but a "mission impossible". *Sedimentology* 61, 200–220.
- Burjachs, F., Julià, R., 1994. Abrupt Climatic Changes during the Last Glaciation Based on Pollen Analysis of the Abric Romani, Catalonia, Spain. *Quaternary Research* 42, 308–315.
- Burjachs, F., Jones, S.E., Giral, S., Fernández-López de Pablo, J., in press. Lateglacial to Early Holocene recursive aridity events in the SE Mediterranean Iberian Peninsula: The Salines playa lake case study. *Quaternary International* doi:10.1016/j.quaint.2015.10.117
- 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.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458–475.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 161–179.
- Cuadrat, J.M., Saz Sánchez, M.A., Vicente Serrano, S.M., 2008. Atlas climático de Aragón. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Aragón.
- Dabkowski, J., 2014. High potential of calcareous tufas for integrative multidisciplinary studies and prospects for archaeology in Europe. *Journal of Archaeological Science* 52, 72–83.
- Del Valle, J., San Román, J., 1994. Gradiente pluviométrico en el macizo del Moncayo (Zaragoza y Soria). *Geographica* 71–81.
- Di Pasquale, G., Allevato, E., Cocchiararo, A., Moser, D., Pacciarelli, M., Saracino, A., 2014. Late Holocene persistence of *Abies alba* in low-mid altitude deciduous forests of central and southern Italy: new perspectives from charcoal data. *Journal of Vegetation Science* 25, 1299-1310.
- Domínguez-Villar, D., Vázquez-Navarro, J.A., Carrasco, R.M., 2012. Mid-Holocene erosive episodes in tufa deposits from Trabaque Canyon, central Spain, as a result of abrupt arid climate transitions. *Geomorphology* 161, 15–25.
- Euba Rementeria, I., 2012. Explotación de los recursos leñosos y reconstrucción de la vegetación desde el tardioglacial hasta el Holoceno en la cueva de Santimamiñe (Kortezubi, Bizkaia). In *La cueva de Santimamiñe: revisión y actualización (2004-2006)*, 267-280 pp.
- Fidalgo, C., Ibarra, P., 2000. Secuencia de suelos en la vertiente noroccidental del Macizo del Moncayo. Resultados del trabajo de campo. pp. 127-141. En *Homenaje a D. Jesús García Fernández*. Secretaría de Publicaciones de la Universidad de Valladolid.

- Figueiral, I., 1996. Wood resources in north-west Portugal: their availability and use from the late Bronze Age to the Roman period. *Vegetation History and Archaeobotany* 5, 121–129.
- Figueiral, I., Bettencourt, A., 2004. Middle/Late Bronze Age plant communities and their exploitation in the Cavado Basin (northwestern Portugal) as shown by charcoal analysis: the significance and co-occurrence of *Quercus* (deciduous)—Fabaceae. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 219–232.
- Fineschi, S., Turchini, D., Villani, F., Vendramin, G.G., 2000. Chloroplast DNA polymorphism reveals little geographical structure in *Castanea sativa* Mill. (Fagaceae) throughout southern European countries. *Molecular Ecology* 9, 1495–1503.
- Follieri, M., Magri, D., Sadori, L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytologist* 103, 269–273.
- Ford, D., Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41, 117–175.
- García-Amorena, I., Gómez Manzanque, F., Rubiales, J.M., Granja, H.M., Soares de Carvalho, G., Morla, C., 2007. The Late Quaternary coastal forests of western Iberia; a study of their macroremains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 254, 448–461.
- García-Amorena, I., Morla, C., Rubiales, J.M., Gómez Manzanque, F., 2008. Taxonomic composition of the Holocene forests of the northern coast of Spain, as determined from their macroremains. *The Holocene* 18, 819–829.
- García-Amorena, I., Rubiales, J.M., Moreno Amat, E., Iglesias González, R., Gómez-Manzanque, F., 2011. New macrofossil evidence of *Pinus nigra* Arnold on the Northern Iberian Meseta during the Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 163, 281–288.
- García-Antón, M., Sainz-Ollero, H., 1991. Pollen records from the middle Pleistocene Atapuerca site (Burgos, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 85, 199–206.
- García-Gil, A., Sánchez Navarro, J.A., Pérez-García, A., Vázquez-Suñé, E., Mateo Lázaro, J., 2013. Cuantificación del flujo subterráneo en la vertiente suroccidental del Macizo del Moncayo, España. *Geogaceta* 54, 107–110.
- García, J.A., Pérez, J., 2011. El poblamiento rural romano en el área de influencia del Municipium Turiaso. Patrones de asentamiento en torno al río Queiles, término municipal de Novallas. *Turiaso* 20, 55–95.
- Gil-García, M.J., Valiño, M.D., Rodríguez, A.V., Zapata, M.B.R., 2002. Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International* 93–94, 13–18.
- Gil-Imaz, A. and Pocoví, J A., 1994. La esquistosidad alpina del extremo NW de la Cadena Ibérica Oriental (Sierra del Moncayo). Distribución, génesis y significado tectónico. *Revista Geológica de España* 7, 91–113.
- Gómez García, D., Martínez Cabeza, A., Monserrat Recorder, P., Uribe-Echebarria Díaz, P., 2003. El roble (*Quercus robur* L.) y otras plantas boreales en

- el macizo del Moncayo (Soria-Zaragoza). *Collectanea Botanica* 26, 141–158.
- González-Amuchastegui, M.J., Serrano, E., 2015. Tufa buildup, landscape evolution and human impact during the Holocene in the Upper Ebro Basin. *Quaternary International* 364, 54–64.
- González-Sampériz, P., 2004. Evolución paleoambiental del sector central de la cuenca del Ebro durante el Pleistoceno Superior y Holoceno. Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Zaragoza, 210 pp.
- González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., 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.
- González-Sampériz, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427–457.
- Goudie, A.S., Viles, H.A., Pentecost, A., 1993. The late-Holocene tufa decline in Europe. *The Holocene* 3, 181-186.
- Havinga, A.J., 1967. Palynology and pollen preservation. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2, 81-98.
- Hernández, L., Rubiales, J.M., Morales-Molino, C., Romero, F., Sanz, C., Gómez Manzanque, F., 2011. Reconstructing forest history from archaeological data: a case study in the Duero basin assessing the origin of controversial forests and the loss of tree populations of great biogeographical interest. *Forest Ecology and Management* 261, 1178-1187.
- Iriarte, M.J., 2001. Un caso paradigmático de antropización del medio vegetal. El poblado de la Edad del Bronce de Puy Aguilá (Bardenas Reales, Navarra). *Trabajos de Arqueología Navarra* 15: 123–136.
- Iriarte, M.J., Pérez-Díaz, S., Ruiz-Alonso, M., Zapata-Peña, L., 2007/2008. Paleobotánica del Epipaleolítico y Mesolítico vascos. *Veleia* 24-25, 629-642
- Iriarte, M.J., 2009. Vegetation landscape and the anthropization of the environment in the central sector of the Northern Iberian Peninsula: Current status. *Quaternary International* 200, 66–76.
- Krebs, P., Conedera, M., Pradella, M., Torriani, D., Felber, M., Tinner, W., 2004. Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 285–285.
- Kvavadze, E.V., Connor, S.E., 2005. *Zelkova carpinifolia* (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia—an indicator of climatic optima. *Review of Palaeobotany and Palynology* 133, 69–89.
- Loidi, J., Herrera, M., Olano, J.M., Silván, F., 1994. Maquis vegetation in the eastern Cantabrian coastal fringe. *Journal of Vegetation Science* 5, 533-540.
- Longares, L.A., 2004. El paisaje vegetal en el sector aragonés del Moncayo. *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de

Zaragoza e Institución Fernando el Católico 187–197.

López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Ruiz-Zapata, M.B., Gil García, M.J., 2008. Reconstructing the history of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the north-western Iberian Range (Spain): From Late-Glacial refugia to the Holocene anthropic-induced forests. *Review of Palaeobotany and Palynology* 152, 58–65.

López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Carrión, J.S., 2010. Late Holocene ecological history of *Pinus pinaster* forests in the Sierra de Gredos of central Spain. *Plant Ecology* 206, 195–209.

Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., Van Der Knaap, W.O., Petit, R.J., De Beaulieu, J.-L., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171, 199–221.

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Mata, M.P., González-Sampériz, P., Bao, R., Moreno, A., Stefanova, V., 2008. Arid and humid phases in southern Spain during the last 4000 years: the Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene* 18, 907–921.

Martín-Seijo, M., Bettencourt, A.M.S., Abad Vidal, E., Lopez García, J.C., 2012. Fire- wood and timber exploitation during the third and second millennia BC in Northwestern Iberia: wood resources, territories and chaîne opératoire. In: Almeida, A.C., Bettencourt, A.M.S., Moura, D., Monteiro-Rodrigues, S., Alves, M.I.C. (Eds.), *Environmental Changes and Human Interaction along the Western Atlantic Edge*. APEQ,

CITCEM, CEGOT, CGUP, CCT, Coimbra, 115–135 pp.

Martín-Seijo, M., Pedro Tereso, J., Bettencourt, A.M.S., Sampaio, H.A., Abad Vidal, E., Vidal Caeiro, L., in press. Socio-ecology of Early and Middle Bronze Age communities in the northwest Atlantic region of Iberia: Wood resources procurement and forest management. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.08.026.

Martinez del Castillo, E., García-Martin, A., Longares Aladrén, L.A., de Luis, M., 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). *Applied Geography* 62, 247–255.

Martínez-Tudela, A., Robles, F., Santiesteban, C., Grün, R. y Hentzsch, B., 1986. Los travertinos del Río Matarraña, Beceite (Teruel), como indicadores paleoclimáticos del Cuaternario. In: *Quaternary Climate in Western Mediterranean* (F. López Vera, Ed.). Universidad Autónoma de Madrid, 307–324 pp.

Menéndez Amor, J., 1970. Estudio paleobotánico de algunos travertinos españoles. *Estudios Geológicos* 26, 25–28.

Mercuri, A.M., Bandini Mazzanti, M., Florenzano, A., Montecchi, M.C., Rattighieri, E., 2013. *Olea*, *Juglans* and *Castanea*: The OJC group as pollen evidence of the development of human-induced environments in the Italian peninsula. *Quaternary International* 303, 24–42.

Mitchell, F.J.G., 1990. The history and vegetation dynamics of a yew wood (*Taxus baccata* L.) in S.W. Ireland. *New Phytologist* 115, 573–577.

- Moore, P., Webb, J.A., Collinson, A., 1991. *Pollen Analysis*. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 28, 2582–2599.
- Murelaga, X., Ortega, L.A., Sancho, C., Muñoz, A., Osácar, C., Larraz, M., 2012. Succession and stable isotope composition of gastropods in Holocene semi-arid alluvial sequences (Bardenas Reales, Ebro Basin, NE Spain): Palaeoenvironmental implications. *The Holocene* 22, 1047–1060.
- Murton, J.B., Baker, A., Bowen, D.Q., Caseldine, C.J., Coope, G.R., Carrant, A., Evans, J.G., Field, M.H., Greene, C.P., Hatton, J., Ito, M., Jones, R.L., Keen, D.H., Kerney, M.P., McEwan, R., McGregor, D.F.M., Parish, D., Schreve, D.C., Smart, P.L., 2001. A late Middle Pleistocene interglacial-periglacial-interglacial sequence (oxygen isotope stages 7 to 5e) near Marsworth, Buckinghamshire, UK. *Quaternary Science Reviews* 20, 1787–1825.
- Ollivier, V., Nahapetyan, S., Roiron, P., Gabrielyan, I., Gasparyan, B., Chataigner, C., Joannin, S., Cornée, J.-J., Guillou, H., Scaillet, S., Munch, P., Krijgsman, W., 2010. Quaternary volcano-lacustrine patterns and palaeobotanical data in southern Armenia. *Quaternary International* 223–224, 312–326.
- Pedley, H.M., 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology* 68, 143–154.
- Pellicer, X.M., Corella, J.P., Gutiérrez, F., Roqué, C., Linares, R., Carbonel, D., Zarroca, M., Guerrero, J., Comas, X., 2016. Sedimentological and palaeohydrological characterization of Late Pleistocene and Holocene tufa mound palaeolakes using trenching methods in the Spanish Pyrenees. *Sedimentology*. doi: 10.1111/sed.12290
- Peña, J.L., Sancho, C., Lozano, M.V., 2000. Climatic and tectonic significance of Late Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian Range, northeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 1403–1417.
- Peñalba, M.C., 1994. The History of the Holocene Vegetation in Northern Spain from Pollen Analysis. *Journal of Ecology* 82, 815–832.
- Pentecost, A., 2005. *Travertine*. Springer, Berlin. 445 pp.
- Reimer, P., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J., Blackwell, P., Bronk Ramsey, C., Grootes, P., Guilderson, T., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatt, Z.C., Heaton, T., Hoffmann, D., Hogg, A., Hughen, K., Kaiser, K., Kromer, B., Manning, S., Niu, M., Reimer, R., Richards, D., Scott, E., Southon, J., Staff, R., Turney, C., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55.
- Ricci, M., Bertini, A., Capezzuoli, E., Horvatinčić, N., Andrews, J.E., Fauquette, S., Fedi, M., 2015. Palynological investigation of a Late Quaternary calcareous tufa and travertine deposit: the case study of Bagnoli in the Valdelsa Basin (Tuscany, central Italy). *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 184–197.

- Rico-Herrero, M., Sancho-Marcén, C., Arenas-Abad, M.C., Vázquez-Urbez, M. y Valero-Garcés, B.L. (2013). El sistema de barreras tobáceas holocenas de Las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39, 141-158.
- Roiron, P., Ali, A.A., Guendon, J.-L., Carcaillet, C., Terral, J.-F., 2004. Preuve de l'indigénat de *Populus alba* L. dans le Bassin méditerranéen occidental. *Comptes Rendus Biologies* 327, 125–132.
- Roiron, P., Chabal, L., Figueiral, I., Terral, J.-F., Ali, A.A., 2013. Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: A review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 194, 1–11.
- Rosati, L., Masi, A., Giardini, M., Marignani, M., 2015. Under the shadow of a big plane tree: why *Platanus orientalis* should be considered an archaeophyte in Italy. *Plant Biosystems* 149, 185-194.
- Rubiales, J.M., Hernández, L., Romero, F., Sanz, C., 2011. The use of forest resources in central Iberia during the Late Iron Age. Insights from the wood charcoal analysis of Pintia, a Vaccaean oppidum. *Journal of Archaeological Science* 38, 1-10.
- Ruiz-Alonso, M., Zapata, L., 2015. Transformation and human use of forests in the Western Pyrenees during the Holocene based on archaeological wood charcoal. *Quaternary International* 364, 86–93.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil García, M.J., Dorado Valiño, M., Valdeolmillos Rodríguez, A., Vegas, J., Pérez-González, A., 2002. Clima y vegetación durante el pleistoceno superior y el holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico noroccidental). *Cuaternario y Geomorfología* 16, 9–20.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Vegas, J., Pérez-González, A., 2015. Registro polínico y eventos climáticos de los últimos 30.000 años en la Laguna del Hornillo – LHN (Sierra de Urbión, Sistema Ibérico, España). XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada 2015.
- Sánchez Goñi, M.F., Hannon, G.E., 1999. High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene 9, 39–57.
- Sancho, C., Peña, J.L., Melendez, A., 1997. Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie* 41, 289–308.
- Sancho, C., Peña, J.L., Muñoz, A., Benito, G., McDonald, E., Rhodes, E.J., Longares, L.A., 2008. Holocene alluvial morphosedimentary record and environmental changes in the Bardenas Reales Natural Park (NE Spain). *Catena* 73, 225–238.
- Sancho, C., Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Lozano, M.V., Peña-Monné, J.L., Hellstrom, J., Ortiz, J.E., Osácar, M.C., Auqué, L., Torres, T., 2015. Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500 ka. *Quaternary Research* 84, 398–414.
- Schulte, L., Julià, R., Burjachs, F., Hilgers, A., 2008. Middle Pleistocene to Holocene geochronology of the River Aguas terrace sequence (Iberian Peninsula): Fluvial response to Mediterranean environmental change. *Geomorphology* 98, 13–33.
- Schweingruber, F.H., 1990. *Anatomy of European Woods*. Haupt, Bern, Stuttgart.

- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene forest history of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603–610.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., 1993. Extended (super 14) C data base and revised CALIB 3.0 (super 14) C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215–230.
- Tallón-Armada, R., Costa-Casais, M., Schellekens, J., Taboada Rodríguez, T., Vives-Ferrández Sánchez, J., Ferrer García, C., Abel Schaad, D., López-Sáez, J.A., Carrión Marco, Y., Martínez Cortizas, A., 2014. Holocene environmental change in Eastern Spain reconstructed through the multiproxy study of a pedo-sedimentary sequence from Les Alcusses (Valencia, Spain). *Journal of Archaeological Science* 47, 22–38.
- Taylor, D.M., Pedley, H.M., Davies, P., Wright, M.W., 1998. Pollen and mollusc records for environmental change in central Spain during the mid- and late Holocene. *The Holocene* 8, 605–612.
- Törnqvist, T.E., Janssen, C.R., Pérez-Alberti, A., 1989. Degradación antropogénica de la vegetación en el Noroeste de Galicia durante los últimos 2 500 años. *Cuadernos de Estudios Gallegos* 37 103, 175–198.
- Uzquiano, P., 1992. The Late Glacial/Postglacial Transition in the Cantabrian Cordillera (Asturias and Cantabria, Spain) Based on Charcoal Analysis. *Palaos* 7, 540–547.
- Uzquiano, P., 2014. Wood resource exploitation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS 2 vegetation dynamics. *Quaternary International* 337, 154–162.
- Uzquiano, P., Zapata, L., 2000. Vegetación y subsistencia durante la Edad del Bronce en el Cantábrico oriental: la cueva de Arenaza (S. Pedro de Galdames, Bizkaia), In: *Actas Do 3º Congreso de Arqueología Peninsular*. pp. 51–68.
- Uzquiano, P., Senosiáin, M.A., Arsuaga, J.L., Iriarte, E., Andan, G., Artano, A.A., 2008. Datos paleoflorísticos en la cuenca media del Nalón entre 40-32 Ka. BP: antracoanálisis de la Cueva del Conde (Santo Andriano, Asturias). *Cuaternario y Geomorfología* 22, 121–133.
- Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornel, L., Piqué, R., Zapata, L., 2014. All about yew: on the trail of *Taxus baccata* in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. *Vegetation History Archaeobotany* 24, 229–247.
- Valverde, L.A., 2012-2013. La primera emisión latina de Turiaso. *Tvriaso* 21, 93-101.
- Vermoere, M., Degryse, P., Vanhecke, L., Muchez, P., Paulissen, E., Smets, E., Waelkens, M., 1999. Pollen analysis of two travertine sections in Basköy (southwestern Turkey): implications for environmental conditions during the early Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology* 105, 93–110.

5.4 Results

The distribution of *Corylus avellana* L. in the Iberian Peninsula since the Last Glacial Maximum: a palaeobotanical approach

Journal of Biogeography. (In Preparation).

Abstract

The role of *Corylus avellana* L. as key species in the Quaternary palaeoecology has been widely reported at pan-European scale. In the Iberia Peninsula, its distribution is mainly confined to the Eurosiberian region with marginal populations located in the Central and Iberian Range. Although its presence is common in pollen sequences, especially during the Early Holocene, factors controlling hazelnut range shift have not been explored yet. Interpreted in the light of its ecological features, our aim is to draw the past distribution of *C. avellana* since the Last Glacial Maximum (LGM) at Iberian-scale. An extensive presence/absence database has been set up from the available published literature (157 pollen and 36 macrofossil sites) from Iberian sites and plotted in different time-windows (LGM, Lateglacial, Early Holocene, Mid Holocene and Late Holocene). Results reveal that the modern distribution of *C. avellana* in Iberia appears to be the consequence of a combination of factors, including both ecological responses to climate changes and distance to glacial refugia. Palaeobotanical data show that *C. avellana* was already placed in the Cantabrian coasts and in south-eastern Iberia during the LGM. Tree populations could have persisted in the littoral areas where a lower thermal gradient prevailed, although we lack of continuous and chronologically well-constrained pollen data difficult to validate this hypothesis. The exponential *C. avellana* expansion observed in Atlantic, but also in continental Iberian sequence during the Mid Holocene has been related to the onset of humid climate but

mainly associated to the decrease in continentality. *C. avellana* spread towards previously non-colonized environments where humid and warmer climate allowed its expansion. The similarities between both, Mid Holocene, especially in the Eurosiberian region, and present hazelnut distribution reflect niche stability through time and highlights, despite traditional considerations, the insignificant role of human-pressure shaping the current distribution, being mainly driven by climate factors.

Key words: *Corylus avellana*, Biogeography, Glacial refugia, expansion range, Palynology, Anthracology

Introduction

The past distribution of key tree and shrub taxa at a European-scale has increased noticeably during the last decades as consequence of the accumulated data production effort carried out by many palaeoecological research groups. The number of chronologically well-constrained available pollen and macrofossil data have allowed defining not only the location of both deciduous and evergreen species during the Last Glacial Maximum (LGM), but also characterizing the pattern of postglacial recolonization of central and northern European regions (Brewer et al., 2002; Magri, 2008; Douša et al., 2014). Traditional biogeographical literature places the population refuge areas in the Mediterranean coastal peninsulas (Bennett et al., 1991; Carrión et al., 2008) where warmer climate conditions prevailed during harsh environmental stages (Fletcher and Sánchez-Goñi, 2008; Combourieu-Nebout et al., 2009). However, the ongoing research has postulated the northern Cantabrian littoral environments as possible shelters for meso-thermophilous flora (de Lafontaine et al., 2014; Uzquiano, 2014) that could have acted as buffer zones during the postglacial range expansion (Ramil-Rego et al., 1998; Petit et al., 2002; Magri et al., 2006).

One of the mostly investigated species at the European-scale is the hazelnut (*Corylus avellana* L.), a common genus found in the fossil record since the Eocene (Chen et al., 1999). The pan-European distribution of *C. avellana* and its ecological requirements were reported in detail by Tallantire, (2002) concluding that the

timing of the hazel spread was broadly in conformity with the climatic zones within Europe except for the peripheral latitudes where the decreasing length of the vegetative season and lower annual mean temperatures resulted in a delayed, time-transgressive response of postglacial recolonization. Links between recurrent fire activity and spread of hazelnut were also considered as possible driver to explain the contemporaneous populations rise in the Italian Alps during the first millennia of the Holocene (Finsinger et al., 2006), also confirmed by recent results in the Pyrenees (Gil-Romera et al., 2014). Recently, Magri et al. (2015) based on an extensive database traced the Holocene history of *C. avellana* in peninsular Italy, with the maximum spread of populations occurring ca. 9.000 cal BP, followed by a remarkable north-south clustering after 4.000 cal BP onwards. Similarly, Seppä et al. (2015), have provided an excellent example of how *C. avellana* can be used as direct climate-biased to track the establishment of mild and humid climate constrains in the boreal latitudes of the Northern Hemisphere.

Although some pioneer considerations were proposed by Peñalba, (1994) regarding the migration pattern of *C. avellana* in the Iberian Peninsula during the onset of the Holocene, more-accurate and chronologically well-constrained pollen profiles have been widely published, quoting and alternative, climate-biased refugium and expansion range hypotheses. The palaeoclimatic reconstructions

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

carried out by integrated, multiproxy-based studies have recently highlighted a marked divergence during the onset of humid climate regime in Iberia, which could have explained the lagged range expansion of mesophilous flora across the continental setting (Carrión et al., 2010; Aranbarri et al., 2014). In this sense, some traditional hypothesis should be reformulated and peninsular-scale specific plant trait more-accurately developed, always combining different palaeobotanic and palaeoclimatic proxies.

The main aim of this paper is to understand the past distribution of *C. avellana* in the Iberian Peninsula since the LGM based on a systematic review of pollen and macrofossil data. Interpreted in the light of its ecological features, our specific goals focuses on; 1) disentangle the factors controlling refugia areas and postglacial hazelnut range shift in Iberian Peninsula during the last 22.000 years; 2) discuss the drivers involved in the timing and the divergence between the Eurosiberian and Mediterranean areas in terms of maximum population expansion and; 3) understand the mechanisms explaining the inertial behavior and/or long-term depletion of *C. avellana* during the last 6000 years.

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Ecology and distribution

Corylus L. (Betulaceae), the hazelnut, is a genus with ca. 15-20 species disjunctly distributed in the temperate area of the Northern Hemisphere (Whitcher and Wen, 2001). Three species currently appear in the European continent and the Eastern Mediterranean region; *C. avellana* L., *C. maxima* Mill. and *C. colurna* L. All of them show similar ecological constraints defined by its pioneer behavior, easily adapting to partially disturbed environments when a water supply is not a stressing driver.

The only hazelnut species currently appearing in the Iberian Peninsula is *C. avellana*, whose distribution is confined to the northern moist Provinces bordering the Cantabrian Sea and extending throughout the Pyrenees until the Mediterranean coast of Catalonia (Blanco Castro et al., 1997) (Figure 5.4.1). It also occurs in some humid shelters located in Central and Iberian Ranges, whereas its presence in more-southerly located areas progressively dismisses.

Nevertheless, some hazelnut population, even forming dense stands, are found in the peripheral mountain ranges such as Javalambre, Cazorla or Sierra Nevada, harbored in topographic favorable environments (Blanco Castro et al., 1997).

In the Cantabrian Mountains and in the Pyrenees, hazelnut populations appear in a wide range of ecosystems such as; 1) beech forest communities; 2) mixed broadleaved woodland, together with deciduous trees and shrubs like *Betula pendula*, *Quercus humilis*, *Q. robur*, *Acer campestre*, *Sorbus aria*, *S. aucuparia*, *Prunus padus*, *P. avium*, and *Ribes alpinum* and; 3) as riparian element with *Fraxinus excelsior*, *Alnus glutinosa*, and *Populus tremula* (Blanco Castro et al., 1997). In the Mediterranean biogeographic setting, *C. avellana* is accompanied by many meso-thermophilous elements as *Acer opalus* subsp. *granatense*, *Quercus faginea*, *Fraxinus angustifolia*,

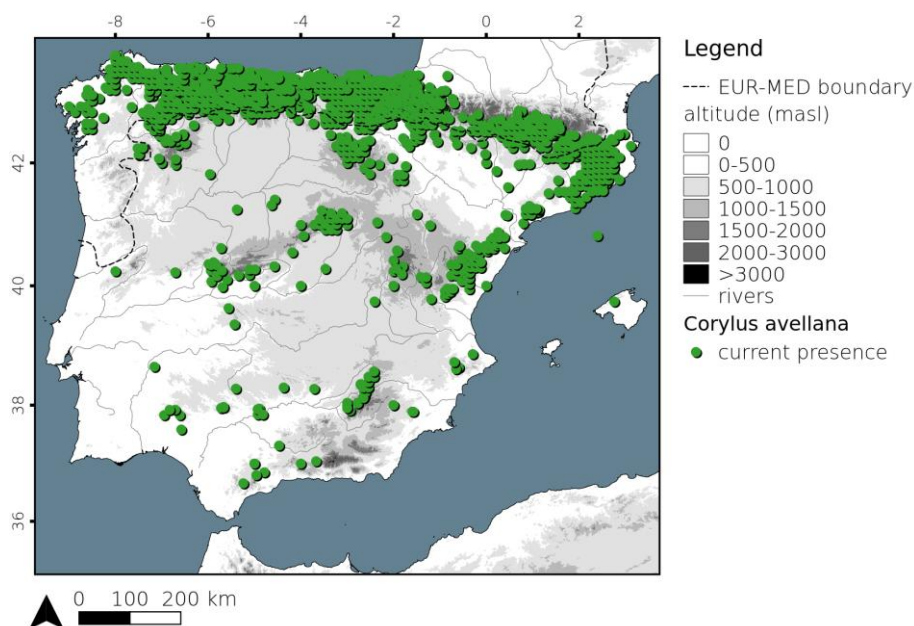


Figure 5.4.1. Modern distribution of *C. avellana* in the Iberian Peninsula. Data have been extracted from the Global Biodiversity Information (GBIF) (<http://www.gbif.es/>). The boundary between the Eurosiberian and the Mediterranean biogeographic region has been also displayed.

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Ilex aquifolium, *Viburnum tinus*, *V. opulus* or *Ligustrum vulgare*, all of them well-adapted to the fluvial domain or sheltered in mid-altitude intra-mountainous environments (Blanco Castro et al., 1997).

It is noteworthy to highlight the extensive *C. avellana* cultivars acquired in Catalonia, concretely in the province of Tarragona, which accounts the 88% of the total Spanish area planted for hazelnut production (Boccacci et al., 2008).

Material and methods

Pollen and macrofossil data

A dataset of 153 pollen sequences and 36 anthracological records have been used to map the distribution of *C. avellana* from the LGM to the present (Figure 5.3.2, Supplementary data 1 and 2). Data have been extracted from online published literature (Scopus Database) supplemented by recently published reviews (Carrión et al., 2010; González-Sampériz et al., 2010) as well as from the PALEODIVERSITAS Project (Carrión et al., 2012) (<http://www.paleodiversitas.org/>). In some cases, original pollen counts and radiocarbon data were obtained from the European Pollen Database (<http://www.europeanpollendatabase.net/>), Pangaea Database (<http://www.pangaea.de/>) or directly from the authors.

C. avellana percentages were calculated with respect to the terrestrial pollen sum excluding hygro-hydrophytes and ferns that are commonly attributed to a local origin. *C. avellana* frequency contours were established according to Magri et

al. (2014) after Lisitsyna et al. (2011).

Chronology

Linear interpolation between dates in records with at least three radiocarbon dates was used to establish chronologies although some exceptions have been made. Depth-age models were recalculated with Clam 2.2 software package (Blaauw, 2010) with latest calibration datasets (Reimer et al., 2013). Macrofossil ¹⁴C dates were calibrated using Calib 7.0 (Stuiver and Reimer, 1993). Sites without ¹⁴C dates or with reversals in the chronologies were avoided for data analysis. In continuous sequences with limited radiocarbon dates (less than 2 ¹⁴C) as well as archaeological and palaeosoil records, only data from radiocarbon-based strata have been chosen, avoiding relative chrono-cultural attributions.

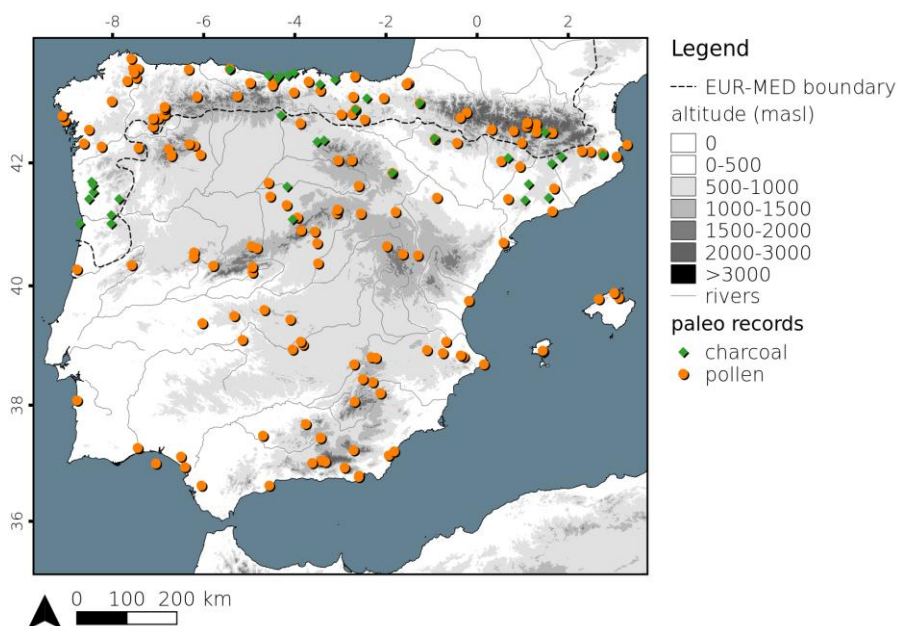


Figure 5.4.2. Pollen and charcoal dataset used to map the past distribution of *C. avellana* in the Iberian Peninsula. The boundary between the Eurosiberian and the Mediterranean biogeographic region has been also displayed.

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Time-slides definition and mapping

5 time-intervals have been selected in order to draw the presence of *C. avellana* in the Iberian Peninsula during the last 22.000 years: 1) LGM, 22.000-18.000 cal BP; 2) Lateglacial, 18.000-11.700 cal BP; 3) Early Holocene, 11.700-8.000 cal BP; 4) Mid Holocene, 8.000-4.000 cal BP; 5) Late Holocene, post 4000 cal BP.

This methodology has been successfully applied to similar palaeodistribution studies, successfully tracking the expansion range of several tree (i.e., *Fagus sylvatica*, Giesecke et al., 2006; Magri; et al., 2006; *Alnus*, Douda; et al., 2014; deciduous *Quercus*, Petit; et al., 2002; *Castanea sativa*, Conedera; et al., 2004) and mammal species (i.e. *Rangifer*, Soomer; et al., 2014). The main goal is to synthesize the data in climatically similar time-periods, avoiding local particularities.

Maps showing *C. avellana* frequencies together with the location of anthracological data are developed in Quantum GIS software (<http://qgis.org/>).

Results

Figure 5.3.3 records the distribution of *C. avellana* in the Iberian Peninsula since the Last Glacial Maximum, grouped in five climatically-defined time intervals. Overall, the dataset shows a major cluster, being the available sites scarce during the LGM and Lateglacial and rapidly increasing along the Holocene.

During the LGM, sites showing the presence of *C. avellana* were poorly represented (Figure 5.3.3, LGM and Figure 5.3.4) and mainly confined to coastal areas where the values do not reach 2-5%. Local evidence of *C. avellana* charcoal fragments came from the Magdalenian cave of Cueva de Cualventí, producing the early date of 15.950 ± 70 (19.135 cal BP) (Table 5.3.1). In Portugal, hazelnut presence was fragmentary reported and no macrocharcoal data have been documented. Sporadic presence is recorded in sites confined to humid shelters like Lagoa de Lucenza. Traces of *C. avellana* pollen were also reported in some Pyrenean sequences (e.g. El Portalet), in the Ebro Valley (e.g. Lake Estanya), Sierra Nevada (e.g. Padul, Cueva de Carihuela) and the areas nearby to the Mediterranean littoral (e.g. San Rafael, Cueva de Bajondillo, Banyoles) but totally lacking from the continental setting (e.g. Lago de Ajo, Llaguna, El Maíllo, Valmadrid).

The number of sites showing *C. avellana* presence during the Lateglacial (18.000-11.700 cal BP) continued being scarce, showing a similar spatial-pattern to those found in the previous glacial phase (Figure 5.3.3,

Lateglacial). However, a remarkable increase in the attained frequencies was observed, reaching 5-10% in mid-altitude elevations bordering the Cantabrian Coast (e.g. Cueva de Berroberria, Cueva de Rascaño) (Figure 5.4.4). Well-dated macrocharcoal data evidence the role of hazelnut as part of mixed temperate deciduous forest already around 17.500 cal BP (14.450 ± 80 BP in Peña de Estevanbela), 15.950 ± 70 (14.740 cal BP in La Pila) and 12.510 ± 100 (14.700 cal BP in Molí de Salt) (Table 5.3.1), trend that also was traced in particular moist, intra-mountainous environments. This is the case of Enol Lake, Pinar de Lillo, Llaguna and Laguna de la Roya records, all of them located in the Cantabrian Mountains up to 1.000 m a.s.l. Similarly, remarkable frequencies were attained in high-altitude Pyrenean sequences, especially those confined to westernmost and central sectors (e.g. El Portalet, Tramacastilla). A progressive increase in *C. avellana* frequencies was also appreciable in both north and south sectors of the Iberian Range (e.g. Villarquemado palaeolake, Navarrés) but also in Sierra Nevada (e.g. Otiñar palaeolake; Cueva de Carihuela) and coastal Mediterranean environments (e.g. San Rafael; Cueva de Bajondillo; Laguna de Santo André). However, in areas of the Southern Plateau sequences like Fuentillejo maar-lake revealed the total lack of *C. avellana* in the pollen results.

Maximum representation of hazelnut was found during the Early Holocene (11.700-8.000 cal BP)

5.4. Palaebiogeography of *Corylus avellana*

Site	Altitude (m)	Radiocarbon date (¹⁴ C AMS yr BP)	Calibrated age (2σ) (cal BP)	Reference
Cualventí	75	15.950 ± 70	19.135	Uzquiano, 2014
Peña de Estebanvela	1.065	14.450 ± 80	17.585	Cacho et al., 2012
		12.530 ± 60	14.710	
		11.700 ± 70	13.555	
La Pila	20	12.580 ± 190	14.740	Uzquiano, 2014
		12.160 ± 130	14.050	
		11.710 ± 120	13.565	
Molí de Salt	490	12.510 ± 100	14.700	Allué et al., 2010
Santa Catalina	35	12.425 ± 90	14.545	Uzquiano, 1992
		12.146 ± 98	14.020	
		11.961 ± 61	13.565	
Balma Guilanyà	1.157	10.940 ± 50	12.805	Allué et al., 2012a
Legunova (Arba de Biel)	760	10.760 ± 60	12.690	Montes et al., 2016

Table 5.4.1. Radiocarbon dates obtained from different archaeological levels reporting *Corylus avellana* charcoal during the LGM and the Lateglacial.

when, among local particularities, the totality of the Iberian sites reported its presence (Figure 5.3.3, Early Holocene). Frequencies up to 15% were common in the current Eurosiberian region, even reaching to 30% in the north and northwestern sector (Figure 5.4.5). Anthracological evidence supports *C. avellana* in a wide altitudinal range ecosystems. However, no charcoal data have been recovered below 40° latitude. In the Iberian Range, *C. avellana* was commonly represented while in the Balearic Island is frequently recorded in all Early Holocene coastal and mid-altitude deposits accompanied by other meso-thermophilous flora (Figure 5.4.3, Early Holocene).

The trend of *C. avellana* dominance in the Iberian scene continued during the Mid Holocene (8.000-5.000 cal BP), although a decrease was observed in the attained frequencies, mainly in the Eurosiberian region (Figure 5.3.3, Mid Holocene and 5.3.4). This

was also evident in southern and inner continental mountain ranges (Sierra Nevada, Iberian Range, and Central Range) but also from Andalusian coast, Levante, Catalonia and the Balearic Islands. Nevertheless, associated to river-valleys and humid shelters hazelnut was easily found in inner valleys of Valencia and Murcia provinces (e.g., El Sabinar, Navarrés).

The marked divergence that started during the Mid Holocene (Figure 5.4.4) became more dramatic during the Late Holocene phase (5.000-0 cal BP) (Figure 5.3.3, Late Holocene). Sequences located in Sierra Nevada (e.g., Borreguiles de la Virgen) reported a remarkable decrease, even being locally-extinct (e.g. Sierra de Gador, Sierra de Baza) (Figure 5.4.4). Same pattern was repeated in the Balearic Islands and overall, in the coastal sectors bordering the Mediterranean. However, in the Eurosiberian biogeographic region but also in the Iberian Range and the Central System, the presence of

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

C. avellana was maintained similar, fitting the current distribution (Figures 5.3.1).

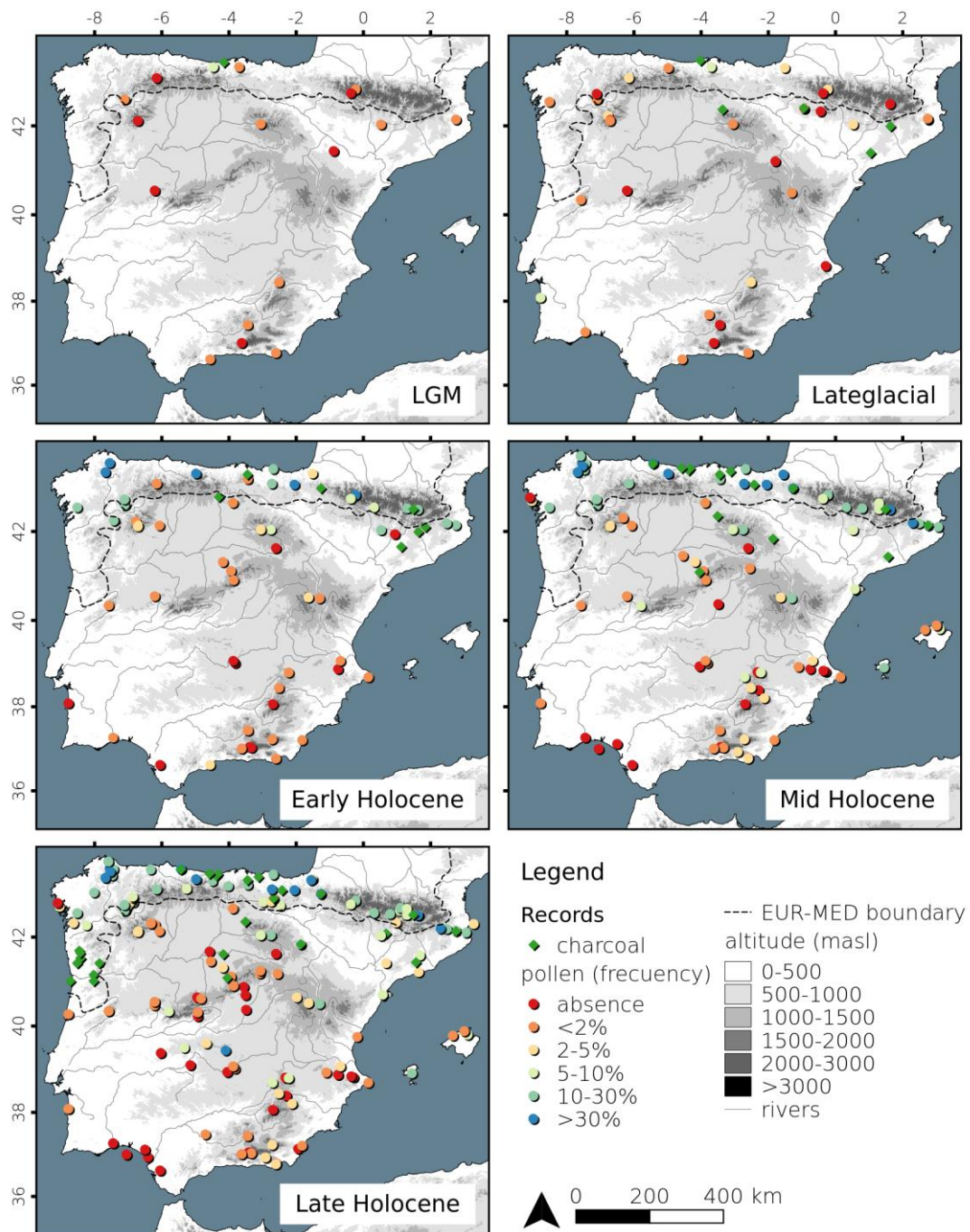


Figure 5.4.3. *C. avellana* pollen frequencies and charcoal presences in the selected time-intervals for the Iberian Peninsula. The boundary between the Eurosiberian and the Mediterranean biogeographic region has been also displayed.

Discussion and Conclusions

Which is the role of long-term climate variability shaping the Iberian refugia of *C. avellana*?

The ongoing results reveal that the modern distribution of *C. avellana* in Iberia appears to be the consequence of a combination of factors, including both long-term ecological responses to climate changes and distance to glacial refugia. The fossil data reveals a scattered distribution of populations along the Atlantic coastal and mid-altitude elevations between 22.000-18.000 cal BP time-frame (Figures 5.4.3, LGM). Tree populations could have persisted in the littoral area, where a lower thermal gradient linked to milder, oceanic climate regime prevailed (Table 5.4.1). In fact, climate reconstructions performed on marine cores retrieved from Bay of Biscay (Martínez-García et al., 2014) but also from the Western Iberian margin (Naughton et al., 2007), suggest that the LGM was rather warmer and moister than some MIS 3 stadials, namely the Heinrich events (Roucoux et al., 2005). Particular oceanographic features could have brought a milder climate regime, favoring the persistence of water-demanding elements at climatically-favorable microsites as Cantabrian Coast or Landes de Gascogne throughout Lateglacial and probably during the LGM as recently demonstrated by anthracoflora (de Lafontaine et al., 2014; Uzquiano, 2014).

Another plausible potential shelter for *C. avellana* refugia could have occupied the current thermo-Mediterranean belt bordering the littoral environments of the Mediterranean Iberia. In

fact, the palaeobotanical data coming from the coastal plains of Levante and Andalusia, Sierra Nevada or the Portuguese Estremadura have broadly evidenced the local presence of mesothermophilous flora during the LGM (Figueiral and Terral, 2002; Carrión et al., 2008, 2010).

Isolated grains of *C. avellana* were continuously reported in sequences bordering Sierra Nevada like Padul (Pons and Reille, 1988), Carihuela Cave (Fernández et al., 2007) or Bajondillo Cave (Cortés Sánchez et al., 2008). This fact is also repeated but in the Pyrenees by means of records like El Portalet or Estanya Lake (González-Sampériz et al., 2006, under review; Vegas-Vilarrúbia et al., 2013), denoting that mid-altitude environments could have been prone areas for support scattered hazelnut populations, probably as consequence of increased humidity due to orographic precipitation. High-resolution marine data retrieved in the deep water Minorca sediment drift as well as from the Alborán Sea reveal that LGM in the Western Mediterranean Basin was not as cold as expected (Fletcher and Sánchez-Goñi, 2008; Frigola et al., 2008) in comparison to the European realm.

The absence of *C. avellana* in inner continental Iberia follows a similar trait evidenced by other warm-demanding broadleaved trees (e.g., evergreen *Quercus*, López de Heredia et al., 2006; *Olea europaea*, Carrión et al., 2010). Its presence was practicably negligible during the LGM (Figure 5.4.3). Harsh climate background

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

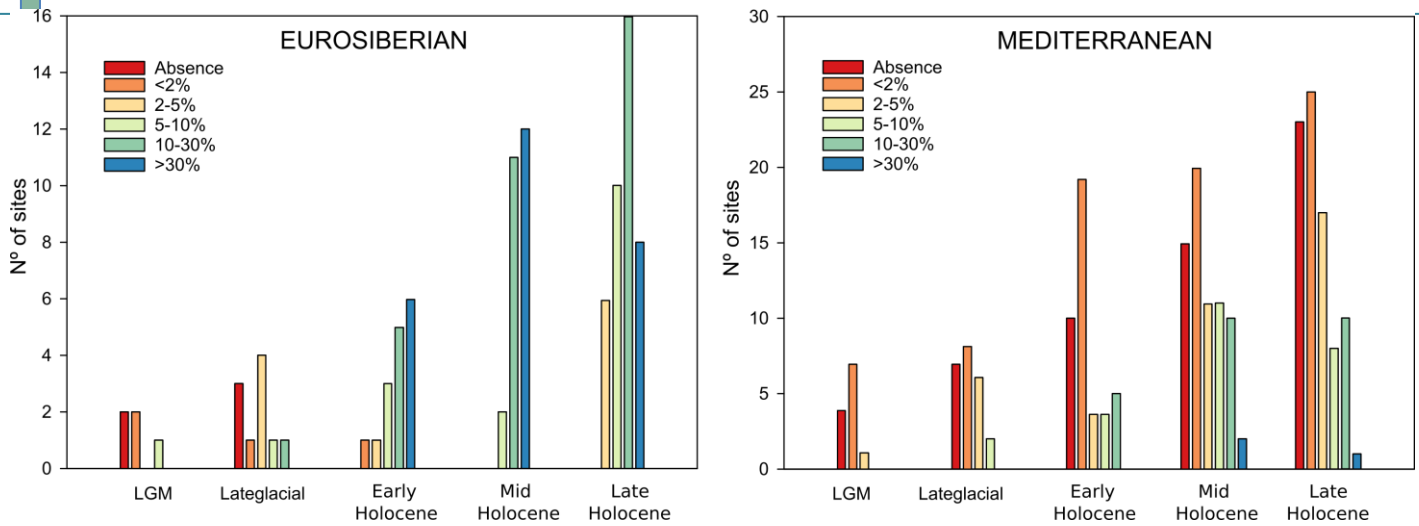


Figure 5.4.4. Trend in the *C. avellana* pollen frequencies in the selected time-intervals for the Euro Siberian (left) and Mediterranean (right) biogeographic regions of the Iberian Peninsula.

may have shaped its distribution to peripheral, coastal moist and more-thermal shelters, since the available pollen data revealed the widespread of a steppe-like landscape in both north and south plateaux (Vegas et al., 2010; Morales-Molino and García-Antón, 2014) and high-altitude mountain ranges (Peñalba, 1994). In fact, the low number of records covering the LGM in Iberia was likely the result of increased continental conditions, in where the available continental sequences commonly showed recurrent hiatuses and palynologically sterile levels (González-Sampériz et al., 2008; Moreno et al., 2012). Nevertheless some particular humid enclaves could have supported isolated populations (e.g. Lake Estanya, González-Sampériz et al., under review) allowing the expansion once the postglacial more humid and especially, lower-seasonal conditions took place.

Divergence in the Holocene spread of *C. avellana* in the Euro Siberian vs Mediterranean Iberia: a climate-driven response

The spread of *C. avellana* at pan-European scale was presumably linked to the onset of humid and thermal conditions during the first Holocene stages (Tallantire, 2002; Seppä et al., 2015), even some lagged trajectories existed, especially in the areas under the Mediterranean climate-influence (Magri et al., 2015) (Figure 5.4.5). This was especially evident in the Iberian Peninsula in where a marked divergence existed in terms of humidity between areas bordering the Cantabrian regions and those located in inner continental and thermal coastal sectors (Carrion et al., 2010). *C. avellana* revealed a remarkable expansion during the first Holocene millennia (Figure 5.4.3, Early Holocene), being a common broadleaved tree in records located in the current Euro Siberian biogeographic region (Muñoz-Sobrino et al., 2004; Gil-Romera et al., 2014; Iriarte-Chiapusso et al., 2016). However,

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

the maximum spread of hazelnut in the continental setting occurred several millennia later, once more-thermal and humid conditions took place during the Mid Holocene interval (Figure 5.4.5, Mid Holocene). The spread of hazelnut in inner Iberia during the onset of the Holocene may have been hampered by strong-seasonal conditions. A stationary landscape continued being the main feature for continental areas during the onset of the Holocene, widely dominated by conifer populations (Aranbarri et al., 2014; González-Sampériz et al., under review), whereas the multiproxy-based palaeohydrological records continuously reported low water-levels (Morellón et al., 2009; Aranbarri et al., 2015). In this setting of dry background with strong continental affinities, hazelnut population resulted less competitive in comparison to resilient juniper and pine communities, differing from humid areas where water-supply never constituted a limiting-factor (Figure 5.4.5, Early Holocene). In fact, *C. avellana* presence has been widely reported during the Mid Holocene by means of pollen and anthracological data in regions like the Basque Country (Figure 5.4.3, Mid Holocene) (Peñalba, 1994; Ruiz-Alonso and Zapata, 2015; Ruiz-Alonso et al., in press) reaching frequencies to >30%.

Once humid conditions were reached and the degree of continentality decreased, hazelnut spread was contemporaneous in all mountain systems namely Central Range, Iberian Range, Pyrenees and Sierra Nevada but also in the Mediterranean lowlands (Figure 5.4.3, Mid Holocene). *C. avellana* communities acquired

especial relevance in sequences like Villarquemado (Aranbarri et al., 2014) or Orihuela del Tremedal (Stevenson, 2000) records, reaching frequencies up to >15%. This period represents the most humid phase of the whole Holocene in the Mediterranean Basin.

Niche stability vs long-term depletion: towards shaping the current distribution of *C. avellana* in the Iberian Peninsula

Long-term vegetation variability in the Iberian Peninsula is subject to control factors equivalent to those meso- and protocratic phases established for Northern Europe and the Mediterranean Basin (Birks and Birks, 2000; Carrión et al., 2010). Its landscape diversity and ecological traits, commonly shaped by recurrent disturbances such as fire activity and long-term human occupation, resulted in unexpected vegetation responses, especially in areas under the Mediterranean-influenced realm. Climate variability has exerted the long-term control of the species range shift trajectories, also explained by diverse ecological mechanisms like patterns of resilience and threshold responses that must be taken into account when regional-scale distributions are made (Carrión et al., 2010; Magri et al., 2015).

Therefore, the noticeable decrease observed in the *C. avellana* distribution in the Mediterranean Iberia during the Mid-Late Holocene (Figure 5.4.5, Late Holocene) cannot be explained exclusively by unidirectional drivers, namely the intensification of human activities since Neolithic-times, even local-

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

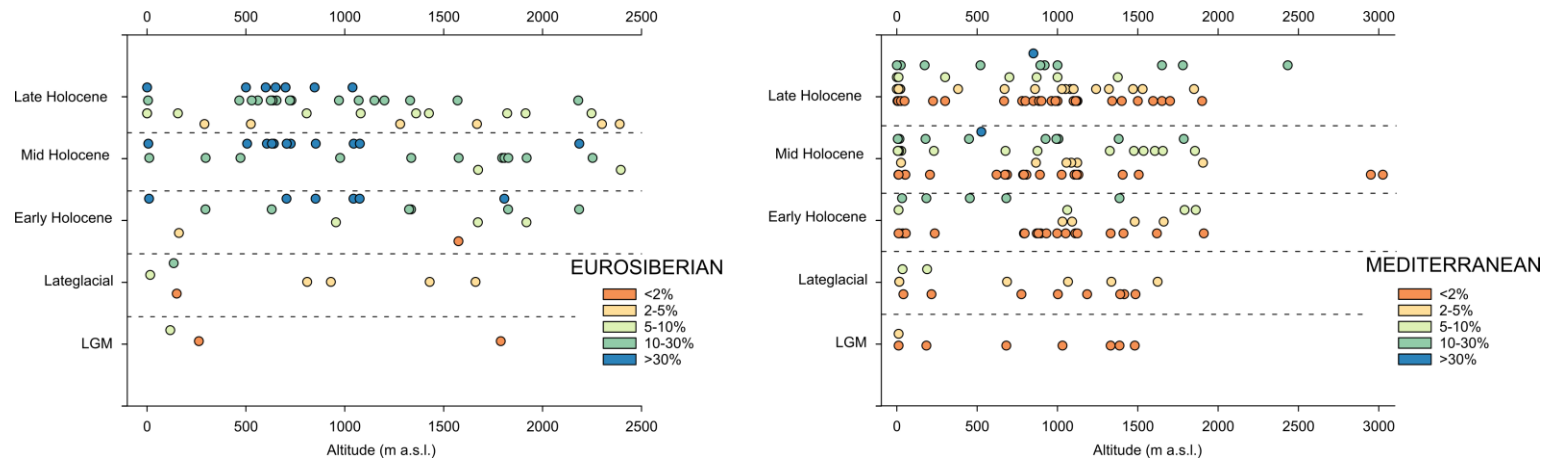


Figure 5.4.5. Altitudinal distribution of *C. avellana* pollen frequencies in the selected time-intervals for the Eurosiberian (left) and Mediterranean (right) biogeographic regions of the Iberian Peninsula.

particularities exist. Broad-scale biogeographies and plant-specific traits follow both ecological and climate constraints that can only be traced once regional palaeobotanical syntheses are performed (Magri et al., 2015). The climate changes occurred at the Mediterranean Basin during the Mid-Late Holocene transition, could have explained the range shift behavior of *C. avellana* at Iberian-scale. It is well-known by numerous chronologically well-constrained both pollen and independent multiproxy-based studies that arid conditions widespread, resulting in increased seasonal conditions in the inner continental setting during the second half of the Holocene (Morellón et al., 2009; Aranbarri et al., 2014). Broadleaved mixed woodland reduced, favoring the spread of arid-tolerant scrubland and montane pinewoods that defined the vegetation dynamics in areas under the current supra-, meso- and termo-Mediterranean belts (Carrion et al., 2010). *C. avellana* populations were one of the species suffering long-term climatically-induced depletions, being extinguished in records located in Sierra Nevada

(Carrion et al., 2004) prior to the first clear evidences of landscape anthropization took place (Carrion et al., 2007). In the Balearic Islands, even the abrupt replacement of *C. avellana* by thermophilous maquis dominated by *Olea europaea* correlates with the first incursions of prehistoric societies, inter-insular correlations provides further evidence of synchronic vegetation traits (Yll et al., 1997). Besides, the disappearance of endemic mammals such as *Myotragus balearicus* or *Hypnomys morpheus* was presumably linked to the climate-driven long-term depletion of *Buxus balearica* populations rather than human-biased extinction (Di Domenico et al., 2013; Welker et al., 2014). Current palaeobotanical knowledge suggests that the Balearic Islands were suitable areas for the persistence of mesophytes, comprising diverse taxa such as *Fagus* or *Alnus* currently lacking from the islands as consequence of increased arid background (Pérez-Obiol and Sadori, 2007; Pérez-Obiol et al., 2011).

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Another clear evidence of past, broader distribution of *C. avellana* at Iberia-scale comes from late Bronze Age and Roman times archaeological sites located in the northern Portugal (Figure 5.4.4, Late Holocene). According to the radiocarbon-based anthracological results produced by Figueiral, (1996), *C. avellana* was abundantly present, at least until ca. 500 years, providing evidence of a northward migration of the *C. avellana* frontline (Figure 5.4.1). Coastal pollen profiles located north of Serra da Boa Viagem (central Portugal) but also in the Algarve, draw similar conclusions (Fletcher et al., 2007; Danielsen et al., 2012), showing a long-term decrease in pollen frequencies.

By contrast, in sequences-located in Eurosiberian biogeographic region and in a lesser extent Central System and the Iberian Range, hazelnut populations fitted the modern distribution (Figure 5.4.1) without revealing major changes in the distribution pattern during the last 4.000 years (Figure 5.4.4, Late Holocene). Water supply linked to Atlantic climate regime seems to be support *C. avellana* populations.

The combined analyses of modern distribution and fossil records concur to define *C. avellana* postglacial migration range in Iberia and may serve as a scientific basis on which to base conservation actions in the southernmost areas where *C. avellana* populations may be at risk. In this sense, they contribute to the practical application of palaeoecological studies to long-term biodiversity maintenance, ecosystem

naturalness, conservation evaluation, habitat alteration, and changing disturbance regimes.

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

References

- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S., 2014. Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe. *Global and Planetary Change* 114, 50–65.
- Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Iriarte, E., Moreno, A., Rojo-Guerra, M., Peña-Chocarro, L., Valero-Garcés, B., Leunda, M., García-Prieto, E., Sevilla-Callejo, M., Gil-Romera, G., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., 2015. Human–landscape interactions in the Conquezueta–Ambrona Valley (Soria, continental Iberia): From the early Neolithic land use to the origin of the current oak woodland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 436, 41–57.
- Bennett, K.D., Tzedakis, P.C., Willis, K.J., 1991. Quaternary Refugia of North European Trees. *Journal of Biogeography* 18, 103–115.
- Birks, H.H., Birks, H.J.B., 2000. Future uses of pollen analysis must include macrofossils. *Journal of Biogeography* 27, 31–35.
- Blaauw, M., 2010. Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5, 512–518.
- Brewer, S., Cheddadi, R., de Beaulieu, J.L., Reille, M., 2002. The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, Range wide distribution of chloroplast DNA diversity and pollen deposits in European white oaks: inferences about colonisation routes and management of oak genetic resources. 156, 27–48.
- Blanco-Castro, E; Casado, M; Costa, M; Escribano, R; García Antón, M; Génova, M; Gómez, A; Moreno, J; Morla, C; Regato, P., Sainz Ollero, H., 1997. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica.* Planeta. Barcelona: 572pp.
- Boccacci, P., Botta, R., Rovira, M., 2008. Genetic diversity of hazelnut (*Corylus avellana* L.) germplasm in northeastern Spain. *HortScience* 43, 667–672.
- Carrión, J.S., Yll, E.I., Willis, K.J., Sánchez, P., 2004. Holocene forest history of the eastern plateaux in the Segura Mountains (Murcia, southeastern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 132, 219–236.
- Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampériz, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J.C., Fernández, S., Andrade, A., 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26, 1455–1475.
- Carrión, J.S., Finlayson, C., Fernández, S., Finlayson, G., Allué, E., López-Sáez, J.A., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G., González-Sampériz, P., 2008. A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: palaeoecological investigations in Gorham’s Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 27, 2118–2135.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

- Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458–475.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., et al., 2012. Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid.
- Carrión, Y., Ntinou, M., Badal, E., 2010. *Olea europaea* L. in the North Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early–Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews* 29, 952–968.
- Chen, Z.-D., Manchester, S.R., Sun, H.-Y., 1999. Phylogeny and evolution of the Betulaceae as inferred from DNA sequences, morphology, and paleobotany. *American Journal of Botany* 86, 1168–1181.
- Combourieu-Nebout, N., Peyron, O., Dormoy, I., Desprat, S., Beaudouin, C., Kotthoff, U., Marret, F., 2009. Rapid climatic variability in the west Mediterranean during the last 25 000 years from high resolution pollen data. *Climate of the Past* 5, 503–521.
- Cortés Sánchez, M., Morales Muñoz, A., Simón Vallejo, M.D., Bergadá Zapata, M.M., Delgado Huertas, A., López-García, P., López-Sáez, J.A., Lozano Francisco, M.C., Riquelme Cantal, J.A., Roselló Izquierdo, E., Sánchez Marco, A., Vera Peláez, J.L., 2008. Palaeoenvironmental and cultural dynamics of the coast of Málaga (Andalusia, Spain) during the Upper Pleistocene and Early Holocene. *Quaternary Science Reviews* 27, 2176–2193.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M., Torriani, D., 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 161–179.
- Danielsen, R., Castilho, A.M., Dinis, P.A., Almeida, A.C., Callapez, P.M., 2011. Holocene interplay between a dune field and coastal lakes in the Quiaios e Tocha region, central littoral Portugal. *The Holocene* 22, 383–395.
- de Lafontaine, G., Amasifuen Guerra, C.A., Ducouso, A., Petit, R.J., 2014. Cryptic no more: soil macrofossils uncover Pleistocene forest microrefugia within a periglacial desert. *New Phytol* 204, 715–729.
- Di Domenico, F., Lucchese, F., Magri, D., 2012. *Buxus* in Europe: Late Quaternary dynamics and modern vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14, 354–362.
- Douda, J., Doudová, J., Drasnarová, A., Kunes, P., Hadincová, V., Krak, K., Zákavský, P., Mandák, B., 2014. Migration patterns of subgenus *Alnus* in Europe since the Last Glacial Maximum: a systematic review. *PLoS One* 9, e88709.
- Fernández, S., Fuentes, N., Carrión, J.S., González-Sampériz, P., Montoya, E., Gil, G., Vega Toscano, G., Riquelme, J.A., 2007. The Holocene and Upper Pleistocene pollen sequence of Carihuela Cave, southern Spain. *Geobios* 40, 75–90.
- Figueiral, I., 1996. Wood resources in north-west Portugal: their availability and use from the late Bronze Age to the Roman period. *Vegetation History and Archaeobotany* 5, 121–129.
- Figueiral, I., Terral, J.-F., 2002. Late Quaternary refugia of Mediterranean taxa in the Portuguese

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Estremadura: charcoal based palaeovegetation and climatic reconstruction. *Quaternary Science Reviews* 21, 549–558.

Finsinger, W., Tinner, W., van der Knaap, W.O., Ammann, B., 2006. The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews* 25, 612–631.

Fletcher, W.J., Sánchez Goñi, M.F., 2008. Orbital- and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. *Quaternary Research* 70, 451–464.

Frigola, J., Moreno, A., Cacho, I., Canals, M., Sierro, F.J., Flores, J.A., Grimalt, J.O., 2008. Evidence of abrupt changes in Western Mediterranean Deep Water circulation during the last 50 kyr: a high-resolution marine record from the Balearic Sea. *Quaternary International* 181, 88–104.

Giesecke, T., Hickler, T., Kunkel, T., Sykes, M.T., Bradshaw, R.H.W., 2006. Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography* 34, 118–131.

Gil-Romera, G., González-Sampérez, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J.S., Pérez Sanz, A., Aranbarri, J., García-Prieto Fonce, E., 2014. Biomass-modulated fire dynamics during the Last Glacial–Interglacial Transition at the Central Pyrenees (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 402, 113–124.

González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed

by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66, 38–52.

González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., 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.

González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427–457.

Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gomez-Orellana, L., Hernandez-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernandez Rodriguez, C., Heiri, O., Lotter, A.F., Ramil-Rego, P., 2016. Reviewing the Lateglacial-Holocene transition in NW Iberia: a palaeoecological approach based on the comparison between dissimilar regions. *Quaternary International* 403, 211–236.

Lisitsyna, O.V., Giesecke, T., Hicks, S., 2011. Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees. *Review of Palaeobotany and Palynology* 166, 311–324.

López de Heredia, U., Carrión, J.S., Jiménez, P., Collada, C., Gil, L., 2007. Molecular and palaeoecological evidence for multiple glacial refugia for evergreen oaks on the Iberian Peninsula. *Journal of Biogeography* 34, 1505–1517.

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

- Magri, D., 2008. Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *Journal of Biogeography* 35, 450–463.
- Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., Van Der Knaap, W.O., Petit, R.J., De Beaulieu, J.-L., 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* 171, 199–221.
- Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Review of Palaeobotany and Palynology* 218, 267–284.
- Martínez-García, B., Bodego, A., Mendicoa, J., Pascual, A., Rodríguez-Lázaro, J., 2014. Late Quaternary (Marine Isotope Stage 3 to Recent) sedimentary evolution of the Basque shelf (southern Bay of Biscay). *Boreas* 43, 973–988.
- Morales-Molino, C., García-Antón, M., 2014. Vegetation and fire history since the last glacial maximum in an inland area of the western Mediterranean Basin (Northern Iberian Plateau, NW Spain). *Quaternary Research* 81, 63–77.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 28, 2582–2599.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., 2004. Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 1–22.
- Naughton, F., Sánchez Goñi, M.F., Desprat, S., Turon, J.L., Duprat, J., Malaize, B., Joli, C., Cortijo, E., Drago, T., Freitas, M.C., 2007. Present-day and past (last 25000 years) marine pollen signal off western Iberia. *Marine Micropaleontology* 62, 91–14.
- Peñalba, M.C., 1994. The History of the Holocene Vegetation in Northern Spain from Pollen Analysis. *Journal of Ecology* 82, 815–832.
- Pérez-Obiol, R., Sadori, L., 2007. Similarities and dissimilarities, synchronisms and diachronisms in the Holocene vegetation history of the Balearic Islands and Sicily. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 259–265.
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlach, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21, 75–93.
- Petit, R.J., Brewer, S., Bordács, S., Burg, K., Cheddadi, R., Coart, E., Cottrell, J., Csaikl, U.M., van Dam, B., Deans, J.D., Espinel, S., Fineschi, S., Finkeldey, R., Glaz, I., Goicoechea, P.G., Jensen, J.S., König, A.O., Lowe, A.J., Madsen, S.F., Mátyás, G., Munro, R.C., Popescu, F., Slade, D., Tabbener, H., de Vries, S.G.M., Ziegenhagen, B., de Beaulieu, J.-L., Kremer, A., 2002. Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156, 49–74.
- Pons, A., Reille, M., 1988. The Holocene and Upper Pleistocene pollen record from Padul (Granada,

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

- Spain): a new study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 66, 243–263.
- Ramil-Rego, P., Rodríguez-Gutián, M., Muñoz-Sobrinó, C., 1998. Sclerophyllous vegetation dynamics in the north of the Iberian peninsula during the last 16,000 years. *Global Ecology and Biogeography* 7, 335–351.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55, 1869–1887.
- Roucoux, K.H., de Abreu, L., Shackleton, N.J., Tzedakis, P.C., 2005. The response of NW Iberian vegetation to North Atlantic climate oscillations during the last 65 kyr. *Quaternary Science Reviews* 24, 1637–1653.
- Ruiz-Alonso, M., Zapata, L., 2015. Transformation and human use of forests in the Western Pyrenees during the Holocene based on archaeological wood charcoal. *Quaternary International, Quaternary of the Western Pyrenean region* 364, 86–93.
- Ruiz-Alonso, M., Zapata, L., Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Fernández-Eraso, J., in press. Selection of firewood in northern Iberia: Archaeobotanical data from three archaeological sites. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.076
- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., Köhl, N., Renssen, H. and Salonen, J.S., 2015. Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *The Holocene* 25:1, 53–63.
- Sommer, R.S., Kalbe, J., Ekström, J., Benecke, N., Liljegren, R., 2014. Range dynamics of the reindeer in Europe during the last 25,000 years. *Journal of Biogeography* 41, 298–306.
- Stuiver, M., Reimer, J., 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.014 C age calibration program. *Radiocarbon* 35, 215–230.
- Tallantire, P.A., 2002. The early-Holocene spread of hazel (*Corylus avellana* L.) in Europe north and west of the Alps: an ecological hypothesis. *The Holocene* 12, 81–96.
- Uzquiano, P., 2014. Wood resource exploitation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS 2 vegetation dynamics. *Quaternary International* 337, 154–162.
- Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, Á., Gil-García, M.J., Pérez-González, A., Gallardo-Millán, J.L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 cal. ka BP from the Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *J. Quaternary Sci.* 25, 1051–1062.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampéris, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., Valero-Garcés, B., 2013. Diatom and vegetation responses to late glacial and Early-Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392, 335–249.
- Welker, F., Duijm, E., van der Gaag, K.J., van Geel, B., de Knijff, P., van Leeuwen, J., Mol, D., van der

5.4. Palaeobiogeography of *Corylus avellana*

Plicht, J., Raes, N., Reumer, J., Gravendeel, B., 2014. Analysis of coprolites from the extinct mountain goat *Myotragus balearicus*. *Quaternary Research* 81, 106-116.

Whitcher, I.N., Wen, J., 2001. Phylogeny and biogeography of *Corylus* (Betulaceae): inferences from ITS sequences. *Systematic Botany* 26, 283–298.

Yll, E.-R., Perez-Obiol, R., Pantaleon-Cano, J., Roure, J.M., 1997. Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca Balearic Islands. *Quaternary Research* 48, 339–347.

6 Síntesis General

La correlación de las secuencias sedimentarias obtenidas tanto en el Cañizar del Vilarquemado como en la Laguna de Conquezueta, complementado por el estudio paleobotánico realizado en los registros tobáceos Holocenos del Parque Natural de Moncayo, han permitido trazar la historia climática y su variabilidad hidrológica así como la evolución vegetal a lo largo de los últimos 13.500 años en el NE continental peninsular. Los resultados obtenidos han dado respuesta de manera exitosa a los múltiples objetivos planteados al inicio de la presente Tesis Doctoral (capítulo 2), siendo algunas de ellas inesperadas y, sin duda, todas ellas novedosas, permitiendo no solo discernir entre los factores de cambio ambiental durante el Tardiglacial y el Holoceno, sino establecer un marco biostratigráfico y biogeográfico para las regiones Mediterráneas de interior.

Además de ello, la presente Tesis supone un avance en el conocimiento de la interacción ser humano y ambiente prehistórico, arrojando nuevas hipótesis sobre el posible rol climático durante la Neolitización peninsular, oncretamente en sus regiones interiores, tradicionalmente vinculadas a una colonización tardía y marginal. La integración de datos palinológicos y arqueobotánicos ha puesto de manifiesto una agricultura temprana, la expansión del pastoreo y la retracción de las comunidades forestales a partir del Óptimo Térmico Holoceno. Paralelamente, los abundantes vestigios arqueológicos denotan un

incremento demográfico en el valle, probablemente influenciado por la benignidad climática y una situación ambiental favorable, conclusiones que no serían posibles obtener sin el estudio conjunto de indicadores y técnicas procedentes de las ciencias de la tierra y las disciplinas arqueológicas.

De este modo, en el presente apartado se pretende discutir aquellos resultados que han sido comunes en los registros obtenidos, haciendo especial hincapié en diversas cuestiones climáticas, hidrológicas biogeográficas y arqueobotánicas a diversas escalas espacio-temporales.

6.1. La continentalidad y la aridez: factores intrínsecos a los ecosistemas Mediterráneos durante el Tardiglacial (13.500-11.700 cal BP)

El conocimiento acerca de la historia de la vegetación a escala peninsular ha manifestado un gran incremento en las últimas décadas gracias a la incorporación de distintas técnicas de datación (radiocarbono, OSL, U/Th), así como al aumento de la resolución de trabajo palinológico y la correlación con distintos indicadores de naturaleza botánica (antracología, dendrología, carpología, fitolitos). Este hecho ha resultado esencial a la hora de elaborar síntesis biogeográficas de amplio espectro espacial (Carrión et al., 2010a; Mercuri et al., 2015). La disponibilidad de secuencias obtenidas tanto en depósitos naturales como en yacimientos arqueológicos, resulta especialmente relevante para el Holoceno (Carrión et al., 2010a; Pérez- Obiol et al., 2011; Iriarte-Chiapusso et al., 2016), y es menor para el Pleistoceno (González-Sampériz et al., 2010). Las conclusiones obtenidas en el volumen especial titulado *Iberian floras through time: Land of diversity and survival* (Carrión y Leroy, 2010), publicado en la prestigiosa revista, *Review of Palaeobotany and Palynology*, ponen de manifiesto la complejidad y diversidad vegetal de la Península Ibérica a lo largo del tiempo.

No obstante, y aunque se ha avanzado notablemente en el conocimiento paleobotánico a escala Cuaternaria, a día de hoy aún perduran grandes vacíos fitogeográficos donde la información obtenida ha sido pobremente

contextualizada, sin tener en cuenta el trasfondo climático global. La localización de las tres secuencias fósiles estudiadas en esta Tesis Doctoral, se ubican en una región marginal desde el punto de vista ambiental (Carrión et al., 2010a), por lo que los resultados obtenidos serán de gran interés a la hora de contextualizar la dinámica paleoambiental de las regiones interiores peninsulares.

La secuencia de Villarquemado incluida en este trabajo, con una fecha basal de 13.500 cal BP, detalla de manera precisa la dinámica espacio-temporal de la vegetación en la vertiente sur del Sistema Ibérico y las inmediaciones de la fosa del Jiloca. Los resultados polínicos señalan un paisaje abierto, dominado por arbustos y herbáceas estépicas tales como *Artemisia*, Compositae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, *Plantago*, etc., durante todo el Tardiglacial, sin apenas cambios durante el globalmente conocido Younger Dryas. El componente arbóreo se limita a pinares y sabinas abiertos, formando comunidades que ocuparían los sectores edáficamente más pobres de las parameras calcáreas. El componente caducifolio apenas alcanza el 5%, mientras que la flora Mediterránea es prácticamente inexistente a nivel regional.

Obteniendo un espectro polínico similar, trabajos polínicos realizados en el mismo registro apuntan a que la dinámica vegetal

estuvo caracterizada por condiciones áridas durante el MIS3 y MIS2 (González-Sampérez et al., 2013), e incluso en la transición MIS6-MIS5, permaneciendo durante buena parte del Eemiense (García-Prieto, 2015). A pesar de que los sabinares son los protagonistas del penúltimo interglacial y de todo el MIS5 en la secuencia de Villarquemado (García-Prieto, 2015), así como en los registros de las Tablas de Daimiel (Valdeolmillos-Rodríguez et al., 2011) y en el espectro antracológico del Abric del Pastor (Vidal-Matutano et al., 2015), el paisaje vegetal del MIS5 en el Mediterráneo continental de Iberia se caracteriza por su estabilidad y resiliencia (González-Sampérez et al., 2013), mostrando ciertas fluctuaciones pero ningún cambio vegetal destacable hasta la llegada del MIS4 (García-Prieto, 2015), de condiciones climáticas más frías y húmedas que el MIS5. Esta dinámica vegetal, dista de la evolución ambiental de las secuencias biogeográficamente limitadas al mundo Euriosiberiano (e.g., Area Longa, Gómez-Orellana et al., 2007; González-Sampérez et al., 2010), las cuales desarrollan bosques caducifolios en las fases interglaciares e incluso interestadiales en algunas ocasiones.

La herencia de las condiciones áridas en el mundo continental Mediterráneo se mantiene durante la mayor parte del MIS3 (González-Sampérez et al., 2013) y continúa o incluso se intensifica durante el Último Máximo Glacial (LGM), provocando un hiato polínico en la secuencia de Villarquemado, probablemente asociado a procesos de oxidación por

exposición subaérea (González-Sampérez et al., 2013). Esta misma situación se repite en otras secuencias regionales, convirtiendo la esterilidad polínica en un marcador biostratigráfico de registros continentales Mediterráneos (e.g., Fuentillejo, Vegas et al., 2010; Estanya, Vegas-Vilarrúbia et al., 2013; González-Sampérez et al., en revisión).

Las secuencias obtenidas en ámbitos meso- o supra-Mediterráneos como Navarrés (Carrión y van Geel, 1999), Ayoó de Vidriales (Morales-Molino y García Antón, 2014), Salines (Burjachs et al., 2016), Siles (Carrión, 2002), Quintanar de la Sierra (Peñalba, 1994), Laguna Negra (Ruiz-Zapata et al., 2002) o Laguna del Hornillo (Ruiz-Zapata et al., 2015), señalan el predominio de un paisaje forestal de pinares y sabinares con abundante matorral xero-termófilo tras la salida de las condiciones glaciales. Las zonas de refugio de flora planocaducifolia durante el LGM, tal y como se discutirá más detalladamente en la sección 6.7, se limitan al litoral Cantábrico en el caso de las frondosas (González-Sampérez et al., 2010; Uzquiano, 2014), y al Mediterráneo en el caso del matorral esclerófilo (Carrión et al., 2003, 2008; 2010a; González-Sampérez et al., 2010).

Las abundancias superiores al 50% de *Pinus nigra/sylvestris* pre-LGM y al inicio de la secuencia postglaciar de Villarquemado, apuntan a que los pinares de alta montaña formarían parte del paisaje vegetal incluso durante las etapas gélidas del Tardiglacial, además de durante el MIS4, el MIS3 y buena

parte del MIS2 (González-Sampérez et al., 2013). Su hegemonía en ámbito continental es resultado de su gran resiliencia frente a contrastes climáticos, además de su capacidad de adaptación ecofisiológica a suelos pobres, tal como ha ocurrido en las mesetas peninsulares durante el Pleistoceno Superior y Holoceno (Rubiales et al., 2010). Las escasas potencias edáficas existentes durante el Pleniglacial Würmiense y el Tardiglacial fueron colonizadas por diversas heliófitas, las cuales predominan ampliamente en el registro de Villarquemado hasta bien entrado en el Holoceno.

El brusco cambio climático hacia condiciones más frías que caracteriza el evento conocido como Younger Dryas, cronológicamente delimitado entre 12.900-11.700- cal BP de acuerdo a la estratigrafía del grupo INTIMATE (Blockley et al., 2012), tuvo un impacto importante en la vegetación de determinadas áreas europeas (Ammann et al., 2000; Lotter et al., 2000; Väliranta et al., 2006), pero una vez más, resulta prácticamente imperceptible en la secuencia de Villarquemado. El paisaje sabanoide, salpicado por pinares, continúa siendo dominante en la región turolese como resultado de la resiliencia y adaptabilidad de las coníferas. De este modo, y dando respuesta a la hipótesis de partida arrojada al inicio de la Tesis, *¿existe un patrón espacial en Iberia ante la respuesta de la vegetación a eventos climáticos globales como el Younger Dryas?*, aparentemente no. Las estribaciones septentrionales del Sistema Ibérico manifiestan una pertinaz resiliencia de las comunidades

vegetales ante eventos climáticos abruptos (CCA) a lo largo del tiempo. A pesar del estrés que sin duda implicaría, ningún CCA, sea cual sea la escala temporal analizada, incluidos el Tardiglacial, el comienzo del Holoceno, el Último Ciclo Glaciar (González-Sampérez et al., 2013) o la transición MIS6-Eemiense (García-Prieto, 2015), reflejan una respuesta clara de la vegetación en la secuencia de Villarquemado. Sin embargo, esta resiliencia de las coníferas discrepa con la información obtenida en secuencias Atlánticas, dependientes de un régimen climático diferente, con un reducido índice de continentalidad. El impacto de los cambios climáticos abruptos en la región Eurosiberiana suele traducirse a nivel polínico en una rápida retracción arbórea y el inmediato incremento de pinares y componente xerocriófilo (Pérez-Obiol y Julià, 1994; Muñoz-Sobrino et al., 2004, 2007, 2013; Moreno et al., 2011; López-Merino et al., 2012; Iriarte-Chiapusso et al., 2016). El bosque caducifolio expandido en la vertiente cantábrica y pirenaica durante la fase cálida del Bølling-Allerød (14.600-12.900 cal BP) y caracterizado por el dominio de abedulares, robledales y avellanadas (Muñoz-Sobrino et al., 2004, 2013; González-Sampérez et al., 2006; Gil-Romera et al., 2014) prácticamente desaparece (Iriarte-Chiapusso et al., 2016). Cuando el input de humedad cesa o se reduce debido a un incremento de aridez a escala global, los ecosistemas dependientes de un alto grado de pluviosidad retroceden, dejando una señal visible en el espectro polínico fósil. Esta relación entre especies o taxones mesófilos/xerófilos

hace que las regiones Atlánticas sean especialmente vulnerables e idóneos a la hora de detectar cambios ambientales de carácter abrupto (González-Sampériz et al., en revisión), especialmente aquellos eventos que tienen que ver con la variación del grado de humedad y en menor medida con la temperatura.

Por el contrario, en las regiones continentales Mediterráneas, la vegetación aparece sumamente adaptada a los contrastes climáticos, siendo la aridez uno de los factores intrínsecos a estos ecosistemas, lo que amortigua de manera exitosa tanto grandes variaciones de temperatura como una disminución pluviométrica, que no llegan a afectar de manera significativa a nivel de comunidad. La vegetación Mediterránea continental está adaptada a los contrastes climáticos y, por lo tanto, no responde de la misma manera a un incremento de aridez que las regiones Eurosiberianas por ejemplo, quedando parcialmente enmascarado el impacto de un evento climático abrupto.

No obstante, en ningún caso se ha de vincular la no detección del evento en el espectro palinológico con ausencia local o regional de impactos, ya que, tal y como se señalará en la sección 6.3, la variabilidad hidrológica local para el caso de Villarquemado por ejemplo, sí que muestra una respuesta inmediata a los cambios ambientales ocurridos durante el Tardiglacial, incluido el propio Younger Dryas.

6.2. Variabilidad climática y estructura interna del Younger Dryas (12.900-11.700 cal BP).

Conclusiones a partir de resultados paleohidrológicos regionales

A diferencia del registro polínico terrestre de Villarquemado, la sedimentación de facies asociadas a ambientes poco someros y las oscilaciones de los indicadores geoquímicos obtenidos a partir del XRF, señalan una alta variabilidad hidrológica en el registro durante parte del Allerød y el Younger Dryas, es decir, entre 13.500 y 11.200 cal BP. La sedimentación de facies carbonatadas masivas, así como los máximos valores de elementos siliciclásticos registrados durante este periodo (Si, Fe, Ti), demuestran que el ambiente sedimentario contenía una lámina de agua permanente, mientras que la asociación polínica local sugiere la presencia de una comunidad vegetal bien adaptada a un ambiente palustre. Además, el análisis detallado del registro sedimentológico de Villarquemado parece apuntar a una oscilación hacia condiciones hidrológicamente más húmedas entre 12.170–11.240 cal BP, es decir, englobando la segunda mitad del Younger Dryas. El reemplazo de la comunidad de *Cyperaceae-Juncaceae-Ranunculus* por un ecosistema dominado por *Typha/Sparganium*, junto con la expansión de acuáticas flotantes como *Myriophyllum* y *Potamogeton* y el aumento de pteridofitas, evidenciaría un incremento de la lámina de agua, obteniendo los niveles más altos de los últimos 13500 años.

Pero, ¿cómo es posible explicar climáticamente la obtención de un balance hídrico positivo en pleno Younger Dryas en la Iberia Mediterránea?

Las dataciones de radiocarbono del registro, al igual que las descripciones sedimentológicas realizadas en las dos secuencias sedimentarias de Villarquemado (VIL-A, VIL-B), confirman que el evento está bien enmarcado cronológicamente y las inferencias hidrológicas bien delimitadas a nivel de cuenca, sin caer en particularidades locales, errores de campo o contaminaciones posteriores de los indicadores estudiados. Además, existen otra serie de secuencias, localizadas en entornos continentales que, de manera similar, muestran condiciones de humedad durante el Tardiglacial y concretamente durante el Younger Dryas. Éste es el caso del registro lacustre de Estanya, donde la disponibilidad hídrica a nivel local es reflejada en numerosos indicadores ya sea a nivel geoquímico, isotópico y sedimentológico (Morellón et al., 2009). Las comunidades de diatomeas responden rápidamente a un incremento de la salinidad (Vegas-Vilarrúbia et al., 2013), al igual que las macrofitas acuáticas aparecen bien representadas en el espectro polínico, señalando una lámina de agua constante para su desarrollo (Vegas-Vilarrúbia et al., 2013; González-Sampérez et al., en revisión). Una reducida tasa de evapotranspiración en un contexto de frío podría explicar la permanencia de una lámina de agua, en muchos casos helada (p.e. El Portalet,

González-Sampéris et al., 2006; Gil-Romera et al., 2014), en regiones alejadas de la influencia del mar.

Por otra parte, los numerosos estudios arqueológicos realizados en el NE peninsular y emplazados culturalmente al Epipaleolítico/Mesolítico (Montes et al., 2016), aportan de manera indirecta información paleoambiental, de manera que la intensidad de los eventos climáticos puede trazarse utilizando las bases de datos de radiocarbono y comparando periodos de ocupación y vacío, deduciendo así patrones de poblamiento y su posible relación con el clima regional y global (González-Sampéris et al., 2009; Utrilla et al., 2012; ; Crombé y Robinson, 2014; Wang et al., 2014; Wicks and Mithen, 2014).

Los yacimientos arqueológicos emplazados en la zona del Arba de Biel por ejemplo, en el Prepirineo aragonés, reflejan de manera integrada la continuidad de pobladores Mesolíticos, bien adaptados a un ecosistema abundante en recursos en pleno Younger Dryas (Montes et al., 2016). La respuesta humana ante el evento no parece notoria en la región, y las adaptaciones humanas a la transición Pleistoceno/Holoceno siguen su curso sin ningún cambio aparente a nivel cultural y/o de patrones de ocupación. Conclusiones similares han sido ampliamente discutidas en diversas regiones peninsulares por Aura et al. (2011), Bicho et al. (2011), Straus, (2011) y Utrilla et al. (2012), resultados que sin duda difieren de la respuesta socio-ecológica sugerida a escala

europaea (Dolukhanov, 1997; Burdukiewicz, 2011; Weber et al., 2011; Robinson et al., 2013) y global (Moore y Hillman, 1992).

Los mecanismos atmosféricos responsables del Younger Dryas se vinculan al desplazamiento del frente polar, comenzando por la Península Ibérica (Bartolomé et al., 2015) y continuando progresivamente a latitudes más septentrionales (Bakke et al., 2009; Lane et al., 2013; Rach et al., 2014). Esto explica en gran medida que la primera fase del evento, comprendida entre 12.900 y 12.500 cal BP, se caracterizase por ser fría y árida a nivel continental (Isarin y Bohncke, 1999; Ammann et al., 2000; Brauer et al., 2008) y peninsular (Muñoz-Sobrino et al., 2013), mientras que la segunda en cambio, 12.500 y 11.700 cal BP, implicó un incremento paulatino de la humedad (Bartolomé et al., 2015) con la consiguiente respuesta de los ecosistemas terrestres. El remplazo de la comunidad de hidrófilas mencionado anteriormente, que caracteriza la secuencia polínica de Villarquemado en torno al 12.150 cal BP, pudo haber sido fruto de un incremento de la humedad como la registrada en la segunda fase del evento a partir del registro espeletémico de la cueva de Seso (Bartolomé et al., 2015). Teniendo en cuenta que Villarquemado responde a una cuenca grande de origen kárstico, con numerosos torrentes esporádicamente activos, un incremento hídrico, aunque fuese reducido, pudo resultar en una lámina de agua relativamente alta y persistente, tal como se aprecia en diferentes periodos del MIS5 también (García-Prieto, 2015). De acuerdo

con los estudios geomorfológicos realizados en la región, la actividad periglacial fue intensa durante la última fase del Pleistoceno Superior (Peña-Monné y Fabre, 2010), por lo que la fusión del hielo podría haber contribuido de manera parcial a que los niveles lacustres fuesen elevados. Las bajas tasas de evapotranspiración permitirían que la lámina de agua se mantuviese relativamente estable durante todo el periodo, explicando así las elevadas frecuencias de taxones de higro-hidrófitas que se obtienen en el espectro polínico. No obstante, resulta necesario concluir que resulta difícil encontrar secuencias paleoambientales que cubran el Younger Dryas, no sólo a nivel peninsular sino más en concreto a escala de cuenca Mediterránea. La esterilidad palinológica y/o la resiliencia de la vegetación regional son un factor constante, por lo que resulta necesario ampliar el número de estudios con metodología multiproxy y su integración con otras disciplinas como por ejemplo, la geomorfología y la geoarqueología, para alcanzar nuevas evidencias de respuesta hidrológica ante perturbaciones de origen global en regiones Mediterráneas.

6.3. Resiliencia de las comunidades Mediterráneas y déficit hidrológico durante el Holoceno Temprano (11.700-8.000 cal BP) en la Iberia continental

El comienzo del Holoceno a escala global se ha caracterizado tradicionalmente por un rápido incremento de humedad y de temperatura, dejando atrás el paisaje yermo que caracterizaba al Younger Dryas en el ámbito europeo (Ammann et al., 2000; Lotter et al., 2000). De acuerdo al modelo de Birks, (1986), ampliamente utilizado para explicar la sucesión de la vegetación a escala de periodos glaciales-interglaciales en el mundo Eurosiberiano, se define por la expansión del bosque caducifolio caracterizado por especies la sucesión de diversas especies meso-termófilas como *Corylus*, *Quercus* caducifolio, *Carpinus* y *Tilia*, entre otros, y la progresiva retracción de las comunidades xero-criófilas.

A escala Mediterránea existen otros condicionantes que han de tenerse en consideración a la hora de establecer las pautas de cambio vegetal. Mientras que en las latitudes boreales es la temperatura el factor principal que modula el cambio ambiental (MacDonald et al., 2000), en las zonas Mediterráneas será el régimen de precipitación el mayor responsable de la respuesta ecológica, tanto a escala Holocena (Allen, 2003; Pantaleón-Cano et al., 2003; Carrión et al., 2010a; Jiménez-Moreno y Anderson, 2012; Pérez-Sánz et al., 2013, entre otros) como en la actualidad (Kutiel et al., 2000; Peñuelas et al., 2004; Miranda et al., 2011). La secuencia de Villarquemado, refleja de nuevo que al inicio del Holoceno las condiciones de

humedad son prácticamente inapreciables en la zona sur del Sistema Ibérico. Las comunidades vegetales no muestran cambio alguno a la tendencia heredada del Tardiglacial y el Younger Dryas, continuando con un paisaje resiliente dominado por pinos de alta montaña, enebros/sabinas y herbáceas estépicas compuestas por *Artemisia*, Compositae, *Ephedra* y Chenopodiaceae, entre otros taxones. El componente Mediterráneo es prácticamente inexistente, mientras que el caducifolio, anecdótico, se asocia a torrentes parcialmente activos en las inmediaciones de la laguna. Este modelo estable se vincula al carácter inerte de las poblaciones que forman las principales comunidades forestales en el interior continental durante el Holoceno Temprano (11.700-8.200 cal BP) y que, por sus características ecofisiológicas, son capaces de amortiguar las variaciones ambientales con gran éxito en largas escalas temporales. El paisaje de pinares y sabinares resulta altamente competitivo en un contexto árido y extremadamente continental frente a las comunidades dominadas por especies caducifolias, mucho más dependientes del mantenimiento de un alto grado de humedad. Este modelo es extrapolable a numerosos registros procedentes de regiones similares desde el punto de vista climático y, sin duda, está en el origen de la ausencia de cambios de vegetación notables, tanto a escala peninsular como de Cuenca Mediterránea. Así pues, las

secuencias polínicas de la Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013), el lago de Estanya (Pérez-Sanz, 2013; Vegas-Vilarrúbia et al., 2013; González-Sampériz et al., en revisión) para el noreste peninsular; Orihuela del Tremedal (Stevenson, 2000), Las Pardillas (Sánchez Goñi y Hannon, 1999) en el Sistema Ibérico; Navarrés (Carrión y Dupré, 1996; Carrión y van Geel, 1999) para el este; Les Alcusses (Tallón-Armada et al., 2014), Salines (Burjachs et al., 2016), Cañada de la Cruz (Carrión et al., 2001a), Villaverde (Carrión et al., 2001b), Cueva Blanca (Uzquiano et al., 2016) en el sureste; Laguna del Río Seco (Anderson et al., 2011), Siles (Carrión, 2002), Borreguiles de la Virgen (Jiménez-Moreno y Anderson, 2012), Baza (Carrión et al., 2007), Antás y Roquetas del Mar (Pantaleón-Cano et al., 2003) en Sierra de Segura, Sierra Nevada e inmediaciones litorales; Fuentillejo (Vegas et al., 2010), Ayoó de Vidriales (Morales-Molino y García Antón, 2014), Rascafría (Franco Múgica et al., 1998), en ambas mesetas y Espinosa del Cerrato (Franco Múgica et al., 2001), El Carrizal (Franco Múgica et al., 2005) en el Sistema Central, apuntan a unas condiciones áridas que dominaban durante el Holoceno Temprano (11.700-8.200 cal BP) en la mayor parte de la región Mediterránea peninsular.

La revisión realizada para el estudio de la expansión del avellano en Iberia incluida en esta Tesis Doctoral, manifiesta claramente un patrón opuesto entre el mundo Eurosiberiano y Mediterráneo. *Corylus avellana*, es comúnmente utilizado en la literatura Europea como taxón

clave para trazar la variación térmica a lo largo del tiempo (Tallantire, 2002; Finsinger et al., 2006; Theuerkauf et al., 2014). En algunos casos, los microfósiles de *Corylus* hallados en latitudes boreales han servido para delimitar el desplazamiento latitudinal de la especie en etapas previas (Kullman, 1998a,b), llegando a concluir que el avellano alcanzó regiones fuera de su distribución moderna durante el comienzo del Holoceno (Seppä et al., 2015). Tanto en la Península Ibérica como en la Italiana (Magri et al., 2015), durante el Holoceno Temprano el avellano responde rápidamente a un input de precipitación en el tercio septentrional, mientras que en las áreas bajo condiciones climáticas más Mediterráneas, su presencia está limitada a cursos fluviales, mostrando una distribución similar a la actual. A diferencia de lo que ocurrirá en el Holoceno Medio (8.200-4.200 cal BP), el avellano está prácticamente ausente en los registros continentales durante el Holoceno Temprano y sus frecuencias, inferiores a un 5%, señalan una presencia reducida y, esencialmente, a nivel supra-regional. Por lo tanto, podemos obtener una doble lectura. En primer lugar, las condiciones de humedad no eran lo suficientemente altas para poder soportar a las poblaciones de avellano en la Iberia Mediterránea. En segundo lugar, las temperaturas extremas, fruto de una alta continentalidad, podrían haber reducido su éxito reproductivo y adaptativo. En este contexto frágil resulta imposible competir con las poblaciones de pinares y sabinas que ampliamente dominan el mundo continental. De este modo, e infiriendo unas condiciones

húmedas y más oceánicas, las comunidades de avellano alcanzan gran protagonismo como señalan los registros de Chan do Lamoso (Muñoz-Sobrino et al., 2005), lago Enol (Moreno et al., 2011) o el Portalet (González-Sampérez et al., 2006; Gil-Romera et al., 2014), entre otros, en la región Eurosiberiana (Iriarte-Chiapusso et al., 2016).

A nivel local en cambio, la secuencia de Villarquemado muestra una oscilación hidrológica radical, pasando en menos de 200 años a un ambiente carbonatado con una lámina de agua prácticamente inexistente. La flora acuática revela una disminución instantánea mientras que algunas herbáceas como Chenopodiaceae o Compositae pudieron haberse expandido localmente. De forma similar, la esterilidad polínica que caracteriza la secuencia basal de Conquezuela (CQ-2), se asocia a procesos geomorfológicos que modularon el Valle de Ambrona durante el Tardiglacial y el comienzo del Holoceno. La datación de la base del registro confirma que la sedimentación ocurrió en un ambiente aluvial, carente de lámina de agua permanente. La descripción sedimentológica, así como los resultados de la fluorescencia, revelan una rápida sucesión de facies siliciclásticas y carbonatadas, fruto del arrastre de material grueso. El modelo de edad revela una rápida tasa de sedimentación, agrupando 7.000 años de historia en menos de 20 cm de potencia sedimentaria. El hiato sedimentario se debe a la disminución abrupta de la lámina de agua, además de a erosión eólica que podría haber

arrastrado parte del material. Estos procesos de deflación y pérdida de sedimento han sido comunes durante el Tardiglacial en las saladas del Ebro (Valero-Garcés et al., 2004; Davis y Stevenson, 2007; Luzón et al., 2007; González-Sampérez et al., 2008; Sancho et al., 2011), provocando la destrucción y/o la oxidación del contenido polínico (Campbell and Campbell, 1994), probablemente por exposición sub-aérea y/o erosión mecánica.

Una vez más es necesario discutir los procesos hidrológicos que gobiernan en las secuencias de Villarquemado y Conquezuela desde una perspectiva regional. La disminución de la lámina de agua, registrada también en los espectros polínicos con los taxones acuáticos, probablemente ocurrió de manera abrupta. La característica transición de un ambiente deposicional de lago detrítico a otro de laguna carbonatada sugiere que los factores climáticos oscilaron en la región hacia condiciones más extremas en términos térmicos *¿Cuál podría ser el mecanismo explicativo de un cambio hidrológico tan notorio? ¿Existe un patrón similar en ambientes Mediterráneos continentales a escala peninsular para la misma cronología?*

Se ha señalado en numerosas publicaciones la influencia solar como factor de cambio en la transición Pleistoceno/Holoceno (Tzedakis, 2007), lo que sin duda afecta notoriamente al régimen climático de la región circum-Mediterránea (Magny et al., 2011; Fletcher et al., 2013). Durante el comienzo del Holoceno, la

insolación de verano adquiere sus máximos valores en las latitudes del hemisferio norte, traducándose en una mayor entrada de energía en el sistema terrestre. Sucede lo contrario en los meses invernales. Estos factores extra-planetarios acentúan de manera directa los contrastes estacionales a escala anual, incrementando el efecto de la continentalidad. Así pues, el incremento térmico estival, pudo haber causado la desecación parcial de lagos al incidir directamente en la capacidad de evaporación, dejando una señal clara en los testigos sedimentarios. Además de los registros de Villarquemado y Conquezueta, el lago de Estanya muestra una reducción de los niveles lacustres e incremento de la salinidad durante los primeros dos milenios del Holoceno (Morellón et al., 2009), al igual que en el registro paleolacustre de Marcelino, las condiciones de humedad no se hacen visibles hasta ca. 7800 cal BP (Pellicer et al., 2016). De la misma forma, en el registro sedimentario de Fuentillejo se intuyen diversas fases de desecación lacustre y eventos de esterilidad polínica que se vinculan directamente con fases de exposición subaérea ocurridas al comienzo del Holoceno (Vegas et al., 2010). En Salines, Burjachs et al. (2016) identifica diversas oscilaciones abruptas y deposición de yeso en el registro.

El estudio estratigráfico, cronológico y paleobotánico realizado en las tobas Holocenas del Parque Natural del Moncayo que se incluye en esta Tesis, apoya la teoría de que las condiciones de humedad tardaron en llegar a las zonas Mediterráneas continentales, ya que

se correlaciona con los resultados inferidos en las secuencias lacustres de Villarquemado y Conquezueta. Los depósitos tobáceos del Río Val no comenzaron a crecer hasta que las condiciones ambientales fueron idóneas para la precipitación del carbonato, la cual comenzó en torno a 9.500 cal BP. Este vacío de depósitos durante aproximadamente los dos primeros milenios del Holoceno, también en las inmediaciones del Moncayo, se relaciona con la alta continentalidad, bajas temperaturas y ausencia de condiciones húmedas en el interior Ibérico, factores opuestos a las condiciones óptimas necesarias para facilitar la precipitación de carbonato (Pedley et al., 1996; Capezzuoli et al., 2014). Así pues, en la revisión recientemente publicada sobre la investigación de tobas y travertinos a escala Ibérica (González-Martín y González-Amuchastegui, 2014), es posible recalcar que existe un vacío de edificios entre 11.700-10.000 cal BP. Los depósitos del Río Purón, en la Cuenca Alta del Ebro, comienzan a formarse hacia 9.275 cal BP (González-Amuchastegui y Serrano 2015) mientras que las barreras tobáceas de las Parras del Río Martín (Rico et al., 2013), los depósitos del Río Mijares (Peña et al., 2000) y los de Añavieja (Luzón et al., 2011) se instauran en 9.900, 10.000 y 10.375 cal BP, respectivamente. Las secuencias polínicas emplazadas en regiones próximas y altitudes similares a los edificios tobáceos previamente citados, muestran un paisaje dominado por coníferas (pinos y sabinas) en la mayoría de casos, limitándose el componente caducifolio, probablemente asociado a cursos fluviales y

vaguadas umbrías principalmente. Por lo tanto, no será hasta el Holoceno Medio (8.200-4.200 cal BP) cuando ocurra el reemplazo forestal, se active el hidrodinamismo y se inicie la construcción tobácea en la Iberia Mediterránea.

6.4. Óptimo Climático Holoceno (8.000-5.000 cal BP) en la Iberia Mediterránea: expansión del bosque Mediterráneo, incremento de la humedad y adaptaciones Neolíticas en el interior continental

Las secuencias de Villarquemado y Conquezueta, además de los resultados del estudio multiproxy realizado en las tobas del Moncayo, apuntan que durante el Holoceno Medio (8.200-4.200 cal BP), ocurrió el periodo más húmedo de los últimos 13.500 cal BP. Entre 8.000 y 5.000 cal BP, el paisaje vegetal se caracteriza, en el caso de Villarquemado por un encinar-quejigar en las inmediaciones de la laguna, mientras que las cotas altas de la Sierra de Albarracín y/o Palomera estarían dominadas por abedules, avellanos y otras especies planocaducifolias. Un paisaje similar fue reconstruido en la cercana secuencia de Orihuela del Tremedal en plena Sierra de Albarracín para el Holoceno Medio, siendo *Betula* y *Corylus*, junto con *Pinus*, los taxones con mayores frecuencias en el registro palinológico (Stevenson, 2000). El incremento de las partículas de microcarbón en la secuencia del Tremedal en este mismo periodo, apunta a que la biomasa sería abundante, al igual que se registra en otros lugares del este peninsular (Gil-Romera et al., 2010, 2014; Burjachs and Expósito, 2015).

Los pinares y sabinas pierden el dominio en el ámbito continental, dando paso a la expansión de diversas quercíneas, entre las que probablemente destacarían la encina en las zonas continentales y la coscoja en las regiones más térmicas. Este cambio vegetal es el

resultado de la disminución de la continentalidad y sugiere un incremento de las temperaturas invernales a escala peninsular, mientras que progresivamente se va instalando la sequía estival en las regiones de influencia Mediterránea (Jalut et al., 2000). Las secuencias localizadas al este peninsular como Les Alcusses (Tallón-Armada et al., 2014), Lago de Estanya (Pérez-Sanz, 2013; González-Sampériz et al., en revisión), Laguna de Castelló (Ejarque et al., 2016), Algendar (Yll et al., 1997), Navarrés (Carrión y van Geel, 1999) y Villaverde (Carrión et al., 2001b), entre otros, muestran el desarrollo de un bosque esclerófilo caracterizado por taxones claramente Mediterráneos como *Quercus ilex-coccifera*, *Q. suber*, *Pistacia*, *Rhamnus* y *Olea*. La presencia continua de especies mesófilas en zonas donde prácticamente su distribución es relicta o inexistente en la actualidad, señala a que la precipitación debía de ser mayor en las zonas del sur peninsular entre 8.000-5.000 cal BP. *Betula*, *Corylus* y *Acer*, de acuerdo al espectro polínico de los registros de Siles (Carrión, 2002), Cañada de la Cruz (Carrión et al., 2001a), Laguna de las Madres (Stevenson, 1985) y Antás (Pantaleón-Cano et al., 2003), muestran la presencia pretérita de flora asociada a un ambiente más cálido durante el Holoceno Medio.

La distribución del avellano a escala peninsular durante el Holoceno Medio sigue, *grosso modo*, la tendencia del resto de especies caducifolias. Su distribución ocupa en la región Atlántica prácticamente todos los pisos bioclimáticos abarcables, llegando a alcanzar 30% en la mayoría de depósitos estudiados. Los microfósiles son comúnmente hallados en cuevas de época Mesolítica y Neolítica (e.g Heinz, 1991; Uzquiano, 1995; Allué et al., 2009, 2012; Ruiz-Alonso y Zapata, 2015) y en depósitos litorales (García-Amorena et al., 2008). En el mundo Mediterráneo, el Holoceno Medio se caracteriza por ser el periodo donde *Corylus* alcanza su mayor extensión, expandiéndose en las principales cadenas montañosas, ya sean los Pirineos orientales, el Sistema Ibérico, Sistema Central y Sierra Nevada. En el ámbito meso-Mediterráneo, es comúnmente hallado con frecuencias en torno al 5-10% señalando su presencia a nivel regional. La secuencia de Villarquemado es claro ejemplo de cómo las poblaciones de avellano pudieron llegar a alcanzar, en pequeñas proporciones, zonas semiáridas del interior continental durante el Holoceno Medio. Actualmente, las poblaciones quedan limitadas a corredores fluviales y zonas intra-montañosas en el mundo continental probablemente, como testigos de una distribución más extensa durante el Óptimo Climático Holoceno (9.500-5.000 cal BP).

Las secuencias sedimentológicas de Villarquemado y Conquezuella concuerdan con los resultados polínicos obtenidos en los dos registros. La oscilación de una laguna

carbonatada hacia un ambiente siliciclástico en Villarquemado, apunta a que por lo menos existía un ambiente lacustre estable entre 7.000-5.000 cal BP, sin oscilaciones abruptas en la lámina de agua. Esto pudo ser resultado directo de la cantidad de precipitación entrante en la cuenca, la cual pudo ser mayor a escala anual, o bien resultado de una reducción de la evaporación de verano, provocando un balance hídrico positivo. De la misma forma, el registro de Conquezuella dispone de una tasa de sedimentación constante entre 7.540 y 5.890 cal BP, fruto de la disminución de las arroyadas e input terrestre. En ambas lagunas se registran los niveles de agua más altos del Holoceno en estos momentos, los cuales correlacionan cronológicamente con los identificados en Estanya (Morellón et al., 2009; González-Sampériz et al., en revisión), en la Basa de la Mora (Pérez-Sanz et al., 2013) en el paleolago de Marcelino (Pellicer et al., 2016), en Banyoles (Revelles et al., 2015), en Salines (Burjachs et al., 2016) y prácticamente en toda la península Ibérica (Harrison y Digerfeldt, 1993) y Cuenca Mediterránea (Jalut et al., 2009).

Este incremento de la actividad hidrológica ha sido también registrado en la cronología de los depósitos de los ríos Queiles y Val. Los depósitos estudiados se emplazan entre 9.500-4.000 cal BP señalando una actividad hidrológica importante en el Moncayo. La flora que albergan los diversos depósitos estudiados está bien adaptada a un contexto fluvial, en los cuales destacan los avellanos, robles, arces, sauces, chopos y castaños, entre otros. Los

edificios de esta parte del Sistema Ibérico quedan bien enmarcados de acuerdo a la reciente revisión realizada por Sancho et al. (2015), y son sincrónicos a las cronológicas arrojadas por otros edificios carbonatados más meridionales (p.e., Sancho et al., 1997; Taylor et al., 1998; Peña et al., 2000; Domínguez-Villar et al., 2012).

El incremento de las condiciones húmedas y la extensión de grandes cuerpos de agua en el Valle de Ambrona pudieron haber favorecido la colonización de las primeras comunidades Neolíticas en la región. El trabajo arqueobotánico realizado por Stika, (2005) resulta acorde con los datos polínicos obtenidos en la secuencia de Conquezueta que se incluyen en esta Tesis. Ambos estudios, junto con las investigaciones arqueológicas realizadas en el valle, han servido para trazar la historia socio-económica y los cambios ambientales ocurridos en la zona durante el Holoceno Medio. La secuencia polínica comienza con el predominio de pinares en ámbito local, paisaje que difiere de la secuencia de Villarquemado en su composición florística. Las quercíneas, a diferencia del paisaje actual, son prácticamente inexistentes en el registro. Este hecho es común en las secuencias polínicas localizadas en el Sistema Central donde el predominio de pinares durante todo el Holoceno es la gran característica de estos ecosistemas continentales (Franco-Múgica et al., 1998; Rubiales et al., 2010). Los datos antracológicos de los diversos yacimientos Neolíticos y Calcolíticos analizados en Ambrona

señalan el predominio absoluto de pinares en el espectro obtenido, al igual que ocurre en otros estudios de macrofósiles llevados a cabo en áreas próximas (Rubiales et al., 2007; Rubiales y Génova, 2015; Génova et al., 2016). Aunque siempre existe un sesgo en la selección de combustible por las poblaciones prehistóricas (Asouti y Austin., 2005), el predominio absoluto del pino, tanto en el espectro polínico como en el antracológico, sugiere que los pinares tenían presencia no sólo regional sino también a escala local en el paisaje de Ambrona durante el Neolítico y prácticamente todo el Holoceno.

El cambio vegetal que se registra entre 6.200 y 3.200 cal BP señala una apertura forestal, probablemente debida a las actividades humanas, que progresivamente van expandiendo las actividades agrícolas y ganaderas en el valle. El paso abrupto de un paisaje forestal con valores de polen arbóreo (AP) de un 70% a otros con proporciones de AP en torno al 50%, señalan probables deforestaciones llevadas a cabo por los pobladores locales. La expansión de taxones ruderales y nitrófilos como Compositae, Brassicaceae, *Plantago* y *Urtica*, así como el incremento de las esporas de hongos coprófilos (Sordariales), advierten de un uso extensivo del territorio. Resultados similares procedentes de secuencias lacustres localizadas cerca de yacimientos arqueológicos (p.e., López-Merino et al., 2010a; Tallón-Armada et al., 2014; Revelles y van Geel, in press), registran en sus secuencias una composición polínica muy similar.

Las cronologías de ocupación Neolítica en ámbito continental Mediterráneo han sido cuestionadas hasta hace poco tiempo por las diversas escuelas arqueológicas (Zilhao, 2001; Rojo-Guerra et al., 2006). Tradicionalmente, la Neolitización del interior peninsular ha sido considerada marginal y secundaria, desechando en muchos casos las cronologías que arrojaban las múltiples evidencias datadas. No obstante, el control radiocarbónico de material de vida corta procedente de numerosos yacimientos de interior (p.e., Peña-Chocarro et al., 2005; Stika, 2005; Rojo-Guerra et al., 2006) ha arrojado nuevos resultados que replantean las teorías clásicas de expansión de la agricultura y ganadería a escala peninsular. Según los datos aportados por Rojo-Guerra et al. (2006) y Stika (2005), las primeras ocupaciones en el Valle de Ambrona se remontan al Neolítico Temprano, cronológicamente emplazado entre 7.240 y 6.450 cal BP. No existe ninguna evidencia clara de la presencia Mesolítica en el valle. En este sentido, es posible que las condiciones húmedas, tanto a nivel regional como local, pudieran haber resultado atractivas para facilitar la expansión hacia el interior de Iberia y ocupar los valles con cursos de agua activos. A escala peninsular y de Cuenca Mediterránea, no resulta sorprendente encontrar evidencias que señalen ocupaciones humanas en entornos lacustres (Di Rita y Melis, 2013; Fiorentino et al., 2013; Revellés et al., 2015; Cremaschi et al., 2016), las cuales se asocian a fases húmedas y periodos climáticamente favorables, propiciando el desarrollo de las actividades económicas y la

expansión demográfica (Mercuri et al., 2011; Roberts et al., 2011; Lillios et al., 2016).

6.5. El retorno de la aridez durante el Holoceno Tardío (post 5.000 cal BP): disminución de niveles lacustres, expansión del bosque esclerófilo y presencia de pinares en la Iberia Mediterránea

El restablecimiento de las condiciones de aridez en la Cuenca Mediterránea ha sido uno de los marcadores bioestratigráficos más notorios en la mayoría de secuencias multiproxy que se enmarcan en el Holoceno Tardío (post-5.000 cal BP) (Carrión et al., 2010a,b; Pérez-Obiol et al., 2011; Roberts et al., 2011; Sadori et al., 2011). La secuencia de Villarquemado es testigo de la regresión del bosque Mediterráneo y de la disminución de especies caducifolias que, probablemente, habrían estado presentes tanto en las inmediaciones de la laguna como en las próximas Sierras de Albarracín y/o Palomera. El retroceso sufrido por *Corylus*, *Betula*, y en menor medida *Quercus* tipo *faginea*, se asocia a la disminución del input pluviométrico. La expansión de pinares de montaña en la región, concuerda con los resultados observados por Stevenson, (2000) en Orihuela del Tremedal. En Conquezueta, apenas existe reemplazo vegetal y los pinares continúan dominando el paisaje vegetal junto a taxones nitrófilos que indican la persistente existencia de actividades humanas en el valle. Estos datos correlacionan con secuencias localizadas en ambientes similares a escala peninsular.

En numerosas ocasiones se ha considerado que las actividades humanas han sido el único factor modelador del paisaje vegetal en fechas posteriores al Holoceno Medio. Tanto la secuencia de Navarrés (Carrión y van Geel,

1999), como las de Les Alcusses (Tallón-Armada et al., 2014), Laguna de la Mula (Jiménez-Moreno et al., 2013) o Serra da Estrela (Connor et al., 2012) en la región Mediterránea, así como Xan de Llamas o Arroyo de Vallefondo (Morales-Molino et al., 2011), Campo Lameiro (Kaal et al., 2011) o La Molina (Pérez-Obiol et al., 2016) en la zona Atlántica, son claro ejemplo de cómo las poblaciones locales han podido modificar las pautas vegetales por medio de la acción del fuego. Comúnmente, el uso del fuego se ha relacionado con la apertura del paisaje con el objetivo de desarrollar diversas actividades agrarias y la expansión extensiva de la ganadería (Valbuena-Carabaña et al., 2010). No obstante, cuando los cambios ambientales son sincrónicos a escalas geográficas amplias, no es posible relacionar el rol humano a todo reemplazo vegetal, si no que el factor climático ha de considerarse de primer orden también. Las revisiones realizadas sobre la actividad del fuego en la Cuenca Mediterránea (Vannièr et al., 2011), apuntan a un incremento sincrónico de los incendios en la zona occidental del Mediterráneo entre 4.000 y 3.500 cal BP, cuyas causas parecen estar vinculadas al desplazamiento latitudinal del Cinturón de Convergencia Intertropical (ITCZ) (Tzedakis, 2007; Roberts et al., 2011). En este sentido, las secuencias multiproxy pueden arrojar información independiente de los indicadores

polínicos y ayudar a definir cuáles son los factores que dominan en la región durante el Holoceno Tardío. La secuencia de Villarquemado revela una disminución de la lámina de agua y la deposición del carbonato en torno a ca. 5.000 cal BP, cambio sincrónico a nivel polínico con la desaparición de taxones mesófilos. De la misma forma, en el registro de Conquezueta, se observa una disminución de la lámina de agua a 5.400 cal BP y el paso definitivo a un ambiente de tipo turbera en torno a 1.000 cal BP, que es rápidamente intuido gracias al incremento exponencial de flora higrófila (Cyperaceae, Juncaceae, Poaceae). Cambios abruptos en la lámina de agua han sido ampliamente registrados en el mundo Mediterráneo en cronologías posteriores al 5.000 cal BP (Martín-Puertas et al., 2008; Morellón et al., 2009; Vegas et al., 2010; Jiménez-Moreno y Anderson, 2012; García-Alix et al., 2012; Jiménez-Moreno et al., 2013, 2015; Navarro-Hervás et al., 2014; Carmona et al., 2016; Ejarque et al., 2016).

El estudio tobáceo también arroja los mismos resultados. Los edificios del Río Queiles paralizan su formación en torno al 4.000 cal BP, del mismo modo que los del Río Purón y el Molinar, ambos localizados en la Cuenca Alta del Ebro, evidencian el cese de la precipitación carbonatada hacia 4.500 cal BP (González-Amuchastegui y Serrano, 2015). En el Sistema Ibérico, Sancho et al. (1997) sugiere que las causas de la disminución de la actividad hidrológica podrían estar vinculadas al incremento de las condiciones de aridez,

aunque tampoco se descarta el impacto humano (González-Amuchastegui y Serrano, 2015). De la misma forma, Dominguez-Villar et al. (2012), identifican distintas fases erosivas en relación a diversos eventos de aridez.

La distribución peninsular del avellano durante el Holoceno Tardío evidencia la progresiva tendencia hacia condiciones de aridez, que también se identifican en los indicadores polínicos, hidrológicos y geomorfológicos por toda Iberia. El número de secuencias que muestran la ausencia de *Corylus* en el registro sedimentario aumenta considerablemente, en especial en aquellas localizadas en las zonas continentales y del sur peninsular. En las Islas Baleares, siendo característica clave la ausencia de la especie en la actualidad, las secuencias polínicas señalan la rápida regresión del taxón y el establecimiento de la maquia Mediterránea (Yll et al., 1997), en respuesta al incremento térmico y la disminución pluviométrica. Este drástico cambio y pérdida de las comunidades de planocaducifolias, también ha ocurrido en otras zonas insulares como Sicilia, donde el avellano ha mostrado una rápida regresión post 5.500 cal BP (Pérez-Obiol y Sadori, 2007). En el Sistema Ibérico y en Sierra Nevada, el avellano es esporádicamente encontrado en los registros sedimentarios, señalando su presencia en alguna zona de refugio. El paso de un 15% hace 8.500 años a prácticamente la ausencia total en la secuencia de Villarquemado en el Holoceno Tardío, advierte del incremento de la aridez en el contexto continental.

En la región Eurosiberiana, la mayoría de registros presentan *Corylus* en el espectro polínico, incluso siendo junto con *Quercus* y *Betula* uno de los elementos principales del bosque caducifolio. No obstante, las frecuencias disminuyen notablemente en todos los registros polínicos dando paso a la expansión del brezal atlántico (Carrión et al., 2010; López-Merino et al., 2012, 2014; Silva-Sánchez et al., 2014). Este cambio se asocia con el Neoglacial (4.000-3.500 cal BP), periodo frío que favorece el avance de los glaciares en el Pirineo (Pallàs et al., 2006; García-Ruiz et al., 2015), Picos de Europa (Oliva et al., 2016; Ruiz-Fernández et al., 2016) y en Sierra Nevada (Oliva y Gómez-Ortiz, 2012). El incremento de las condiciones frías pudo haber reestructurado el límite altitudinal de las poblaciones de avellano (p.e., Moreno et al., 2011; Pérez-Díaz et al., 2016; Pérez-Obiol et al., 2016), quedando acantonadas en zonas intra-montanas y áreas próximas al litoral Cantábrico (p.e., García-Amorena et al., 2007, 2008). No obstante, la distribución que presenta para el Holoceno Tardío es similar a la presente, señalando que las poblaciones se encuentran bien estructuradas dentro de su rango de distribución Europea y que por lo menos en la actualidad, las condiciones climáticas son propicias para favorecer su desarrollo. Esto en cambio no parece suceder en el ámbito continental. El incremento de la aridez a escala Mediterránea en la transición Holoceno Medio-Tardío (ca.

5.000 cal BP) ha provocado el desplazamiento latitudinal de las poblaciones a zonas más húmedas, la adaptación a micro-refugios interiores o la desaparición definitiva.

Las síntesis biogeográficas, tanto de fauna como de flora, realizadas a partir de datos procedentes del registro fósil, resultan clave a la hora de conocer la distribución de especies en el pasado. Sólo así se puede ayudar a predecir o modelizar los potenciales cambios que puedan producirse en las futuras décadas (Martínez-Meyer et al., 2004; Benito Garzón et al., 2008). Diversos trabajos realizados en esta línea han propiciado la visión a larga escala de cómo han menguado distintas poblaciones en la historia geológica reciente (p.e., Follieri et al., 1986; Postigo-Mijarra et al., 2008; Rubiales et al., 2008; González-Sampérez et al., 2010), debido a causas tanto climáticas (Blois et al., 2013; Wroe et al., 2013) como humanas (Burney y Flannery, 2005; Pushkina y Raia, 2008; Sandom et al., 2014). En este sentido, resulta crucial integrar toda información ambiental publicada durante todos estos años, no sólo con el fin de dar a conocer la respuesta de los ecosistemas a los múltiples cambios ambientales del Cuaternario, sino también para poder desarrollar planes de gestión y conservación de las poblaciones más vulnerables.

6.6. El paisaje agrario del interior continental durante el último milenio

El paisaje agrario que tanto caracteriza las Mesetas peninsulares tiene un origen relativamente reciente, aunque sí que existen secuencias polínicas, acompañados por datos carpológicos, que reflejan el uso de la agricultura de manera extensiva desde, por lo menos, el Calcolítico y época Romana (López-Merino et al., 2010b). Las secuencias de Villarquemado y Conquezueta son buenos ejemplos de cómo en las áreas de interior, la agricultura de cereal ha ido extendiéndose progresivamente en los últimos 1.000 años.

Los registros polínicos apuntan hacia valores reducidos de cobertura arbórea en las etapas post-Romanas, aunque existen discrepancias regionales. El espectro polínico registra un importante componente de taxones ruderales cosmopolitas, tales como *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Compositae*, *Brassicaceae*, etc., herbáceas que se asocian con la expansión de zonas de cultivo. *Urtica* y *Plantago* son buenos indicadores de pastoreo a nivel local. Este espectro es frecuentemente acompañado por hongos coprófilos de la familia *Sordariaceae* y clamidosporas de *Glomus* sp., completando la información relativa a actividades económicas y el grado de impacto humano en el paisaje resultante. El uso del fuego por parte de las

poblaciones humanas incrementa notablemente en el último milenio (Gil-Romera et al., 2010; Rull et al., 2011; Corella et al., 2013, entre otros), y resulta muy difícil de discernir de su variabilidad natural. No obstante, los incendios han sido y son un factor interno de los ecosistemas naturales Mediterráneos (Pausas y Keeley, 2009), los cuales impulsan la sucesión vegetal, regeneran los nutrientes y afectan a la dinámica de la materia orgánica (Pausas et al., 1999, 2002), factores esenciales para aquellas especies que han co-evolucionado con el fuego (Bond y Keeley, 2005).

Tanto la secuencia de Villarquemado como la de Conquezueta no tienen suficiente resolución para registrar los cambios climáticos que han ocurrido en los últimos 1000 años. No obstante, la literatura paleoambiental peninsular señala una alta variabilidad climática, comenzando por la Anomalía Climática Medieval (Moreno et al., 2012), la Pequeña Edad de Hielo (González-Trueba et al., 2008; García-Ruiz et al., 2014) o el Calentamiento Actual (Giorgi y Lionello, 2008). Estas oscilaciones climáticas han tenido un claro impacto tanto en la hidrología (Morellón et al., 2012), como en la dinámica de la vegetación (Pérez-Sánchez et al., 2013) y en las prácticas humanas (Pérez-Sánchez et al., 2011).

6.7. El potencial paleobotánico, bioestratigráfico y biogeográfico de los depósitos tobáceos Cuaternarios

El potencial de los carbonatos terrestres, en especial las tobas y travertinos fluviales, como indicadores paleoclimáticos ha sido ampliamente demostrado a escala Europea a lo largo del último siglo (Ford y Pedley, 1996). El crecimiento tobáceo se asocia a las etapas interglaciales, siendo comunes encontrar para la escala Mediterránea edificios construidos durante el Pleistoceno Medio (p.e., Ordoñez et al., 2005; Pazzaglia et al., 2013; Sáncho et al., 2015) y Superior (p.e., Valero-Garcés et al., 2008; Dominguez-Villar et al., 2011; Vázquez-Urbez et al., 2011). Estos archivos, caracterizados por ser frágiles desde el punto de vista ambiental, ejemplifican de manera directa la variabilidad hidrológica y la temperatura, siendo potencialmente idóneos para realizar estudios isotópicos (Andrews et al., 2000).

Desde el punto de vista bioestratigráfico, los estudios malacológicos han adquirido importancia vital en la mayoría de trabajos de este tipo (p.e., Rousseau et al., 1992; Limondin-Lozouet y Antoine, 2006), facilitando correlaciones a escala regional y cubriendo cronologías, que van desde el Mioceno (Koban y Schwigert, 1993) hasta el Holoceno Tardío (Taylor et al., 1998). La fauna de ostrácodos también ha sido objeto de estudio por numerosos investigadores, adquiriendo especial énfasis el estudio isotópico y geoquímico de las valvas preservadas (Taylor et al., 1994; Sohar

y Kalm, 2008). Sin embargo, el contenido polínico y en menor medida el antracológico, han sido pobremente estudiados desde la vertiente paleobotánica. Los estudios palinológicos en tobas y travertinos, son muy escasos a escala de Cuenca Mediterránea, siendo difícil extraer resultados fiables que concuerden con la estratigrafía realizada y no se achaquen a eventos de contaminación. La esterilidad polínica se ha vinculado a la oxidación de los palinomorfos. No obstante, la reciente revisión realizada por Bertini et al. (2014), apunta que más que los procesos de oxidación del material depositado, son las tasas de deposición del carbonato las que limitan la presencia del polen. Por ello, es crucial trabajar con un buen modelo sedimentario y tener en mente la geomorfología de la zona que se está trabajando. Las zonas de remanso asociadas a pozas suelen ser lugares idóneos, ya que normalmente intercalan facies orgánicas con abundantes restos vegetales con gran potencial para ser datados e identificados anatómicamente.

Los resultados paleobotánicos obtenidos en los distintos perfiles tobáceos estudiados en la presente Tesis Doctoral en cambio, dan ejemplo del potencial que albergan este tipo de archivos sedimentarios a la hora de indagar la flora pretérita peninsular. Localizados en una zona fragmentaria desde el punto de vista paleofitogeográfico, los datos polínicos de los

Ríos Queiles y Val han ayudado a reconstruir el paisaje vegetal, el cual está compuesto por un ambiente ripario a nivel local y por un bosque Mediterráneo en las inmediaciones de los edificios, similar al paisaje actual. A grandes rasgos, se ha establecido la correlación de secuencias para la zona meso-Mediterránea, caracterizada por quercíneas y flora termófila (*Olea*, *Pistacia*, *Rhamnus*) y pinares y bosque planocaducifolio en las elevaciones supra-Mediterráneas. Los datos antracológicos han aportado una visión sumamente enriquecedora sobre la composición florística local en el Macizo de Moncayo durante el Holoceno Medio, en los cuales destaca la presencia del tejo y el castaño. Estos datos confirman, como se discutirá a continuación, la presencia de especies cuya existencia no es fácil de trazar en el espectro polínico.

6.8. Nuevos resultados sobre el origen nativo del castaño (*Castanea sativa* Mill.) en la Península Ibérica.

Tal y como ampliamente se ha discutido en el capítulo dedicado a las tobas Holocenas del Moncayo (capítulo 5.3), la presencia del castaño en fechas previas a la conquista Romana de la zona, manifiesta a ciencia cierta su distribución en el macizo durante el Óptimo Climático del Holoceno. Los datos polínicos que han sido identificados en los distintos depósitos carbonatados a lo largo de las cronologías radiocarbónicas disponibles (ca. 9.500-4.000 cal BP), correlacionan con los trabajos previamente realizados en lagunas y turberas ombrotóricas localizadas en niveles supra-Mediterráneos, tales como Laguna del Hornillo (Ruiz-Zapata et al., 2015), Laguna Grande (Ruiz-Zapata et al., 2002) u Hoyos de Iregua (Gil-García et al., 2002). Los datos de carbones pertenecientes tanto a *Castanea/Quercus* como a *Castanea sativa*, éste último directamente datado mediante radiocarbono, emplazan a las poblaciones en las inmediaciones de los cursos fluviales del Río Queiles durante el Holoceno Medio-Tardío. Ha de comentarse que a día de hoy, el castaño forma parte de las comunidades riparias y freatófilas, junto con avellanos, sauces, chopos, arces, nogales y robles. Nativo o asilvestrado, los datos paleobotánicos apuntan al carácter autóctono del castaño en el Macizo del Moncayo desde épocas preteritas.

La revisión realizada para los macrofósiles de *Castanea sativa* a partir de numerosas secuencias arqueológicas, y cronológicamente

asociadas a etapas pre-Romanas, apunta a que la especie sobrevivió en las zonas Eurosiberianas desde el Tardiglacial (Uzquiano, 2014) hasta el presente (García-Amorena et al., 2007, 2008). Es verdad que la identificación antracológica en algunos casos es compleja porque su taxonomía anatómica es similar a la del género *Quercus*, por lo que se ha optado por considerar también al grupo *Quercus/Castanea* (p.e., Ruiz-Alonso y Zapata, 2015) en la revisión.

Las primeras evidencias de castaño se remontan al Tardiglacial, ca. 45.000 y 34.400 cal BP, a lo largo de números registros arqueológicos de la vertiente Atlántica (Uzquiano, 2014). Las condiciones climáticas asociadas resultarían algo más favorables en el litoral, debido a un input de precipitación mayor y una menor continentalidad, que las reconstruidas para el mundo Mediterráneo. Unos resultados similares fueron obtenidos en el caso del avellano, el cual sigue una distribución continua por todo el Cantábrico (Uzquiano, 2014). Las poblaciones de castaño pudieron haber quedado acantonadas en valles intra-montanos hasta el comienzo del Holoceno, que es cuando adquieren la mayor distribución de forma natural, según la literatura existente (Ruiz-Alonso y Zapata, 2015), y coincidiendo con el inicio de la etapa benigna climáticamente para la expansión del bosque mixto caducifolio (Iriarte-Chiapusso et al., 2016).

Desde el periodo Romano hasta la actualidad, el incremento del castaño es notorio en numerosas áreas de la zona occidental y septentrional peninsular (p.e., Abed-Schaad y López-Sáez, 2012; Currás et al., 2012; López-Sáez et al., 2016). Los datos polínicos concuerdan con la información carpológica publicada, atestiguando la expansión de la arboricultura por parte de diversas culturas, y su introducción en la economía local (Hérmendez Bermejo y García Sánchez, 1998). En algunos casos como en la recientemente publicada turbera de El Tiemblo, López-Sáez et al., (2016) demuestran la existencia de castaños en la Sierra de Gredos en épocas precedentes a la romana (desde 3.130 cal BP). Resulta especialmente interesante conocer la dinámica reciente de estas poblaciones, las cuales se encuentran emplazadas en su límite de distribución natural. Discernir la historia natural de especies tradicionalmente asignadas a un origen alóctono, es posible gracias a las herramientas de las que los palinólogos y paleobotánicos nos servimos, pudiendo así hacer frente a ciertas ideas erróneas que a día de hoy aún perduran en la literatura ecológica y arqueológica. Simular y cuantificar el grado de antropización del medio, así como predecir la respuesta de las comunidades Mediterráneas frente al progresivo incremento térmico que estamos viviendo a nivel planetario, han de considerarse y desarrollarse bajo la perspectiva que las paleociencias pueden ofrecer. La presente Tesis Doctoral es claro ejemplo de

cómo la integración de distintas disciplinas, ya sean las geociencias (sedimentología, geoquímica, climatología, hidrología), ciencias biológicas (palinología y antracología), así como las ciencias sociales (arqueología), pueden detallar nuestra historia ambiental para los últimos 13.500 años.

Referencias

- Abel-Schaad, D., López-Sáez, J.A., 2012. Vegetation changes in relation to fire history and human activities at the Peña Negra mire (Bejar Range, Iberian Central Mountain System, Spain) during the past 4,000 years. *Vegetation History and Archaeobotany* 22, 199–214.
- Allen, H., 2003. Response of past and present Mediterranean ecosystems to environmental change. *Progress in Physical Geography* 27 3, 359–377.
- Allué, E., Vernet, J.-L., Cebrià, A., 2009. Holocene vegetational landscapes of NE Iberia: charcoal analysis from Cova de la Guineu, Barcelona, Spain. *The Holocene* 19, 765–773.
- Allué, E., Martínez-Moreno, J., Alonso, N., Mora, R., 2012. Changes in the vegetation and human management of forest resources in mountain ecosystems at the beginning of MIS 1 (14.7–8 ka cal BP) in Balma Guilanyà (Southeastern Pre-Pyrenees, Spain). *Comptes Rendus Palevol* 11, 507–518.
- Ammann, B., Birks, H.J.B., Brooks, S.J., Eicher, U., von Grafenstein, U., Hofmann, W., Lemdahl, G., Schwander, J., Tobolski, K., Wick, L., 2000. Quantification of biotic responses to rapid climatic changes around the Younger Dryas — a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 159, 313–347.
- Anderson, R.S., Jiménez-Moreno, G., Carrión, J.S., Pérez-Martínez, C., 2011. Postglacial history of alpine vegetation, fire, and climate from Laguna de Río Seco, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Science Reviews* 30, 1615–1629.
- Andrews, J.E., Pedley, H.M., Dennis, P.F., 2000. Palaeoenvironmental records in Holocene Spanish tufas: a stable isotope approach in search of reliable climatic archives. *Sedimentology* 47, 961–978.
- Asouti, E., Austin, P., 2005. Reconstructing Woodland Vegetation and its Exploitation by Past Societies, based on the Analysis and Interpretation of Archaeological Wood Charcoal Macro-Remains. *Environmental Archaeology* 10, 1–18.
- Aura, J.E., Jordá, J.F., Montes, L., Utrilla, P., 2011. Human responses to Younger Dryas in the Ebro valley and Mediterranean watershed (Eastern Spain). *Quaternary International* 242, 348–359.
- Bartolomé, M., Moreno, A., Sancho, C., Stoll, H.M., Cacho, I., Spötl, C., Belmonte, Á., Edwards, R.L., Cheng, H., Hellstrom, J.C., 2015. Hydrological change in Southern Europe responding to increasing North Atlantic overturning during Greenland Stadial 1. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 6568–6572.
- Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R., Sainz Ollero, H., 2008. The evolution of the *Pinus sylvestris* L. area in the Iberian Peninsula from the last glacial maximum to 2100 under climate change. *The Holocene* 18, 705e714.
- Bermejo, J., Sánchez, E., 1998. Economic botany and ethnobotany in al-Andalus (Iberian Peninsula: tenth–fifteenth centuries), an unknown heritage of Mankind. *Economic Botany*, 52, 15–26
- Bertini, A., Minissale, A., Ricci, M., 2014. Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: anything but a 'mission impossible'. *Sedimentology* 61, 200–220.

- Bicho, N., Haws, J., Almeida, F., 2011. Hunter-gatherer adaptations and the Younger Dryas in central and southern Portugal. *Quaternary International* 242, 336–347.
- Birks, H.J.B., 1986. Late Quaternary biotic changes in terrestrial and lacustrine environments, with particular reference to north-west Europe. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp. 3-65.
- Blockley, S.P.E., Lane, C.S., Hardiman, M., Rasmussen, S.O., Seierstad, I.K., Steffensen, J.P., Svensson, A., Lotter, A.F., Turney, C.S.M., Bronk Ramsey, C., 2012. Synchronisation of palaeoenvironmental records over the last 60,000 years, and an extended INTIMATE1 event stratigraphy to 48,000 b2k. *Quaternary Science Reviews*, 36, 2–10.
- Blois, J., Williams, J., Fitzpatrick, M., Ferrier, S., Veloz, S., He, F., Liu, Z., Manion, G., Otto-Bliesner, B., 2013. Modeling the climatic drivers of spatial patterns in vegetation composition since the Last Glacial Maximum. *Ecography* 36, 460-473.
- Bond, W.J., J.E. Keeley., 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20, 387–394.
- Brauer, A., Haug, G.H., Dulski, P., Sigman, D.M., Nengendank, J.F.W., 2008. An abrupt wind shift in western Europe at the onset of the Younger Dryas cold period. *Nature Geoscience* 1, 520–523.
- Burdukiewicz, J.M., 2011. Late Glacial hunter-gatherer reactions to the Younger Dryas cooling event in the southern and eastern Baltic regions of Europe. *Quaternary International* 242, 302–312.
- Burjachs, F., Exposito, I., 2015. Charcoal and pollen analysis: examples of Holocene fire dynamics in Mediterranean Iberian Peninsula. *Catena* 135, 340-349.
- Burjachs, F., Jones, S.E., Giralt, S., Fernández-López de Pablo, 2016. Lateglacial to Early Holocene recursive aridity events in the SE Mediterranean Iberian Peninsula: The Salines playa lake case study. *Quaternary International* 403, 187-200.
- Burney, D.A., Flannery, T.F., 2005. Fifty millennia of catastrophic extinctions after human contact. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 387-394.
- Campbell, I.D., Campbell, C., 1994. Pollen preservation: Experimental wet-dry cycles in saline and desalinated sediments. *Palynology* 18, 5–10.
- Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, M., 2014. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology* 61, 1–21.
- Carmona, P., Ruiz-Pérez, J. M., Blázquez, A. M., López-Belzunce, M., Riera, S., Orengo, H., 2016. Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene*, 0959683616645940.
- Carrión, J.S., 2002. Patterns and processes of Late Quaternary environmental change in a montane region of southwestern Europe. *Quaternary Science Reviews* 21, 2047-2066.

- Carrion, J.S., Dupre, M., 1996. Late Quaternary vegetational history at Navarrés, Eastern Spain. A two core approach. *New Phytologist* 134, 177–191.
- 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.
- Carrión, J.S., Leroy, S.A.G., 2010. Iberian floras through time: Land of diversity and survival. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 227–230.
- Carrión, J.S., Munuera, M., Dupré, M., Andrade, A., 2001a. Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene. *Journal of Ecology* 89, 783-797.
- Carrión, J.S., Andrade, A., Bennett, K.D., Navarro, C., Munuera, M., 2001b. Crossing forest thresholds: inertia and collapse in a Holocene sequence from south-central Spain. *The Holocene* 11, 635-653.
- Carrión, J.S., Yll, E.I., Walker, M.J., Legaz, A.J., Chaín, C., López, A., 2003. Glacial refugia of temperate, Mediterranean and Ibero-North African flora in south-eastern Spain: new evidence from cave pollen at two Neanderthal man sites. *Global Ecology and Biogeography* 12, 119–129.
- Carrión, J.S., Fuentes, N., González-Sampérez, P., Sánchez Quirante, L., Finlayson, J.C., Fernández, S., Andrade, A., 2007. Holocene environmental change in a montane region of southern Europe with a long history of human settlement. *Quaternary Science Reviews* 26, 1455-1475.
- Carrión, J.S., Finlayson, C., Fernández, S., Finlayson, G., Allué, E., López-Sáez, J.A., López-García, P., Gil-Romera, G., Bailey, G., González-Sampérez, P., 2008. A coastal reservoir of biodiversity for Upper Pleistocene human populations: Palaeoecological investigations in Gorham's Cave (Gibraltar) in the context of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 27, 2118-2135.
- Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampérez, P., Gil-Romera, G., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., López-Sáez, J.A., Fierro, E., Burjachs, F., 2010a. Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 458-475.
- Carrión, J.S., Fernández, S., Jiménez-Moreno, G., Fauquette, S., Gil-Romera, G., González-Sampérez, P., Finlayson, C., 2010b. The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. *Journal of Arid Environments* 74, 731-736.
- Carrión, Y., Kaal, J., López-Sáez, J.A., López-Merino, L., Martínez Cortizas, A., 2010. Holocene vegetation change in NW Spain revealed by anthracological and palynological records from a colluvial soil. *The Holocene* 20, 53–66.
- Connor, S.E., Araújo, J., van der Knaap, W.O., van Leeuwen, J.F.N., 2012. A long-term perspective on biomass burning in the Serra da Estrela, Portugal. *Quaternary Science Reviews* 55, 114-124.
- Corella, J.P., Stefanova, V., El Anjoumi, A., Rico, E., Giralt, S., Moreno, A., PlataMontero, A., Valero-Garcés, B.L., 2013. A 2500-year multi-proxy reconstruction of climate change and human activities in northern Spain: the Lake Arreo record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386, 555-568.

- Cremaschi, M., Mercuri, A.M., Torri, P., Florenzano, A., Pizzi, C., 2016. Climate change versus land management in the Po Plain (Northern Italy) during the Bronze Age: New insights from the VP/VG sequence of the Terramara Santa Rosa di Poviglio. *Quaternary Science Reviews* 136, 153–172.
- Crombé, P., Robinson, E., 2014. 14C dates as demographic proxies in Neolithisation models of northwestern Europe: a critical assessment using Belgium and northeast France as a case-study. *Journal of Archaeological Science* 52, 558–566.
- Currás, A., Zamora, L., Reed, J.M., García-Soto, E., Ferrero, S., Armengol, X., Mezquita-Joanes, F., Marqués, M.A., Riera, S., Julià, R., 2012. Climate change and human impact in central Spain during Roman times: High-resolution multi-proxy analysis of a tufa lake record (Somolinos, 1280 m asl). *Catena* 89, 31–53.
- Davis, B.A.S., Stevenson, A.C., 2007. The 8.2 ka event and Early–Mid Holocene forests, fires and flooding in the Central Ebro Desert, NE Spain. *Quaternary Science Reviews* 26, 1695–1712.
- Di Rita, F., Melis, R.T., 2013. The cultural landscape near the ancient city of Tharros (central West Sardinia): Vegetation changes and human impact. *Journal of Archaeological Science* 40, 4271–4282.
- Dolukhanov, P.M., 1997. The Pleistocene–Holocene transition in Northern Eurasia: environmental changes and human adaptations. *Quaternary International* 41–42, 181–191.
- Domínguez-Villar, D., Vázquez-Navarro, J.A., Cheng, H., Lawrence Edwards, R., 2011. Freshwater tufa record from Spain supports evidence for the past interglacial being wetter than the Holocene in the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 77, 129–141.
- Domínguez-Villar, D., Vázquez-Navarro, J.A., Carrasco, R.M., 2012. Mid-Holocene erosive episodes in tufa deposits from Trabaque Canyon, central Spain, as a result of abrupt arid climate transitions. *Geomorphology* 161–162, 15–25.
- Ejarque, A., Julià, R., Reed, J. M., Mesquita-Joanes, F., Marco-Barba, J., Riera, S., 2016. Coastal Evolution in a Mediterranean Microtidal Zone: Mid to Late Holocene Natural Dynamics and Human Management of the Castelló Lagoon, NE Spain. *PLoS one* 11, e0155446.
- Finsinger, W., Tinner, W., van der Knaap, W.O., Ammann, B., 2006. The expansion of hazel (*Corylus avellana* L.) in the southern Alps: a key for understanding its early Holocene history in Europe? *Quaternary Science Reviews* 25, 612–631.
- Fiorentino, G., Caldara, M., Santis, V.D., D’Oronzo, C., Muntoni, I.M., Simone, O., Primavera, M., Radina, F., 2013. Climate changes and human–environment interactions in the Apulia region of southeastern Italy during the Neolithic period. *The Holocene* 23, 1297–1316.
- Fletcher, W.J., Debret, M., Goñi, M.F.S., 2013. Mid-Holocene emergence of a low-frequency millennial oscillation in western Mediterranean climate: Implications for past dynamics of the North Atlantic atmospheric westerlies. *The Holocene* 23, 153–166.
- Follieri, M., Magri, D., Sadori, L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytologist* 103, 269–273.

- Ford, T.D., Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews* 41, 117–175.
- Franco-Múgica, F., García Antón, M., Sainz Ollero, H., 1998. Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain. *The Holocene* 8, 69–82.
- Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado-Ruiz, J., Morla-Juaristi, C., Sainz-Ollero, H., 2001. The Holocene history of *Pinus* forests in the Spanish Northern Meseta. *The Holocene* 11, 343-358.
- Franco-Múgica, F., García-Antón, M., Maldonado-Ruiz, J., Morla-Juaristi, C., Sainz-Ollero, H., 2005. Ancient pine forest on inland dunes in the Spanish northern meseta. *Quaternary Research* 63, 1-14.
- García-Alix, A., Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., Jiménez-Espejo, F.J., Delgado-Huertas, A., 2012. Holocene environmental change in southern Spain deduced from the isotopic record of a high-elevation wetland in Sierra Nevada. *Journal of Paleolimnology* 48, 471-484.
- García-Amorena, I., Gómez-Manzaneque, F., Rubiales, J.M., Granja, H.M., Soares de Carvalho, G., Morla, C., 2007. The Late Quaternary coastal forests of western Iberia: a study of their macroremains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 254, 448–461.
- García-Amorena, I., Morla, C., Rubiales, J.M., Manzaneque, F.G., 2008. Taxonomic composition of the Holocene forests of the northern coast of Spain, as determined from their macroremains. *The Holocene* 18, 819–829.
- García-Ruiz, J.M., Palacios, D., Andres, N., de Valero-Garcés, B.L., López-Moreno, J.I., Sanjuán, Y., 2014. Holocene and “Little Ice Age” glacial activity in the Marboré Cirque, Monte Perdido Massif, Central Spanish Pyrenees. *The Holocene* 24, 1439-1452.
- Génova, M., Gómez-Manzaneque, F., Martínez-García, F., Postigo-Mijarra, J.M., 2016. Early Holocene vegetation in the Ayllón Massif (Central System Range, Spain) based on macroremains. A paleoecological approach. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 441, 811–822.
- Gil-García, M.J., Dorado-Valiño, M., Valdeolillos Rodríguez, A., Ruiz-Zapata, M.B., 2002. Late-glacial and Holocene palaeoclimatic record from Sierra de Cebollera (northern Iberian Range, Spain). *Quaternary International* 93-94, 13-18.
- Gil-Romera, G., Carrión, J.S., Pausas, J.G., Sevilla-Callejo, M., Lamb, H.F., Fernández, S., Burjachs, F., 2010. Holocene fire activity and vegetation response in South-Eastern Iberia. *Quaternary Science Reviews* 29, 1082-1092.
- Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J.S., Pérez Sanz, A., Aranbarri, J., García-Prieto, E., 2014. Biomass-modulated fire dynamics during the last glacial-interglacial transition at the Central Pyrenees (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 402, 113-124.
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63, 90–104.
- Gómez-Orellana, L., Ramil-Rego, P., Muñoz Sobrino, C., 2007. The Würm in NW Iberia, a pollen record

from Area Longa (Galicia). *Quaternary Research*, 67, 438–452.

González-Amuchastegui, M.J., Serrano, E., 2015. Tufa buildups, landscape evolution and human impact during the Holocene in the Upper Ebro Basin. *Quaternary International* 364, 54-64.

González Martín, J.A., González Amuchastegui, M.J. 2014. *Las Tobas en España*. Sociedad Española de Geomorfología, Badajoz. ISBN: 978-84-697-1469-0.

González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30,000 yr revealed by the El Portalet sequence. *Quaternary Research* 66, 38-52.

González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Morellón, M., Navas, A., Machín, J., 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.

González-Sampérez, P., Utrilla, P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena, M., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., Martínez-Bea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event. *Quaternary Research* 71, 121-132.

González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity

reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427-457.

González-Sampérez, P., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., Santos, L., Morellón, M., Mata, P., Andrade, A., Carrión, J.S., 2013. Reconstrucción paleoambiental del último ciclo glacial en la Iberia continental: la secuencia del Cañizar de Villarquemado (Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 49-76.

Heinz, C., 1991. Upper pleistocene and holocene vegetation in the south of France and Andorra. Adaptations and first ruptures: New charcoal analysis data. *Review of Palaeobotany and Palynology* 69, 299–324.

Isarin, R.F.B., Bohncke, S.J.P., 1999. Mean July Temperatures during the Younger Dryas in Northwestern and Central Europe as Inferred from Climate Indicator Plant Species. *Quaternary Research* 51, 158–173.

Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255-290.

Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200, 4-18.

González-Sampérez, P., Leroy, S.A.G., Carrión, J.S., Fernández, S., García-Antón, M., Gil-García, M.J., Uzquiano, P., Valero-Garcés, B., Figueiral, I., 2010. Steppes, savannahs, forests and phytodiversity

reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 427–457.

González-Sampéris, P., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., GilRomera, G., Sevilla-Callejo, M., Santos, L., Morellón, M., Mata, P., Andrade, A., Carrión, J.S., 2013. Reconstrucción paleoambiental del último ciclo glacial–interglacial en la Iberia continental: la secuencia del Cañizar de Villarquemado (Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 49–76.

González Trueba, J.J., Martín Moreno, R., Martínez de Pisón, E., Serrano, E., 2008. 'Little Ice age' glaciation and current glaciers in the Iberian Peninsula. *The Holocene* 18, 551-568.

Harrison, S.P., Digerfeldt, G., 1993. European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Quaternary Science Reviews* 12, 233-248.

Heinz, C., 1991. Upper Pleistocene and Holocene vegetation in the South of France and Andorra. Adaptations and firsts ruptures: new charcoal analysis data. *Review of Paleobotany and Palynology* 69, 299-324.

Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gomez-Orellana, L., Hernandez-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernandez Rodriguez, C., Heiri, O., Lotter, A.F., Ramil-Rego, P., 2016. Reviewing the Lateglacial-Holocene transition in NW Iberia: a palaeoecological approach based on the comparison between dissimilar regions. *Quaternary International* 403, 211-236.

Isarin, R. F. B., Bohncke, S., 1999. Mean July temperatures during the Younger Dryas in Northwestern and Central Europe as inferred from

climate indicator plant species. *Quaternary Research* 51, 158–173.

Jalut, G., Esteban Amat, A., Bonnet, L., Gauquelin, T., Fontugne, M., 2000. Holocene climatic changes in the Western Mediterranean, from south-east France to south-east Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 255-290.

Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: Climate forcing and human impact. *Quaternary International* 200, 4-18.

Jiménez-Moreno, G., Anderson, R.S., 2012. Holocene vegetation and climate change recorded in alpine bog sediments from the Borreguiles de la Virgen, Sierra Nevada, southern Spain. *Quaternary Research* 77, 44-53.

Jiménez-Moreno, G., García-Alix, A., Hernández-Corbalán, M.D., Anderson, R.S., Delgado-Huertas, A., 2013. Vegetation, fire, climate and human disturbance history in the southwestern Mediterranean area during the late Holocene. *Quaternary Research* 79, 110-122.

Jimenez-Moreno, G., Rodríguez-Ramírez, A., Pérez-Asensio, J.N., Carrión, J.S., López-Saez, J.A., Villarías-Robles, J.J.R., Celestino-Pérez, S., Cerrillo-Cuenca, E., León, A., Contreras, C., 2015. Impact of late-Holocene aridification trend, climate variability and geodynamic control on the environment from a coastal area in SW Spain. *Holocene* 25, 607-617.

Kaal, J., Carrión Marco, Y., Asouti, E., Martín Seijo, M., Martínez Cortizas, A., Costa Casáis, M., Criado Boado, F., 2011. Long-term deforestation in NW Spain: linking the Holocene fire history to vegetation

change and human activities. *Quaternary Science Reviews* 20, 161–175.

Koban, C.G., Schweigert, G., 1993. Microbial origin of travertine fabrics: Two examples from southern Germany (Pleistocene Stuttgart travertines and Miocene Riedoschingen travertine). *Facies* 29, 251–264.

Kullman, L., 1998a. The occurrence of thermophilous trees in the Scandes Mountains during the early Holocene: evidence for a diverse tree flora from macroscopic remains. *Journal of Ecology* 86, 421–428.

Kullman, L., 1998b. Non-analogous tree flora in the Scandes Mountains, Sweden, during the early Holocene – macrofossil evidence of rapid geographic spread and response to palaeoclimate. *Boreas* 27, 153–161.

Kutiel, P., Kutiel, H., Lavee, H., 2000. Vegetation response to possible scenarios of rainfall variations along a Mediterranean–extreme arid climatic transect. *Journal of Arid Environments* 44, 277–290.

Lane, C.S., Brauer, A., Blockley, S.P.E., Dulski, P., 2013. Volcanic ash reveals time-transgressive abrupt climate change during the Younger Dryas. *Geology* 41, 1251–1254.

Lillios, K. T., Blanco-González, A., Drake, B. L., López-Sáez, J. A., 2016. Mid-late Holocene climate, demography, and cultural dynamics in Iberia: A multi-proxy approach. *Quaternary Science Reviews* 135, 138–153.

Limondin-Lozouet, N., Antoine, P., 2006. A new *Lyrodiscus* (Mollusca, Gastropoda) assemblage from Saint-Acheul (Somme Valley): a reappraisal of MIS

11 malacofaunas from northern France. *Boreas* 35, 622–633.

López-Merino, L., Martínez Cortizas, A., López-Sáez, J.A., 2010a. Early agriculture and palaeoenvironmental history in the North of the Iberian Peninsula: a multi-proxy analysis of the Monte Areo mire (Asturias, Spain). *Journal of Archaeological Science* 37, 1978–1988.

López-Merino, L., Peña-Chocarro, L., Ruiz Alonso, M., López-Sáez, J., Sánchez Palencia, F., 2010b. Beyond nature: the management of a productive cultural landscape in Las Medulas area (El Bierzo, Leon, Spain) during pre-Roman and Roman times. *Plant Biosystems* 144, 909–923

López-Merino, L., Silva Sánchez, N., Kaal, J., López-Sáez, J.A., Martínez Cortizas, A., 2012. Post-disturbance vegetation dynamics during the Late Pleistocene and the Holocene: An example from NW Iberia. *Global and Planetary Change* 92–93, 58–70.

López-Merino, L., Cortizas, A.M., Reher, G.S., López-Sáez, J.A., Mighall, T.M., Bindler, R., 2014. Reconstructing the impact of human activities in a NW Iberian Roman mining landscape for the last 2500 years. *Journal of Archaeological Science* 50, 208–218.

López-Sáez, J. A., Glais, A., Robles-López, S., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Luelmo-Lautenschlaeger, R., 2016. Unraveling the naturalness of sweet chestnut forests (*Castanea sativa* Mill.) in central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany*, 1–16.

Lotter, A.F., Birks, H.J.B., Eicher, U., Hofmann, W., Schwander, J., Wick, L., 2000. Younger Dryas and Allerød summer temperatures at Gerzensee

(Switzerland) inferred from fossil pollen and cladoceran assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 159, 349–361.

Luzón, A., Pérez, A., Mayayo, M.J., Soria, A.R., Sánchez Goñi, M.F., Roc, A.C., 2007. Holocene environmental changes in the Gallocanta lacustrine basin, Iberian Range, NE Spain. *The Holocene* 17, 649–663.

Luzón, M.A., Pérez, A., Borrego, A.G., Mayayo, M.J., Soria, A.R., 2011. Interrelated continental sedimentary environments in the central Iberian Range (Spain): Facies characterization and main palaeoenvironmental changes during the Holocene. *Sedimentary Geology* 239, 87–103.

MacDonald, G.M., Gervais, B.R., Snyder, J.A., Tarasov, G.A., Borisova, O.K., 2000. Radiocarbon dated *Pinus sylvestris* L. wood from beyond tree-line on the Kola Peninsula, Russia. *The Holocene* 10, 143–147.

Magny, M., Vannièrè, B., Calo, C., Millet, L., Leroux, A., Peyron, O., Zanchetta, G., La Mantia, T., 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.

Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 218, 267–284.

Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B.L., Mata, M.P., González-Sampériz, P., Bao, R., Moreno, A., Stefanova, V., 2008. Arid and humid phases in

southern Spain during the last 4000 years: the Zoñar Lake record, Córdoba. *The Holocene* 18, 907–921.

Martinez-Meyer, E., Peterson, A.T., Hargrove, W.W., 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 305–314.

Mercuri, A.M., Sadori, L., Uzquiano, P., 2011. Mediterranean and north-African cultural adaptations to mid-Holocene environmental and climatic changes. *The Holocene* 21, 189–206.

Mercuri, A.M., Allevato, E., Arobba, D., Bandini Mazzanti, M., Bosi, G., Caramiello, R., Castiglioni, E., Carra, M.L., Celant, A., Costantini, L., Di Pasquale, G., Fiorentino, G., Florenzano, A., Guido, M., Marchesini, M., Mariotti Lippi, M., Marvelli, S., Miola, A., Montanari, C., Nisbet, R., Peña-Chocarro, L., Perego, R., Ravazzi, C., Rottoli, M., Sadori, L., Uccesu, M., Rinaldi, R., 2015. Pollen and macroremains from Holocene archaeological sites: A dataset for the understanding of the bio-cultural diversity of the Italian landscape. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 218, 250–266

Miranda, J.D., Armas, C., Padilla, F.M., Pugnaire, F.I., 2011. Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. *Journal of Arid Environments* 75, 1302–1309.

Montes, L., Domingo, R., González-Sampériz, P., Sebastián, M., Aranbarri, J., Castaños, P., García-Simón, J.L., Alcolea, M., Laborda, R., 2016. Landscape, resources and people during the Mesolithic and Neolithic times in NE Iberia: the Arba de Biel Basin. *Quaternary International* 403, 133–150.

- Moore, A.M.T., Hillman, G.C., 1992. The Pleistocene to Holocene Transition and Human Economy in Southwest Asia: The Impact of the Younger Dryas. *American Antiquity* 57, 482–494.
- Morales-Molino, C., García Antón, M., Morla, C., 2011. Late Holocene vegetation dynamics on an Atlantic–Mediterranean mountain in NW Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 302, 323–337.
- Morales-Molino, C., García-Antón, M., 2014. Vegetation and fire history since the last glacial maximum in an inland area of the western Mediterranean Basin (Northern Iberian Plateau, NW Spain). *Quaternary Research* 81, 63–77.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Romero, Ó., Delgado-Huertas, A., Mata, P., Moreno, A., Rico, M., Corella, J.P., 2009. Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 28, 2582–2599.
- Morellón, M., Pérez-Sanz, A., Corella, J.P., Büntgen, U., Catalán, J., González-Sampériz, P., González-Trueba, J.J., López-Sáez, J.A., Moreno, A., Pla-Rabes, S., Saz-Sánchez, M.Á., Scussolini, P., Serrano, E., Steinhilber, F., Stefanova, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B., 2012. A multiproxy perspective on millennium-long climate variability in the Southern Pyrenees. *Climate of the Past* 8, 683–700.
- Moreno, A., López-Merino, L., Leira, M., Marco-Barba, J., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B.L., López-Sáez, J.A., Santos, L., Mata, P., Ito, E., 2011. Revealing the last 13,500 years of environmental history from the multiproxy record of a mountain lake (Lago Enol, northern Iberian Peninsula). *Journal of Paleolimnology* 46, 327–349.
- Moreno, A., Pérez, A., Frigola, J., Nieto-Moreno, V., Rodrigo-Gámiz, M., Martrat, B., González-Sampériz, P., Morellón, M., Martín-Puertas, C., Corella, J.P., Belmonte, Á., Sancho, C., Cacho, I., Herrera, G., Canals, M., Grimalt, J.O., Jiménez-Espejo, F., Martínez-Ruiz, F., Vegas-Vilarrúbia, T., Valero-Garcés, B.L., 2012. The Medieval Climate Anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records. *Quaternary Science Reviews* 43, 16–32.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., 2004. Vegetation of the Lago de Sanabria area (NW Iberia) since the end of the Pleistocene: a palaeoecological reconstruction on the basis of two new pollen sequences. *Vegetation History and Archaeobotany* 13, 1–22.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., Varela, R.A.D., 2005. Palynological data on major Holocene climatic events in NW Iberia. *Boreas* 34, 381–400.
- Muñoz-Sobrino, C., Ramil-Rego, P., Gómez-Orellana, L., 2007. Late Würm and early Holocene in the mountains of northwest Iberia: biostratigraphy, chronology and tree colonization. *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 223–240.
- Muñoz-Sobrino, C., Heiri, O., Hazekamp, M., van der Velden, D., Kirilova, E.P., García-Moreiras, I., Lotter, A.F., 2013. New data on the Lateglacial period of SW Europe: a high resolution multiproxy record from Laguna de la Roya (NW Iberia). *Quaternary Science Reviews* 80, 58–77.

- Navarro Hervás, F.; Ros Salas, M.M.; Rodríguez Estrella, T.; Fierro Enrique, E.; Carrión, J.S.; García Veigas, J.; Flores, J.A.; Bárcena, M.A.; García, M.S., 2014. Evaporite evidence of a mid-Holocene (c. 4550-4400 cal. Yr BP) aridity crisis in southwestern Europe and palaeoenvironmental consequences. *The Holocene*, 24, 489-502.
- Oliva, M., Gómez-Ortiz, A., 2012. Late-Holocene environmental dynamics and climate variability in a Mediterranean high mountain environment (Sierra Nevada, Spain) inferred from lake sediments and historical sources. *The Holocene* 22, 915–927.
- Oliva, M., Serrano, E., Gómez Ortiz, A., González-Amuchastegui, M.J., Nieuwendam, A., Palacios, D., Pellitero-Ondicol, R., Pérez-Alberti, A., Ruiz-Fernández, J., Valcárcel, M., Vieira, G., Antoniades, D., 2016. Spatial and temporal variability of periglaciation of the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews* 137, 176–199. h
- Ordoñez, S., González-Martín J.A., García del Cura, M.A. and Pedley H.M., 2005. Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area: The Ruidera Lakes Natural Park (central Spain). *Geomorphology* 69, 332-350.
- Pallás, R., Rodés, A., Braucher, R., Carcailler, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Bourlés, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P., 2006. Late Pleistocene and Holocene glaciation in the Pyrenees: a critical review and new evidence from 10Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*. 25, 2937–2963.
- Pantaléon-Cano, J., Yll, E.-I., Pérez-Obiol, R., Roure, J.M., 2003. Palynological evidence for vegetational history in semi-arid areas of the western Mediterranean (Almería, Spain). *The Holocene* 13, 109-119.
- Pausas, J. G., Carbó, E., Caturla, R. N., Gil, J. M., and Vallejo, R., 1999, Post-Fire Regeneration Patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Acta Oecologica* 20, 499–508.
- Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience* 59, 593-601.
- Pausas, J.G., Ouadah, N., Ferran, A., Gimeno, T., Vallejo, R., 2003. Fire severity and seedling establishment in *Pinus halepensis* woodlands, eastern Iberian Peninsula. *Plant Ecology* 169, 205–213.
- Pazzaglia, F., Barchi, M.R., Buratti, N., Cherin, M., Pandolfi, L., Ricci, M., 2013. Pleistocene calcareous tufa from the Ellera basin (Umbria, central Italy) as a key for an integrated paleoenvironmental and tectonic reconstruction. *Quaternary International* 292, 59-70.
- Pedley, M., Andrews, J.E., Ordonez, S., Garcia del Cura, M.A., Gonzalez Martin, J.A., Taylor, D., 1996. Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 121, 239-257.
- Pellicer, X. M., Corella, J. P., Gutiérrez, F., Roqué, C., Linares, R., Carbonel, D., Comas, X., 2016. Sedimentological and palaeohydrological characterization of Late Pleistocene and Holocene tufa mound palaeolakes using trenching methods in the Spanish Pyrenees. *Sedimentology*. DOI: 10.1111/sed.12290.

- Peña-Chocarro, L., Zapata Peña, L., Iriarte, M.J., González Morales, J., Straus, L.G., 2005. The oldest agriculture in northern Atlantic Spain: new evidence from El Mirón Cave (Ramales de la Victoria, Cantabria). *Journal of Archaeological Science* 32, 579-587.
- Peña-Monné J. L., Sancho, C., Lozano, M. V., 2000. Climatic and tectonic significance of Late Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian Range, northeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 1403-1417.
- Peña-Monné, J. L., Fabre, M. S., 2010. Aspectos generales de la geomorfología de la Sierra de Albarracín. *Las formas del relieve de la Sierra de Albarracín*, 39.
- Peñalba, M.C., 1994. The History of the Holocene Vegetation in Northern Spain from Pollen Analysis. *Journal of Ecology* 82, 815-832.
- Peñuelas, J., Filella, I., Zhang, X.Y., Llorens, L., Ogaya, R., Lloret, F., Comas, P., Estiarte, M., Terradas, J., 2004. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes. *New Phytologist* 161, 837-846.
- Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Pontevedra-Pombal, X., Souto-Souto, M., Galop, D., 2016. 8000 years of vegetation history in the northern Iberian Peninsula inferred from the palaeoenvironmental study of the Zalama ombrotrophic bog (Basque-Cantabrian Mountains, Spain). *Boreas*. DOI: 10.1111/bor.12182.
- Pérez-Obiol, R., Julià, R., 1994. Climatic Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30,000-Yr Pollen Record from Lake Banyoles. *Quaternary Research* 41, 91-98.
- Pérez-Obiol, R., Sadori, L., 2007. Similarities and dissimilarities, synchronisms and diachronisms in the Holocene vegetation history of the Balearic Islands and Sicily. *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 259-265.
- Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic history of the Iberian Peninsula. *The Holocene* 21, 75-93.
- Pérez-Obiol, R., García-Codron, J. C., Pèlachs, A., Pérez-Haase, A., Soriano, J. M., 2016. Landscape dynamics and fire activity since 6740 cal BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain). *Quaternary Science Reviews* 135, 65-78.
- Pérez-Sanz A, González-Sampérez P, Valero-Garcés B, Moreno A, Morellón M, Sancho C, Belmonte A, Gil-Romera G, Sevilla M, Navas A., 2011. 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). *Zubía* 23, 17-38.
- Pérez-Sanz, A., González-Sampérez, P., Moreno, A., Valero-Garcés, B., Gil-Romera, G., Rieradevall, M., Tarrats, P., Lasheras-Álvarez, L., Morellón, M., Belmonte, A., Sancho, C., Sevilla-Callejo, M., Navas, A., 2013. Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: the Basa de la Mora sequence (NE Spain). *Quaternary Science Reviews* 73, 149-169.
- Postigo-Mijarra, J.M., Gómez Manzanque, F., Morla, C., 2008. Survival and long-term maintenance of

tertiary trees in the Iberian Peninsula during the Pleistocene. First record of *Aesculus* L. (Hippocastanaceae) in Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 17, 351-364.

Pushkina, D., Raia, P., 2008. Human influence on distribution and extinctions of the late Pleistocene Eurasian megafauna. *Journal of Human Evolution* 54, 769-782.

Rach, O., Brauer, A., Wilkes, H., Sachse, D., 2014. Delayed hydrological response to Greenland cooling at the onset of the Younger Dryas. *Nature Geoscience* 7, 109-112.

Revelles, J., Cho, S., Iriarte, E., Burjachs, F., van Geel, B., Palomo, A., Piqué, R., Peña-Chocarro, L., Terradas, X., 2015. Mid-Holocene vegetation history and Neolithic land-use in the Lake Banyoles area (Girona, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 435, 70-85.

Revelles, J., van Geel, B., in press. Human impact and ecological changes in lakeshore environments. The contribution of non-pollen palynomorphs in Lake Banyoles (NE Iberia). *Review of Palaeobotany and Palynology*. doi:10.1016/j.revpalbo.2016.05.004

Rico, M.T., Sancho-Marcén, C., Arenas-Abad, M.C., Vázquez-Urbez, M., Valero-Garcés, B.L., 2013. El sistema de barreras tobáceas Holocenas de las Parras de Martín (Cordillera Ibérica, Teruel). *Cuadernos de Investigación Geográfica* 39, 141-158.

Roberts, N., Brayshaw, D., Kuzucuoğlu, C., Perez, R., Sadori, L., 2011. The mid-Holocene climatic transition in the Mediterranean: Causes and consequences. *The Holocene* 21, 3-13.

Robinson, E., Van Strydonck, M., Gelorini, V., Crombé, P., 2013. Radiocarbon chronology and the correlation of hunter-gatherer sociocultural change with abrupt palaeoclimate change: the Middle Mesolithic in the Rhine-Meuse-Scheldt area of northwest Europe. *Journal of Archaeological Science* 40, 755-763.

Rojo-Guerra, M., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García Martínez de Lagrán, I., 2006. La Neolitización de la Meseta Norte a la luz del C14: análisis de 47 dataciones absolutas de dos yacimientos domésticos del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* 26, 30-100.

Rousseau, D.-D., Puisse'gur, J.-J., Le'colle, F., 1992. West-European terrestrial molluscs assemblages of isotopic stage 11 (Middle Pleistocene): climatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 92, 15-29.

Rubiales, J.M., Génova, M., 2015. Late Holocene pinewoods persistence in Gredos Mountains (central Spain) inferred from extensive megafossil evidence. *Quaternary Research* 84, 12-20.

Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Génova, M., Gómez Manzanque, F., Morla, C., 2007. The Holocene history of highland pine forests in a submediterranean mountain: the case of Gredos mountain range (Iberian Central range, Spain). *Quaternary Science Reviews* 26, 1759-1770.

Rubiales, J.M., García Amorena, I., García Alvarez, S., Gomez Manzanque, F., 2008. The Late Holocene extinction of *Pinus sylvestris* in the West of the Cantabrian Range. *Journal of Biogeography* 35: 1840-1850.

- Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Hernández, L., Génova, M., Martínez, F., Manzanque, F.G., Morla, C., 2010. Late Quaternary dynamics of pinewoods in the Iberian Mountains. *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 476-491.
- Ruiz-Alonso, M., Zapata, L., 2015. Transformation and human use of forests in the Western Pyrenees during the Holocene based on archaeological wood charcoal. *Quaternary International*, Quaternary of the Western Pyrenean region 364, 86–93.
- Ruiz-Alonso, M., Zapata, L., Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Fernández-Eraso, J., 2016. Selection of firewood in northern Iberia: Archaeobotanical data from three archaeological sites. *Quaternary International*. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.076
- Ruiz-Fernández, J., Nieuwendam, A., Oliva, M., Lopes, V., Cruces, A., Freitas, M. C., López-Sáez, J. A., 2016. Cryogenic processes and fire activity in a high Atlantic mountain area in NW Iberia (Picos de Europa) during the Mid–Late Holocene. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.022
- Ruiz Zapata, M.B., Gil García, M.J., Dorado Valiño, M., Valdeolillos Rodríguez, A., Vegas, J., Pérez-González, A., 2002. Clima y vegetación durante el pleistoceno superior y el holoceno en la Sierra de Neila (Sistema Ibérico noroccidental). *Cuaternario y Geomorfología* 16, 9–20.
- Ruiz Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Vegas, J., Pérez-González, A., 2015. Registro polínico y eventos climáticos de los últimos 30.000 años en la Laguna del Hornillo – LHN (Sierra de Urbión, Sistema Ibérico, España). XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada 2015.
- Rull, V., Gonzalez-Samperiz, P., Corella, J.P., Morellon, M., Giral, S., 2011. Vegetation changes in the southern Pyrenean flank during the last millennium in relation to climate and human activities: the Montcortes lacustrine record. *Journal of Paleolimnology* 46, 387-404.
- Sadori, L., Jahns, S., Peyron, O., 2011. Mid-Holocene vegetation history of the central Mediterranean. *The Holocene* 21, 117–129.
- Sánchez Goñi, M.F., Hannon, G.E., 1999. High-altitude vegetational pattern on the Iberian Mountain Chain (north-central Spain) during the Holocene. *The Holocene* 9, 39-57.
- Sancho, C., Peña, J.L., Meléndez, A., 1997. Controls on Holocene and present-day travertine formation in the Guadalaviar River (Iberian Chain, NE Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie* 41, 289-307.
- Sancho, C., Muñoz, A., González-Sampériz, P., Cinta Osácar, M., 2011. Palaeoenvironmental interpretation of Late Pleistocene–Holocene morphosedimentary record in the Valsalada saline wetlands (Central Ebro Basin, NE Spain). *Journal of Arid Environments* 75, 742-751.
- Sancho, C., Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Lozano, M. V., Peña-Monné, J. L., Torres, T., 2015. Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500ka. *Quaternary Research* 84, 398-414.
- Sandom, C., Faurby, S., Sandel, B., Svenning, J-C., 2014. Global Late Quaternary megafauna extinctions linked to humans, not climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281, 20133254.

- Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P.A., Bjune, A.E., Giesecke, T., Kühl, N., Renssen, H., Salonen, J.S., 2015. Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *The Holocene* 25, 53–63.
- Silva-Sánchez, N., Martínez Cortizas, A., López-Merino, L., 2014. Linking forest cover, soil erosion and mire hydrology to late-Holocene human activity and climate in NW Spain. *The Holocene* 24, 714–725.
- Sohar, K., Kalm, V., 2008. A 12.8-ka-long palaeoenvironmental record revealed by subfossil ostracod data from lacustrine freshwater tufa in Lake Sinijärv, northern Estonia. *Journal of Paleolimnology* 40, 809-821.
- Stevenson, A.C., 1985. Studies in the Vegetational History of S. W. Spain. II. Palynological Investigations at Laguna de las Madres, S. W. Spain. *Journal of Biogeography* 12, 293–314.
- Stevenson, A.C., 2000. The Holocene forest history of the Montes Universales, Teruel, Spain. *The Holocene* 10, 603-610.
- Stika, H.-P., 2005. Early Neolithic agriculture in Ambrona, Provincia Soria, central Spain. *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 189–197.
- Straus, L.G., 2011. Were there human responses to Younger Dryas in Cantabrian Spain? *Quaternary International* 242, 328–335.
- Tallantire, P.A., 2002. The early-Holocene spread of hazel (*Corylus avellana* L.) in Europe north and west of the Alps: an ecological hypothesis. *The Holocene* 12, 81–96.
- Tallón-Armada, R., Costa-Casais, M., Schellekens, J., Taboada Rodríguez, T., Vives-Ferrándiz Sánchez, J., Ferrer García, C., Abel Schaad, D., López-Sáez, J.A., Carrión Marco, Y., Martínez Cortizas, A., 2014. Holocene environmental change in Eastern Spain reconstructed through the multiproxy study of a pedo-sedimentary sequence from Les Alcusses (Valencia, Spain). *Journal of Archaeological Science* 47, 22–38.
- Taylor, D.M., Griffiths, H.I., Pedley, H.M., Prince, I., 1994. Radiocarbon-dated Holocene pollen and ostracod sequence from barrage tufa-dammed fluvial systems in the White Peak, Derbyshire, UK. *The Holocene* 4, 356–364.
- Taylor, D. M., Pedley, H. M., Davies, P., Wright, M. W., 1998. Pollen and mollusc records for environmental change in central Spain during the mid- and late Holocene. *The Holocene* 8, 605-612.
- Theuerkauf, M., Bos, J.A.A., Jahns, S., Janke, W., Kuparinen, A., Stebich, M., Joosten, H., 2014. *Corylus* expansion and persistent openness in the early Holocene vegetation of northern central Europe. *Quaternary Science Reviews* 90, 183-198.
- Tzedakis, P.C., 2007. Seven ambiguities in the Mediterranean palaeoenvironmental narrative. *Quaternary Science Reviews* 26, 2042-2066.
- Utrilla, P., Domingo, R., Montes, L., Mazo, C., Rodanés, J.M., Blasco, F., Alday, A., 2012. The Ebro Basin in NE Spain: A crossroads during the Magdalenian. *Quaternary International* 272–273, 88–104.
- Uzquiano, P., 1995. L'évolution de la végétation à l'Holocène initial dans le nord de l'Espagne à partir de trois sites archéologiques. *Quaternaire* 6, 77-83.

- Uzquiano, P., 2014. Wood resource exploitation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS 2 vegetation dynamics. *Quaternary International* 337, 154–162.
- Uzquiano, P., Casas-Gallego, M., Mingo, A., Barba, J., Yravedra, J., 2016. Vegetation, climate and human settlement interactions at the late Mesolithic site of Cueva Blanca (Hellín, Albacete, SE Spain). *The Holocene* 26, 102–112.
- Valbuena-Carabaña, M., López de Heredia, U., Fuentes-Utrilla, P., González-Doncel, I., Gil, L., 2010. The historical and recent changes in the Spanish forests: a socioeconomic process. *Review of Palaeobotany and Palynology* 16, 492-506.
- Valdeolmillos-Rodríguez, A., Dorado-Valiño, M., Ruiz-Zapata, M.B., Alonso-Zarza, A.M., 2011. Middle pleistocene variations in palaeoclimate, palaeoenvironment and vegetation of the las tablas de daimiel national park (Spain). *Journal of Quaternary Science* 26, 128–140.
- Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Navas, A., Machín, J., Delgado-Huertas, A., Peña-Monné, J.L., Sancho-Marcén, C., Stevenson, T., Davis, B., 2004. Paleohydrological fluctuations and steppe vegetation during the last glacial maximum in the central Ebro valley (NE Spain). *Quaternary International* 122, 43–55.
- Väliranta, M., Kultti, S., Seppä, H., 2006. Vegetation dynamics during the Younger Dryas-Holocene transition in the extreme northern taiga zone, northeastern European Russia. *Boreas* 35, 202–212.
- Vannière, B., Power, M.J., Roberts, N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P., Colombaroli, D., Danialu, A.L., Finsinger, W., Gil-Romera, G., Kaltenrieder, P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vescovi, E., 2011. Circum-Mediterranean fire activity and climate changes during the mid-Holocene environmental transition (8500-2500 cal. BP). *The Holocene* 21, 53-73.
- Vázquez-Urbez, M., Pardo, G., Arenas, C., Sancho, C., 2011. Fluvial diffluence episodes reflected in the Pleistocene tufa deposits of the River Piedra (Iberian Range, NE Spain). *Geomorphology* 125, 1–10.
- Vegas, J., Ruiz-Zapata, B., Ortiz, J.E., Galán, L., Torres, T., García-Cortés, Á., Gil-García, M.J., Pérez-González, A., Gallardo-Millán, J.L., 2010. Identification of arid phases during the last 50 cal. ka BP from the Fuentillejo maar-lacustrine record (Campo de Calatrava Volcanic Field, Spain). *Journal of Quaternary Science* 25, 1051-1062.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., Valero-Garcés, B., 2013. Diatom and vegetation responses to late glacial and Early-Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392, 335-249.
- Vidal-Matutano, P., Hernández, C.M., Galván, B., Mallol, C., 2015. Neanderthal firewood management: evidence from Stratigraphic Unit IV of Abric del Pastor (Eastern Iberia). *Quaternary Science Reviews* 111, 81–93.
- Wang, C., Lu, H., Zhang, J., Gu, Z., He, K., 2014. Prehistoric demographic fluctuations in China inferred from radiocarbon data and their linkage with climate change over the past 50,000 years. *Quaternary Science Reviews* 98, 45–59.

Weber, A.W., White, D., Bazaliiskii, V.I., Goriunova, O.I., Savel'ev, N.A., Katzenberg, M.A., 2011. Huntergatherer foraging ranges, migrations, and travel in the middle Holocene. Baikal region of Siberia: Insights from carbon and nitrogen stable isotope signatures. *Journal of Archaeological Science* 30, 523-548.

Wicks, K., Mithen, S., 2014. The impact of the abrupt 8.2 ka cold event on the Mesolithic population of western Scotland: a Bayesian chronological analysis using 'activity events' as a population proxy. *Journal of Archaeological Science* 45, 240-269.

Wroe, S., Field, J.H., Archer, M., Grayson, D.K., Price, G.J., Louys, J., Faith, J.T., Webb, G.E., Davidson, I., Mooney, S.D., 2013. Climate change frames debate over the extinction of megafauna in Sahul (Pleistocene Australia-New Guinea). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 8777-8781.

Yll, E.-I., Perez-Obiol, R., Pantaleon-Cano, J., Roure, J.M., 1997. Palynological Evidence for Climatic Change and Human Activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Research* 48, 339-347.

Zilhão, J., 2001. Radiocarbon evidence for maritime pioneer colonization at the origins of farming in west Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98, 14180-14185.

7 Conclusiones

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral se ha centrado en caracterizar la historia de los ecosistemas Mediterráneos continentales a partir de nuevas secuencias palinológicas y sedimentológicas, así como discernir y detallar los factores tanto climáticos como antrópicos que han modulado la dinámica vegetal durante el Tardiglacial y el Holoceno. Los resultados han sido discutidos desde un punto de vista supra-regional, atendiendo a criterios paleoecológicos, paleoclimáticos y biogeográficos, numerándose a continuación las conclusiones más notorias que se han obtenido.

1) La dinámica de la vegetación en la Iberia continental se caracteriza por la resiliencia de las comunidades forestales. Los pinares y sabinares junto con herbáceas estépicas predominan durante el Tardiglacial y al comienzo del Holoceno, sin responder de manera inmediata a los cambios climáticos globales.

2) La sucesión de diversos cambios climáticos abruptos, tales como el Younger Dryas y los eventos 8.200 y 4.200 cal BP, no son intuitivos en la secuencia de Villarquemado, a pesar de que el modelo cronológico está bien delimitado y el análisis polínico presenta una alta resolución.

3) La inercia al cambio de las comunidades se vincula a diversos factores fisiológicos, edáficos y/o ecológicos que culminan, en cualquier caso, en la inercia de las poblaciones de coníferas frente al incremento de la aridez. El sistema

continental Mediterráneo amortigua de manera exitosa las diversas crisis climáticas.

4) El carácter inerte de las comunidades forestales que caracteriza la secuencia postglacial de Villarquemado, tiene su origen en la herencia evolutiva de los ecosistemas continentales. El paisaje de coníferas se repite una y otra vez en la secuencia completa, siendo los sabinares las comunidades dominantes durante la transición MIS6-5 y los pinares de alta montaña durante todo el Último Ciclo Glacial, sin desarrollos significativos del Mediterráneo en las etapas interestadiales.

5) El bosque mixto Mediterráneo compuesto por encinares y quejigares junto con abedules y avellanos en el caso de Villarquemado, hace acto de presencia en el paisaje continental durante el Holoceno Medio (8.200-5.000 cal BP). La expansión de flora meso-termófila se asocia al establecimiento de unas condiciones climáticas benignas a escala de Cuenca Mediterránea.

6) El retorno de la aridez en la segunda mitad del Holoceno Medio (post 6.000 cal BP), favorece el progresivo desarrollo del bosque esclerófilo en la Iberia Mediterránea, junto con el retorno de los pinares y sabinares. La flora de mesófitos se va reduciendo progresivamente, especialmente en los pisos supra- y meso-Mediterráneos localizados en latitudes más meridionales.

7) La correlación de la secuencia de Villarquemado con otros registros localizados en ambientes continentales Mediterráneos similares, ha permitido delimitar la dinámica vegetal en ámbito interior desde el punto de vista bioestratigráfico, cubriendo la historia ambiental de los últimos 13.500 años.

8) Existe una alta variabilidad hidrológica a escala local que responde de manera inmediata al régimen climático de fondo. Durante el Younger Dryas existe un balance hidrológico positivo asociado a las bajas temperaturas ambientales, mientras que la alta evaporación estival favorece la desecación parcial de las lagunas al comienzo del Holoceno (11.700-9.500 cal BP).

9) Durante el Óptimo Climático Holoceno, comprendido entre 8.200-5.000 cal BP, los niveles lacustres de Villarquemado y Conquezueta adquieren las cotas más elevadas, correlacionando con diversas secuencias ubicadas en contextos bioclimáticos similares.

10) La colonización por parte de los primeros pobladores Neolíticos en el Valle de Ambrona (ca. 7.200 cal BP), queda bien registrada en la secuencia multiproxy de Conquezueta. Los datos palinológicos concuerdan con los resultados arqueobotánicos obtenidos en los numerosos asentamientos localizados a lo largo del valle y apuntan a que el desarrollo de la agricultura y ganadería a escala local, provocó un rápido retroceso de las comunidades

forestales, esencialmente constituidas por pinares de alta montaña.

11) Se ha trabajado en la hipótesis de cómo una fase climáticamente benigna como el Óptimo Climático Holoceno en la Iberia Mediterránea, ha podido tener influencia en los patrones de asentamiento de las comunidades Neolíticas y Calcolíticas del Valle de Ambrona. La disponibilidad hídrica que favorece el desarrollo del paisaje lacustre de Conquezueta, pudo haber favorecido la instauración de las prácticas agrícolas en ámbito local.

12) La construcción de los edificios carbonatados de los ríos Queiles y Val se emplaza cronológicamente entre 9.500 y 4.000 cal BP, correlacionando con la acumulación de depósitos tobáceos en el Sistema Ibérico y la Cuenca Alta del Ebro. Señalan el establecimiento de unas condiciones térmicas altas en la región junto con una precipitación abundante.

13) Los perfiles palinológicos obtenidos en los diferentes edificios tobáceos estudiados, suponen un avance notable en la palinología aplicada a depósitos carbonatados, aportando de manera exitosa nuevos datos sobre el paisaje vegetal del Macizo del Moncayo durante el Holoceno Medio. Los resultados apuntan al establecimiento de un bosque ripario dominado por numerosas especies freatófilas, mientras que regionalmente es paisaje Mediterráneo el que predomina.

14) Los resultados antracológicos aportan nuevas evidencias sobre la presencia pretérita del tejo (*Taxus baccata*) en el Macizo de Moncayo ca. 4.000 cal BP. De manera similar, se han descubierto, datado y revisado los carbones pertenecientes al castaño (*Castanea sativa*), especie que ha sido considerada alóctona en la región.

15) La revisión de la distribución de avellano (*Corylus avellana*) señala, tal y como se ha postulado para las regiones europeas septentrionales, una rápida respuesta a la variabilidad climática del Tardiglacial y el Holoceno. Supone por tanto un proxy sensible para detectar cambios climáticos rápidos especialmente en la región Eurosiberiana.

16) Los pocos datos palinológicos y antracológicos señalan que las poblaciones de avellano ocuparon las zonas cercanas al litoral cantábrico durante el último Máximo Glacial, quedando ausente del interior peninsular. En las inmediaciones de Sierra Nevada algunos pequeños refugios son destacables.

17) Las fases húmedas del Tardiglacial y en especial durante el comienzo del Holoceno, favorecen la expansión del avellano en la Iberia Atlántica, mientras que el máximo desarrollo en la región Mediterránea ocurre durante el Holoceno Medio. Este hecho apunta a que existe un retardo, tal y como se ha inferido en las secuencias sedimentológicas, en la disponibilidad de humedad así como una disminución notable de la amplitud térmica.

18) Las condiciones de aridez que se establecen a escala de Cuenca Mediterránea durante el Holoceno Tardío (post 5.000 cal BP), modulan la distribución del avellano a escala Ibérica, fragmentando las poblaciones en el sur peninsular. Las frecuencias en los registros polínicos ubicados dentro de la región Eurosiberiana señalan una disminución notable, aunque las comunidades parecen estar estables dentro de su nicho de distribución actual.

Publicaciones Científicas

Autores: **Aranbarri, J.**, Bartolomé, M., Alcolea, M., Sancho, C., Celant, A., González Sampérez, P., Arenas, C., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J

Título: Palaeobotanical insights from Early-Mid Holocene fluvial tufas in the Moncayo Natural Park (N Spain): regional correlations and biogeographic implications

Nombre revista/Título libro: Review of Palaeobotany and Palynology

Volumen: Pág. Inicial: Pág. Final: Año: En Revisión

Autores: González-Sampérez, P., **Aranbarri, J.**, Pérez-Sanz, A., Gil-Romera, G., Moreno, A., Leunda, M., Sevilla-Callejo, M., Corella, J.P., Morellón, M., Oliva, B., Valero-Garcés, B

Título: Environmental and climate change in the Southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: a view from the lake records

Nombre revista/Título libro: Catena

Volumen: Pág. Inicial: Pág. Final: Año: Minor Revision

Autores: Montes, L., Domingo, R., González-Sampérez, P., Sebastián, M., **Aranbarri, J.**, Castaños, P., García-Simón, J.L., Alcolea, M., Laborda, R.

Título: Landscape, resources and people during Mesolithic and Neolithic in NE Iberia: The Arba de Biel Basin

Nombre revista/Título libro: Quaternary International

Volumen: 403 Pág. Inicial: 133 Pág. Final: 150 Año: 2016

Autores: Bartolomé, M.; **Aranbarri, J.**, Sancho, C., Alcolea, M., Arenas, C., Moreno, A., González-Sampérez, P., Edwards, R.L., Cheng, H.

Título: Formación de depósitos tobáceos asociados a la surgencia kársticas del río Queiles

Nombre revista/Título libro: Tvriaso

Volumen: 22 Pág. Inicial: 9 Pág. Final: 20 Año: 2015

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Iriarte, E., Moreno, A., Rojo-Guerra, M., Peña-Chocarro, L., Valero-Garcés, B., Leunda, M., García-Prieto, E., Sevilla-Callejo, M., Gil-Romera, G., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J.

Título: Human-landscape interactions in the Conquezueta-Ambrona Valley (Soria, continental Iberia): From the early Neolithic land use to the origin of the current oak woodland

Nombre revista/Título libro: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

Volumen: 436 Pág. Inicial: 41 Pág. Final: 57 Año: 2015

Autores: Gil-Romera, G., González-Sampérez, P., Lasheras-Álvarez, L., Sevilla-Callejo, M., Moreno, A., Valero-Garcés, B., López-Merino, L., Carrión, J.S., Pérez Sanz, A., **Aranbarri, J.**, García-Prieto, E.,

Título: Biomass-modulated fire dynamics during the last glacial-interglacial transition at the Central Pyrenees (Spain).

Nombre revista/Título libro: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology

Volumen: 402

Pág. Inicial: 113

Pág. Final: 124

Año: 2014

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E., Di Rita, F., Mata, M.P., Morellón, M., Magri, D., Rodríguez-Lázaro, J., Carrión, J.S.,

Título: Rapid climatic changes and resilient vegetation during the Lateglacial and Holocene in a continental region of south-western Europe

Nombre revista/Título libro: Global and Planetary Change

Volumen: 114

Pág. Inicial: 50

Pág. Final: 65

Año: 2014

Autores: González-Sampérez, P., García-Prieto, E., **Aranbarri, J.**, Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., Santos, L., Morellón, M., Mata, P., Andrade, A., Carrión, J.S.

Título: Reconstrucción paleoambiental del último ciclo glacial en la Iberia continental: la secuencia del Cañizar de Villarquemado (Teruel).

Nombre revista/Título libro: Cuadernos de Investigación Geográfica

Volumen: 39

Pág. Inicial: 49

Pág. Final: 76

Año: 2013

Contribuciones a Congresos (Primer autor)

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Valero-Garcés, B., Moreno, A., García-Prieto, E., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M., Magri, D., Carrión, J.S

Título: Vegetation trends and climate variability in Eastern Mediterranean Iberia during the Lateglacial and the Holocene

Congreso: MEDPALYNO 2015: Mediterranean Palynology Symposium 2015 (Comunicación oral)

Lugar de celebración: Roma, Italia

Fecha: 08/09/2015-10/09/2015

Autores: **Aranbarri, J.**, Bartolomé, B., Sancho, C., Alcolea, M., Celant, A., Arenas, C., González-Sampérez, P.

Título: Palaeobotanical research in Holocene fluvial tufa complexes (Queiles and Val Valleys, Iberian Range, NE Spain).

Congreso: MEDPALYNO 2015: Mediterranean Palynology Symposium 2015 (Póster)

Lugar de celebración: Roma, Italia

Fecha: 08/09/2015-10/09/2015

Autores: **Aranbarri, J.**, Magri, D., González-Sampérez, P., Benito, B.M., Gil-Romera, G., Sevilla-Callejo, M.

Título: The distribution of *Corylus avellana* L. in the Iberian Peninsula since the Last Glacial Maximum: a palaeobotanical and modelling approach.

Congreso: XIX INQUA Congress (Póster)

Lugar de celebración: Nagoya, Japón

Fecha: 26/07/2015-02/08/2015

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Iriarte, E., Moreno, A., Rojo-Guerra, M., Peña-Chocarro, L., Valero-Garcés, B., Leunda, M., García-Prieto, E., Sevilla-Callejo, M., Gil-Romera, G., Magri, D

Título: Early Neolithic agriculture spread in northern Iberian Peninsula: the Conquezueta multiproxy record (Soria, Iberian Range)

Congreso: 9th European Palaeobotany and Palynology Conference (Póster)

Lugar de celebración: Pádova, Italia

Fecha: 26/08/2014-31/08/2014

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Magri, D., Gil-Romera, G., Benito, B.M., Sevilla-Callejo, M., Uzquiano, P., García-Prieto, E., Bennett, K.D., Carrión, J.S

Título: History of *Corylus avellana* L. in the Iberian Peninsula between 40-8 cal kyr BP: influence of climate events and postglacial spread

Congreso: INTIMATE Final Workshop (Póster)

Lugar de celebración: Zaragoza, España

Fecha: 16/06/2014-18/06/2014

Autores: **Aranbarri, J.**, González-Sampérez, P., Gil-Romera, G., Valero-Garcés, B., Moreno, A., Sevilla-Callejo, M., García-Prieto, E

Título: Holocene vegetation dynamics and abrupt climate changes inferred from Laguna de El Cañizar sequence (Iberian Range, NE Spain)

Congreso: XVIII INQUA Congress (Póster)

Lugar de celebración: Berna, Suiza

Fecha inicio: 21/07/2011-27/07/2011

Participación en Proyectos de Investigación

Título del proyecto: Reconstrucción de la vegetación asociada a sistemas tobáceos fluviales Holocenos de la provincia de Teruel

Entidad financiadora: Instituto de Estudios Turolenses

Fecha inicio: 20/10/2015

Fecha fin: 20/10/2016

Investigador/a responsable: **Josu Aranbarri**

Título del proyecto: Evaluación y seguimiento del cambio global en tres lagos de alta montaña de parques nacionales (Enol, Marboré y la Caldera): indicadores físico-químicos

Entidad financiadora: Organismo Autónomo Parques Nacionales

Fecha inicio: 01/01/2013

Fecha fin: 31/12/2015

Investigador/a responsable: María Riera del Val (Narcís Prat) y Pilar Mata

Título del proyecto: DINAMO2: Dinámica de la vegetación Mediterránea: Los cambios climáticos abruptos y la influencia del fuego en el NE de la Península Ibérica durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno

Entidad financiadora: CICYT. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología

Fecha inicio: 01/01/2013

Fecha fin: 31/12/2015

Investigador/a responsable: Penélope González-Sampériz

Título del proyecto: Climate action and terrestrial ecosystems dynamics during the Quaternary: a Mediterranean perspective

Entidad financiadora: Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

Fecha inicio: 01/01/2014

Fecha fin: 31/12/2014

Investigador/a responsable: M^o Rita Palombo

Título del proyecto: ARAFIRE Cambio climático y fuego en el Pirineo Aragonés: respuesta de los ecosistemas a la perturbación en los últimos 2000 años

Entidad financiadora: DGA-La Caixa

Fecha inicio: 01/01/2012

Fecha fin: 31/12/2013

Investigador/a responsable: Graciela Gil-Romera

Título del proyecto: QUALITY: Quaternary climate action and vulnerability of Mediterranean ecosystems: a palaeobiological perspective

Entidad financiadora: Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

Fecha inicio: 01/01/2012

Fecha fin: 31/12/2012

Investigador/a responsable: Donatella Magri

Título del proyecto: DINAMO: Dinámica de la vegetación Mediterránea en el N.E. de la Península Ibérica durante los últimos 135,000 años: estructura, cronología y pautas de respuesta vegetal frente a diversos tipos de cambio

Entidad financiadora: CICYT. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología

Fecha inicio: 01/01/2009

Fecha fin: 31/12/2011

Investigador/a responsable: Penélope González-Sampériz

ID	Registro	Altitud (m s.n.m)	Latitud	Longitud	Referencia	Revista
1	Las Hurdes	900	40,47	-6,22	Abeel-Schaad et al., 2014	Forest Systems
2	Peña Negra	1000	40,33	-5,79	Abeel-Schaad y López-Sáez, 2012	Vegetation History and Archaeobotany
3	Cova Estreta coprolites	47	39,88	3,01	Alcover et al. 1999	Biological Journal of the Linnean Society
4	Lago de Ajo	1570	43,05	-6,15	Allen et al., 1996	Journal of Quaternary Science
5	Velilla	553	40,37	-3,49	Alonso et al., 1998	Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe
6	Valdetorres de Jarama	655	40,7	-3,51	Alonso et al., 1998	Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe
7	Laguna del Río Seco	3020	37,03	-3,33	Anderson et al., 2011	Quaternary Science Reviews
8	Villarquemado	987	40,5	-1,3	Aranbarri et al., 2014	Global and Planetary Change
9	Conquezuela palaeolake	1124	41,18	-2,55	Aranbarri et al., 2015	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
10	Cueva de Nacimiento	1600	38,69	-2,7	Asquerino y López, 1981	Trabajos de Prehistoria
11	Cueva de Rascaño	275	43,29	-3,7	Boyer-Klein, 1981, 1984	Revue de Paléobiologie
12	Cueva de Chufin	130	43,29	-4,46	Boyer-Klein, 1984	Revue de Paléobiologie
13	Cueva de Berroberria	156	43,27	-1,51	Boyer-Klein, 1984	Revue de Paléobiologie
14	Cova del Parco	420	41,94	0,94	Bregadà et al., 1999	L'Anthropologie
15	Pla de l'Estany	520	42,19	-2,3	Burjachs, 1994	Historical Biology
16	Navarrés	225	39,07	-0,68	Carrión and y Geel, 1999	Review of Paleobotany and Palynology
17	Casablanca-Almenara	8	39,75	-0,18	Carrión et al., 2000	Diversity and Distributions
18	Villaverde	870	38,8	-2,22	Carrión et al., 2001	The Holocene
19	Cañada de la Cruz	1595	38,06	-2,69	Carrión et al., 2001b	Journal of Ecology
20	Cueva de las Ventanas	1040	37,44	-3,43	Carrión et al., 2001c	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
21	Sierra de Gador	1530	36,93	-2,91	Carrión et al., 2003	Review of Paleobotany and Palynology
22	El Sabinar	1117	38,2	-2,12	Carrión et al., 2004	Review of Paleobotany and Palynology
23	Baza	1900	37,23	-2,71	Carrión et al., 2007	Quaternary Science Reviews
24	Cueva de Gorham	0	36,12	-5,34	Carrión et al., 2008	Global Ecology and Biogeography
25	Cova Beneito	650	38,8	-0,47	Carrión y Munuera 1997	Journal of Archaeological Science
26	Siles	1320	38,44	-2,51	Carrión, 2002	Quaternary Science Reviews
27	Cerro de la Mesa	*	39,81	-5,15	Chapa Brunet et al., 2013	Trabajos de Prehistoria
28	Lake Arreo	655	42,77	-2,98	Corella et al., 2013	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
29	Cueva de Bajondillo	0	36,62	-4,56	Cortés Sánchez et al., 2008	Quaternary Science Reviews
30	Somolinos	1240	41,25	-3,06	Currás et al., 2012	Catena

31	Lake Vela	*	40,27	-8,78	Danielsen et al., 2012	The Holocene
32	Quiaos-Tocha Dunes	*	42,75	-9,1	Danielsen et al., 2012	The Holocene
33	Ría de Vigo	0	42,26	-8,24	Desprat et al., 2003	Earth and Planetary Science Letters
34	CC-17	680	39,02	-3,82	Dorado-Valiño et al., 1999	Cuaternario y Geomorfología
35	Tablas de Daimiel	615	39,07	-3,87	Dorado-Valiño et al., 2002; Gil-García et al., 2007	Quaternary International; Vegetation History and Archaeobotany
36	Valdeyermo	850	39,44	-4,1	Dorado-Valiño et al., 2014	Grana
37	Patateros	700	39,6	-4,67	Dorado-Valiño et al., 2014	Grana
38	San Benito	667	38,93	-1,1	Dupré et al., 1996	Quaternaire
39	Turbera del Pradell	1975	42,28	1,53	Ejarque et al., 2009	The Holocene
40	Turbera Riu dels Orris	2390	42,49	1,3	Ejarque et al., 2010	Journal of Archaeological Science
41	Orris de Setut	2300	42,48	1,65	Ejarque et al., 2010	Journal of Archaeological Science
42	Cova l'Albreda	200	42,16	-2,75	En Carrión et al., 1999	Quaternary Science Reviews
43	Cova de les Cendres	45	38,69	0,15	En Carrión et al., 1999	Quaternary Science Reviews
44	Cova de l'Or	650	38,84	-0,36	En Carrión et al., 1999	Quaternary Science Reviews
45	Sobrestany	0	42,1	3,06	En Carrión et al., 2000	Diversity and Distributions
46	Albufera d'Alcudia	1	39,8	3,11	En Carrión et al., 2000	Complutum
47	Prado de las Zorras	1650	40,62	-4,83	En Carrión et al., 2000	Complutum
48	Bentué de Rasal	1000	42,32	-0,44	En González-Sampérez et al., 2005 García-Ruiz et al., 2001	Quaternary International; Permafrost and Periglacial Processes
49	Narrillos del Rebollar	1560	40,65	-4,95	En López-Sáez et al., 2009b	Quaternary International
50	Guaya	1110	41,68	-4,58	En López-Sáez et al., 2009b	Quaternary International
51	Amposta	8	40,71	0,58	En Pérez-Obiol et al., 2011	The Holocene
52	Olot	443	42,18	2,49	En Pérez-Obiol et al., 2011	The Holocene
53	Cueva de Carihuela	1020	37,44	-3,44	Fernández et al., 2007	Geobios
54	CM5, Beliche	25	37,27	-7,45	Fletcher et al., 2007	The Holocene
55	Rascafría	1113	40,91	-3,86	Franco-Múgica et al., 1998	The Holocene
56	Espinosa de Cerrato	885	41,12	-3,94	Franco-Múgica et al., 2001	The Holocene
57	Pelagallinas	1340	41,19	-3,08	Franco-Múgica et al., 2001	The Holocene
58	Laguna del Carrizal	860	41,32	-4,18	Franco-Múgica et al., 2005	Quaternary Research
59	Otiñar palaeolake		37,68	-3,76	García-Alix et al., 2014	Quaternary Research
60	Pinar de Lillo	1360	43,06	-5,26	García-Antón et a., 1997	Journal of Biogeography
61	Camporredondo	800	41,46	-4,54	García-Antón et al., 2011	Quaternary Science Reviews
62	Villaviciosa	0	43,49	-5,43	García-Antón, 2006	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
63	Cova del Sardo	1790	42,51	0,8	Gassiot et al., 2012	Cuaternario y Geomorfología

de Boí						
64	Abric de l'estany de la Coveta I	2433	42,58	1,09	Gassiot et al., 2012	Cuaternario y Geomorfología
65	Hoyos de Iregua	1780	41,04	-2,75	Gil-García et al., 2002	Quaternary International
66	Garganta del Mesto	1000	39,5	-5,33	Gil-Romera et al., 2008	Vegetation History and Archaeobotany
67	Ponta da Pasadeira	0	38,67	-9,04	Gomez-Orellana et al., 2014	Boreas
68	Cova de En Pardo	650	38,82	-0,29	González-Sampérez et al., 1998	Cuaternario y Geomorfología
69	Peña del diablo (puntual)	720	41,21	-1,79	González-Sampérez et al., 2005	Quaternary International
70	Valmadrid	570	41,44	-0,88	González-Sampérez et al., 2005	Quaternary International
71	Peña 14	760	42,38	-0,93	González-Sampérez et al., 2005; Montes et al., 2016	Quaternary International
72	El Portalet	1802	42,8	-0,83	González-Sampérez et al., 2006	Quaternary Research
73	Urdaibai	5	43,37	-2,68	Iriarte-Chiapusso, 2009a	Quaternary International
74	Abrigo de Aizpea	720	42,95	-1,26	Iriarte-Chiapusso, 2009b	Quaternary International
75	Laguna de la Mula	2497	37,05	-3,42	Jiménez-Moreno et al., 2013	Quaternary Research
76	S11	2	36,97	-6,81	Jiménez-Moreno et al., 2015	The Holocene
77	S7	2	36,94	-6,41	Jiménez-Moreno et al., 2015	The Holocene
78	Borreguiles de la Virgen	2945	37,05	-3,38	Jiménez-Moreno y Anderson, 2012	Quaternary Research
79	Puerto de Serranillos	1700	40,31	-4,93	López-Merino et al., 2009	Review of Paleobotany and Palynology
80	PRD-4	290	42,53	-8,52	López-Merino et al., 2012	Global and Planetary Change
81	La Molina mire	650	43,48	-6,33	López-Merino et al., 2014	Journal of Archaeological Science
82	As Pontes	466	43,35	-7,48	López-Sáez et al., 2003	Trabajos de Prehistoria
83	Port Lligat	*	42,29	3,29	López-Sáez et al., 2009a	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
84	Lanzahita	588	40,22	-4,93	López-Sáez et al., 2010	Plant Ecology
85	Culazón	529	43,23	-4,49	López-Sáez et al., 2013	Grana
86	Alsa	560	43,12	-4,02	Mariscal, 1993	Estudios Geológicos
87	Zoñar	300	37,48	-4,7	Martín-Puertas et al., 2008	The Holocene
88	Turberas de Queixa	1320	42,24	-7,43	Menendez Amor, 1971	Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural
89	Pena da Cadela	970	43,49	-7,44	Mighall et al., 2006	Review of Paleobotany and Palynology
90	Borralleiras da Cal Grande	600	43,49	-7,51	Mighall et al., 2006	Review of Paleobotany and Palynology
91	Bosc dels Estanyols	2180	42,48	1,63	Miras et al., 2007	Comptes Rendus Palevol
92	Tramacastilla	1668	42,72	-0,37	Montserrat-Martí, 1992, González-Sampérez et al., 2005	Quaternary International
93	Xan de Llamas	1500	42,3	-6,32	Morales-Molino et al., 2011	Palaeoclimatology, Palaeoecology,

94	Arroyo de Vallefondo	1000	42,28	-6,2	Morales-Molino et al., 2011	Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
95	El Maillo	1100	40,55	-6,21	Morales-Molino et al., 2013	Quaternary Science Reviews
96	Ayoó de Vidriales	780	42,13	-6,07	Morales-Molino y García-Antón, 2014	Quaternary Research
97	Taravilla	1100	40,65	-1,98	Moreno et al., 2008	Journal of Paleolimnology
98	Lago Enol	1070	43,27	-4,98	Moreno et al., 2011; López-Moreno et al., 2011	Journal of Paleolimnology
99	Laguna de la Roya	1608	42,22	-6,77	Muñoz-Sobrino et al., 2013	Quaternary Science Reviews
100	San Simon Bay	0	42,31	-8,63	Muñoz-Sobrino et al., 2014	Quaternary Science Reviews
101	Pozo do Carballal	1330	42,706	-7,11	Muñoz-Sobrino et al., 1997	Vegetation History and Archaeobotany
102	Turbera de A Cespedosa	1425	42,89	-6,86	Muñoz-Sobrino et al., 1997	Vegetation History and Archaeobotany
103	A Golada	1200	42,71	-7	Muñoz-Sobrino et al., 1997	Vegetation History and Archaeobotany
104	Suarbol (puntual)	1080	42,86	-6,85	Muñoz-Sobrino et al., 1997	Vegetation History and Archaeobotany
105	Lagoa de Lucenza	1375	42,58	-7,11	Muñoz-Sobrino et al., 2001	Vegetation History and Archaeobotany
106	Lleguna	1050	42,11	-6,71	Muñoz-Sobrino et al., 2004	Vegetation History and Archaeobotany
107	Laguna de Sanguijuelas	1080	42,13	-6,7	Muñoz-Sobrino et al., 2004	Vegetation History and Archaeobotany
108	Chan do Lamoso	1039	43,5	-7,55	Muñoz-Sobrino et al., 2005	Boreas
109	Penido Vello	700	43,43	-7,53	Muñoz-Sobrino et al., 2005	Boreas
110	Brañas de Lamela	1280	42,77	-6,85	Muñoz-Sobrino et al., 2007	
111	Ría de Vigo	0	42,26	-8,24	Muñoz-Sobrino et al., 2012a	Boreas
112	San Rafael	0	36,77	-2,6	Pantaleón-Cano et al., 2003	The Holocene
113	Antas	4	37,21	-1,82	Pantaleón-Cano et al., 2003	The Holocene
114	Roquetas de Mar	5	36,79	-2,59	Pantaleón-Cano et al., 2003	The Holocene
115	València d'Àneu	1150	42,64	1,1	Pèlachs et al., 2009	Review of Paleobotany and Palynology
116	Lago Burg	1821	42,51	1,31	Pèlachs, 2007, 2011	The Holocene
117	Quintanar de la Sierra	1470	42,03	-3,02	Peñalba 1994	Journal of Ecology
118	Saldropo	625	43,05	-2,72	Peñalba, 1994	Journal of Ecology
119	Turbera de Belate	847	43,03	-2,05	Peñalba, 1994	Journal of Ecology
120	Los Tornos	920	43,15	-3,44	Peñalba, 1994; Muñoz-Sobrino et al., 2005	Boreas
121	Fuente del Vaquero peatbog	722	42,69	-2,47	Pérez-Díaz and López-Sáez 2014a	Grana

122	Prados de Randulanda	807	42,78	-2,74	Pérez-Díaz and López-Sáez 2014b	Grana
123	Gasteiz	525	42,85	-2,67	Pérez-Díaz et al., in 2015	Vegetation History and Archaeobotany
124	Turbera de Atxuri	500	43,25	-1,55	Pérez-Díaz et al., in press	Quaternary International
125	Estanilles	2247	42,62	1,3	Pérez-Obiol et al., 2012	Vegetation History and Archaeobotany
126	Montarenyo	2292	42,63	1,29	Pérez-Obiol et al., 2012	Vegetation History and Archaeobotany
127	Banyoles	173	42,14	2,76	Pérez-Obiol y Julià, 1994	Quaternary Research
128	Basa de la Mora	1914	42,53	0,32	Pérez-Sáenz et al., 2013	Quaternary Science Reviews
129	Padul	785	37,01	-3,62	Pons and Reille, 1988	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography
130	Tremoal de Pena Vella	700	43,3	-7,68	Ramil Rego et al., 1998	Plant Ecology
131	Lagoa do Marinho	1150	41,76	-8,05	Ramil Rego et al., 1998	Plant Ecology
132	Pena Veira	635	43,65	-7,59	Ramil Rego et al., 2000	Folia Geobotanica
133	Tuerbera de la Piedra	950	42,63	-3,88	Ramil-Rego et al., 1998	Plant Ecology
134	Laguna de Medina	30	36,62	-6,05	Reed et al., 2001	The Holocene
135	Cubelles	1	41,03	1,72	Riera y Esteban, 1997	Vie et Milieu
136	Laguna Grande	1500			Ruiz-Zapata et al., 2002	Cuaternario y Geomorfología
137	Tolla Collado de El Barrueco	1040	40,89	-3,56	Ruiz-Zapata et al., 2009	Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural
138	Montcortès	1027	42,32	0,98	Rull et al., 2011	Journal of Paleolimnology
139	Bidasoa Estuary	0	43,44	-1,79	Sánchez Goñi, 1996,	Quaternaire
140	Las Pardillas	1850	42,04	-3,05	Sánchez-Goñi and Hannon, 1999	The Holocene
141	Laguna de Santo André	20	38,08	-8,78	Santos y Sánchez Goñi, 2003	The Holocene
142	Alfaix Río Aguas	105	37,14	-1,94	Schulte et al., 2008	Geomorphology
143	Cruz do Bocelo mire	730	42,98	-8,02	Silva-Sánchez et al., 2014	The Holocene
144	El Acebrón	*	37,12	-6,5	Stevenson y Moore, 1985	Journal of Biogeography
145	Ojos del Tremedal	1650	40,52	-1,63	Stevenson, 2000	The Holocene
146	Les Alcusses	330	38,88	-0,75	Tallón-Armada et al., 2014	Journal of Archaeological Science
147	El Jardín	850	38,81	-2,32	Taylor et al., 1998	The Holocene
148	Alcaraz	963	38,39	-2,29	Taylor et al., 1998	The Holocene
149	Cerro de la Horca	480	39,38	-6,03	Uzquiano et al., 2012	Vegetation History and Archaeobotany
150	Charco de Candieira	1400	40,34	-7,58	van der Knaap and van Leeuwen, 1995, 1997; Connor et al., 2012	Review of Paleobotany and Palynology; Quaternary Science Reviews
151	Abric Agut	300	31,59	-1,69	Vaquero et al., 2002; Burjachs, 2009	Journal of Archaeological Science
152	Fuentillejo Maar	635	38,94	-4,05	Vegas et al., 2010	Journal of Quaternary Science
153	Lago de Estanya	670	42,03	0,53	Vegas-Vilarrúbia et al., 2013	Palaeoclimatology, Palaeoecology, Palaeogeography

154	Balma de son Matge	*	39,69	2,63	Welker et al., 2014	Quaternary Research
155	Cova de Muleta		39,78	2,67	Welker et al., 2014	Quaternary Research
156	Algendar	21	39,95	3,97	Yll et al., 1997	Quaternary Research
157	Cala'n Porter	24	39,87	4,13	Yll et al., 1997	Quaternary Research

Material Suplementario 1. Base de datos de las secuencias palinológicas recopiladas para trazar la presencia/ausencia de *Corylus avellana* en Iberia. * indica la ausencia del dato en la publicación consultada.

ID	Registro	Altitud (m s.n.m)	Latitud	Longitud	Referencia	Revista
1	Lomilla	919	42.76	-4.30	Alcalde Olivares et al., 2001	Anales del Jardín Botánico de Madrid
2	Cova de la Guineu	734	41.44	1.57	Allué et al., 2009	The Holocene
3	Molí de Salt	490	41.40	1.05	Allué et al., 2010	Archaeological and Anthropological Sciences
4	Balma Guilanyà	1.157	41.99	1.64	Allué et al., 2012a	Comptes Rendus Palevol
5	Font del Ros	680	42.10	1.85	Allué et al., 2012b	Cuaternario y Geomorfología
6	Roc Migdia	650	41.66	1.13	Allué et al., 2012b	Cuaternario y Geomorfología
7	El Mirador	1.033	42.34	-3.51	Allué y Euba, 2008; Cabanés et al., 2009	Quaternary International
8	Queiles tufa	900	41.84	-1.86	Aranbarri et al., en revisión	Review of Paleobotany and Palynology
9	Peña de Estebanvela	1.065	41.36	-3.36	Cacho et al., 2012	Quaternary International
10	La Draga	172	42.13	2.76	Caruso Ferme y Piqué i Huerta, 2014	The Holocene
11	Santinha	*	41.53	-8.42	Figueiral y Bettencourt, 2004	Vegetation History and Archaeobotany
12	S. João de Rei	*	41.53	-8.42	Figueiral y Bettencourt, 2004	Vegetation History and Archaeobotany
13	Sola	*	41.53	-8.42	Figueiral y Bettencourt, 2004	Vegetation History and Archaeobotany
14	Lavra	650	41.02	-8.72	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
15	S. Julião	297	41.65	-8.43	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
16	Bouça do Frade	780	41.16	-8.03	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
17	Castelo de Matos	890	41.02	-8.03	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
18	Castro de Penices	99	41.42	-8.52	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
19	Castro do Castroeiro	452	41.42	-7.86	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
20	Castro do Cruito	516	41.7	-8.46	Figueiral, 1996	Vegetation History and Archaeobotany
21	Villaviciosa	12	43.48	-5.43	García-Amorena et al., 2008	The Holocene
22	Merón	0	43.34	-4.37	García-Amorena et al., 2008	The Holocene
23	Oyambre	0	43.38	-4.33	García-Amorena et al., 2008	The Holocene
24	La Margineda	960	42.49	1.49	Heinz, 1991	Review of Paleobotany and Palynology
25	Pintia	775	41.62	-4.17	Hernández et al., 2011; Rubiales et al., 2011	Forest Ecology and Management, Journal of Archaeological Science
26	La Vaquera	960	41.09	-4.05	Mercuri et al., 2011	The Holocene
27	Legunova	760	42.39	-0.94	Montes et al., 2016	Quaternary International

Material Suplementario 2

28	Iritegi Cave	600	43.03	-2.43	Moreno-Larrazabal et al., 2014	Environmental Archaeology
29	Cova Colomera	670	42.08	0.68	Oms et al., 2009	Trabajos de Prehistoria
30	Vitoria-Gasteiz	525	42.85	-2.67	Pérez-Díaz et al., 2015	Vegetation History and Archaeobotany
31	Pico Ramos	215	43.32	-3.12	Ruiz-Alonso y Zapata et al., 2015	Quaternary International
32	Cueva de El Mirón	250	43.25	-3.45	Ruiz-Alonso y Zapata et al., 2015	Quaternary International
33	Aizpea Cave	720	42.95	-1.26	Ruiz-Alonso y Zapata et al., 2015	Quaternary International
34	Cualventí	75	43.39	-4.15	Uzquiano, 2014	Quaternary International
35	La Pila	20	43.43	-4.02	Uzquiano, 2014	Quaternary International
36	Mazaculos II	35	43.39	-4.58	Uzquiano, 1995	Quaternaire

Material Suplementario 2. Base de datos de las secuencias antracológicas recopiladas para trazar la presencia de *Corylus avellana* en Iberia. * indica la ausencia del dato en la publicación consultada.

