UNIVERSITAT DE BARCELONA

Comunidades humanas, paisaje leñoso y variabilidad climática durante la transición Pleistoceno-Holoceno en el NE de la península ibérica: un enfoque antracológico y de análisis espacial

Bàrbara Mas Vélez

Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència ***Reconeixement- NoComercial 4.0. Espanya de Creative Commons***.

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia ***Reconocimiento - NoComercial 4.0. España de Creative* Commons**.

This doctoral thesis is licensed under the ***Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0. Spain License***.

Bàrbara Mas Vélez

Relaciones entre comunidades humanas, paisaje vegetal leñoso y variabilidad climática desde el Paleolítico superior final hasta la Edad del Bronce en el noreste de la península ibèrica: un enfoque antracológico y de análisis espacial



Tesis Doctoral

Dirigida por Santiago Riera Mora y Ethel Ann Allué Martí

Tutorizada por Santiago Riera Mora

Facultat de Geografia i Història, Departament d'Història i Arqueologia. Secció de Prehistòria i Arqueologia, Universitat de Barcelona.

Doctorat en societat i Cultura, cursos 2019-2023

Barcelona, 2023

A la meva iaia Florentina. No he conegut mai persona més valenta

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido a la realización de esta tesis doctoral. No quiero olvidarme de nadie, pues quiero reconocer a cada colaborador, colegas, amigos y familiares que me han apoyado, guiado y animado durante este emocionante y gratificante camino.

En primer lugar, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a mis directores de tesis, Santiago Riera y Ethel Allué. Su guía, dedicación y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Santi, tus conocimientos sobre arqueología del paisaje y tu capacidad de brindar claridad a conceptos que me resultan complejos han sido invaluables. Gracias por tu compromiso y tu perspectiva crítica. Ethel, quiero agradecerte de todo corazón tu apoyo incondicional, tu guía constante y tus valiosas enseñanzas a lo largo de estos últimos casi diez años (¡han sido muchos años!). Tu compromiso, paciencia y dedicación van más allá de esta tesis doctoral, y han sido fundamentales en mi trayectoria académica, profesional y personal. Estoy profundamente agradecida por todo lo que has hecho para ayudarme a alcanzar mis metas. Eres una figura verdaderamente inspiradora para mí.

En segundo lugar, quisiera reconocer y agradecer a las instituciones que han hecho posible la realización de esta tesis doctoral. En particular, agradezco a l'AGAUR (L'Agència de Gestió d'Ajunts Universitaris i de Recerca) de la Generalitat de Catalunya y cofinanciada por el Fondo Social Europeo Plus (FSE+), por otorgarme la beca predoctoral FI-AGAUR, gracias a la cual pude llevar a cabo un contrato laboral como investigadora predoctoral en formación (FI) en el Departament d'Història i Arqueologia de la Universitat de Barcelona durante tres años (2020-2023), y que se ha asociado al proyecto "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)", 2021–2024, PID2020-117186GB-I00, del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Además, quiero expresar mi agradecimiento a Banco Santander-UB por concederme la beca "Becas Santander Investigación 2022", que me permitió financiar mi estancia formativa de

tres meses, en el marco de la movilidad internacional, en el Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Observatório Astronómico Prof. Manuel de Barros. Asimismo, agradezco sinceramente a la Fundació Bosch i Gimpera su apoyo financiero que me permitió la realización del curso "Introducción a los Modelos de Nichos Ecológicos", organizado por Transmitting Science en 2021. Asimismo, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento al proyecto "El poblamiento del NE peninsular y su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial", PID-2020-113960GB-100 (2021-2024) del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, por la financiación que ha permitido llevar a cabo las correcciones idiomáticas en lengua inglesa de dos de los manuscritos que componen el corpus de esta tesis doctoral, y por financiar mi participación en el congreso Quaternaire 13, celebrado en Estrasburgo durante el mes de marzo de 2022. Por último, quiero expresar mi agradecimiento a IPHES-CERCA y a la Unidad de Arqueobotánica por permitirme utilizar el laboratorio e instalaciones para llevar a cabo mi investigación.

En tercer lugar, agradezco especialmente a todos los colegas y colaboradores que han contribuido en esta investigación. Muchas gracias, Manuel Vaquero y E. Susana Alonso, por ofrecerme la oportunidad de estudiar el material antracológico de Molí del Salt y por su colaboración minuciosa a lo largo de este proceso. Agradezco especialmente vuestro apoyo y confianza constantes en mí, desde aquel día que me pescasteis en Serinyà, hace ya tantos años. Y como olvidarlo, siempre os estaré agradecida por haberme llevado "al nuevo yacimiento del Pirineo", allí a orillas del Mar Caspio.

Asimismo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Xavier Mangado, Marta Sánchez de la Torre, José Miguel Tejero y a Josep Maria Fullola. Gracias por vuestra confianza al permitirme estudiar el material antracológico de Cova del Parco. Vuestra colaboración ha sido una parte esencial para enriquecer esta investigación. Mil gracias por formar parte de mi desarrollo académico a lo largo de todos estos años.

Por último, no puedo dejar de agradecer a Xavier Oms su invaluable contribución a esta tesis doctoral y por permitirme analizar el material antracológico de la Cova Colomera. Xavi, no encuentro suficientes palabras para expresar mi gratitud por todo lo que has hecho por mí a lo

largo de estos años. Muchos veranos de aprendizaje y riñas que se convirtieron en discusiones académicas y estímulos constantes. Gracias por tu guía, mi mentor en arqueología.

Em quarto lugar, gostaria de expressar minha gratidão às colegas do CICGE – Research Center on Geo-Spatial Science, Neftalí Sillero, João Campos, Pedro Magalhães, Diana Sousa e Castanha, pelo seu apoio durante a minha mobilidade internacional. Muito obrigada pela amizade, por tornar os longos scripts de R um pouco mais agradáveis e por criar um ambiente acolhedor que faz do Observatório um lugar privilegiado para trabalhar. Estou verdadeiramente grata pela oportunidade de colaborar e aprender com vocês e pelo intercâmbio de experiências entre Catalunha e Portugal que tivemos. Muito obrigada, Nefta e Vero, pelo carinho de vocês. Nunca esquecerei das nossas excursões culturais, especialmente as botânicas. Fica pendente uma omelete de cogumelos e míscaros.

En quinto lugar, quiero agradecer de todo corazón el apoyo de mis colegas Sabrina, Aitor, Andrés, Irene R., Quicu, Isa, Jordi, Marian, David, Claudia, Llorenç, Nit, Ana P., Tomás, Tuset petit, Andrej, Carmen, Chiara, Iván, Sandra, J. Cámara, Bruno, Gerard, Pep, Miguel S., Guille, Noe y Miguel, Ana F., Joana, Cristian, Abelino, Irene S., Celia y tantos otros que han estado presentes en mi camino. A algunos de vosotros os agradezco especialmente las incontables horas que hemos pasado en el bar, pero esto es otra historia. A todos, os agradezco profundamente vuestra presencia, vuestros consejos y el intercambio de conocimientos y experiencias que hemos compartido a lo largo de este recorrido. Una mención especial merece Sabrina, mi compañera de aventuras internacionales. Sin ella, los cursos de anatomía de la madera me hubieran resultado un poco menos amables y significativamente menos divertidos. Grazie mille per questo e tanto altro, Sabrina. También, me gustaría darle un agradecimiento especial a Irene por su revisión de las fichas de los taxones leñosos, que de alguna pifiada me ha librado.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi gratitud a mis seres queridos. De entre ellos, quiero agradecer, en primer lugar, a mis compañeras y compañeros de campo, por ser una parte fundamental de mis veranos. Vidal, Rafa, gemelos Emens, Esther, Clàudia, Su, Héctor el Gordo, Mestres, Artur y tantos otros, gracias por vuestra compañía y camaradería durante tantas

campañas. Sin vosotros la arqueología no sería lo mismo.

Quiero expresar mi gratitud a Sihan Ángel, a Javier, Alberto y a todas mis compañeras y compañeros del Club Musoken Karate de Tarragona. Aprecio profundamente el ambiente de compañerismo y superación que se vive en nuestro dojo. Gracias por inspirarme y por exigirme dar siempre lo mejor de mí. ¡Oss!

Agradezco especialmente a mis mejores amigos "ésos, los de toda la vida", Anna Romi, Mònica pètal, Alba, Laura teta, Anna, Oliveras, Pedro e Ibán, por estar siempre a mi lado, por apoyarme incondicionalmente aún sin entender por qué hago lo qué hago. Sou una font constant d'alegria i felicitat en la meva vida.

A la familia que he elegido, los Propietaris veïns, Julià, Héctor, Helena Pam, Marta, Fábio, Darío, Gerard, Siscu, y de rebote María, Rubén y Javier, más amigos unos y menos otros. Vuestro apoyo incondicional, amor y paciencia han sido la fuente de mi fortaleza en los momentos más desafiantes. No puedo agradeceros lo suficiente por creer en mí y por alentarme a seguir adelante, incluso cuando las dificultades parecían insuperables. Perdonadme por dejaros sin lentejas, escudella y Catán este invierno. Héctor, quiero dedicarte unas palabras de agradecimiento por tu constante apoyo, porqué nuestros cafés y "capitulillos" de las tardes no fueron simples pausas, sino que fueron una verdadera cura psicológica. Gracias, amixi. Gerard, mil gràcies per la il·lustració de la portada.

A mis dos hologramas Óscar y Alfredo, mis patas cojas de la silla que han estado en los malos y en los buenos momentos. Malgrat la distància, el vincle que ens uneix m'ha fet sentir-vos a prop.

Al meu pare Lluis, als meus germans Jordi i Laura, a la meva tia Carulina i a la meva iaia Florentina. No disposo de paraules suficients per expressar la immensa gratitud que sento envers vosaltres, ni per descriure l'enorme orgull que em feu sentir. Us estimo amb tot el meu cor.

Finalmente, una mención especial para Juanma. El teu amor, paciència, suport i comprensió durant tot aquest procés han estat essencials pel meu èxit i benestar emocional. Gràcies per estar al meu

costat, per escoltar-me, encoratjar-me i recordar-me constantment que ho puc aconseguir. Estic sincerament agraïda per tenir a algú com tu al meu costat. Junts som més forts!

A todos aquellos que han contribuido de una u otra forma, les estoy profundamente agradecida. Espero sinceramente que esta tesis doctoral sea un testimonio duradero de un esfuerzo colectivo.

A todos vosotros, ¡Gracias!

Bàrbara

ÍNDICE

Agradecimientos **5**

RESUMEN **21**

ABSTRACT **23**

Presentación **25**

Estructura formal **27**

Unidad temática **34**

CAPÍTULO I. Introducción **37**

1.1. Antracología: el uso de recursos leñosos por las comunidades humanas 39

1.2. Análisis espacial en arqueología: de la detección de áreas de actividad humana 43

1.2.1. El combustible vegetal y su papel en la organización del espacio 47

1.3. Aplicación del registro antracológico a los modelos de nicho ecológico (ENM) 49

1.4. Objetivos 53

CAPÍTULO II. Comunidades humanas, paisaje y clima en el noreste de la península ibérica desde el final del Paleolítico superior hasta la Edad del Bronce Medio **55**

2.1 Paleolítico superior final al Epipaleolítico/Mesolítico (ca. 16.000-8.200 años cal BP) 57

2.1.1 Contexto climático: la compleja dinámica climática del Tardiglacial al Holoceno inicial 57

2.1.2. Las estrategias de subsistencia de las últimas comunidades cazadoras-recolectoras 59

2.1.3. De las coníferas montanas a las formaciones preforestales durante el Pleistoceno superior 60

2.2. Del Neolítico a la Edad del Bronce Medio (8,2-3,4 mil años cal BP) 75

2.2.1. Contexto climático: un período de estabilidad climática con algunas variaciones notables 75

2.2.2. Las estrategias de subsistencia de las primeras comunidades agro-pastoriles y productoras 76

2.2.3. Presencia de taxones vegetales leñosos: un mosaico de paisajes 78

CAPÍTULO III. Materiales y métodos **103**

3.1. Antracología 105

3.1.1 El trabajo de campo: técnicas de muestreo 105

3.1.2 La selección de los fragmentos de carbón 109

3.1.3. El análisis antracológico 109

3.1.4. Gestión de datos 111

3.1.5. Adscripción taxonómica 113

3.1.6. Alteraciones tafonómicas en los fragmentos de carbón 115

3.1.7. Representatividad del conjunto antracológico 118
3.1.8. Técnicas de cuantificación 119
3.1.9. Presentación de resultados: el diagrama antracológico 119
3.1.10. Recopilación de datos antracológicos 121
3.2. Análisis espacial *intra-site* *122*
3.2.1 Escenario: la cuadrícula arqueológica 123
3.2.2 Base de datos 124
3.2.3. Análisis estadísticos 126
3.3. Modelado de Nichos Ecológicos 129
3.3.1. MaxEnt 130
3.3.2. Ocurrencia de especies 131
3.3.3. Selección de variables ambientales 132
3.3.4. Cálculo y validación de los modelos 133
3.3.5. Presentación de resultados y proyecciones de las respuestas 135
CAPÍTULO IV. Fichas descriptivas de los taxones vegetales leñosos identificados 139
4.1. Presentación de las fichas descriptivas 141
4.2. Coníferas 144
4.2.1. *Juniperus* sp. 144
4.2.2. *Pinus* tipo *sylvestris* *147*
4.2.3. *Taxus baccata* *150*
4.3. Angiospermas 152
4.3.1. *Acer* sp. 152
4.3.2. *Arbutus unedo* *155*
4.3.3. *Betula* sp. 157
4.3.4. *Buxus sempervirens* *159*
4.3.5. cf. *Carpinus* sp. 162
4.3.6. *Clematis vitalba* *164*
4.3.7. *Corylus avellana* *166*
4.3.8. Fabaceae 168
4.3.9. *Fagus sylvatica* *170*
4.3.10. *Fraxinus* sp. 172
4.3.11. *Hedera helix* ssp. 174

4.3.12. *Ilex aquifolium* *176*

4.3.13. *Lonicera* sp. 178

4.3.14. *Pistacia lentiscus* *180*

4.3.15. *Populus/Salix* *182*

4.3.16. *Prunus* sp. 184

4.3.17. *Quercus* sp. caducifolio 187

4.3.18. *Quercus* sp. perennifolio 189

4.3.19. *Rhamnus alaternus/Phillyrea* *192*

4.3.20. *Rhamnus cathartica/saxatilis* *194*

4.3.21. Rosaceae/Maloideae 196

PARTE I 199

CAPTHER V. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution 201

5.1. Introduction 205

5.1.1. Geographical area and landscapes 207

5.2. Materials and methods 210

5.2.1. Anthracological analysis 210

5.2.2. Intra-site spatial distribution analysis of anthracological remains 212

5.3. Results 213

5.3.1. Anthracological analysis 213

5.3.2. Intra-site spatial distribution 214

5.4. Discussion 217

5.4.1. Wood plant diversity, landscapes and environmental setting around Molí del Salt during the Late Upper Palaeolithic 217

5.4.2. The GIS contribution in firewood management and uses of woody taxa 222

5.5. Conclusions 226

CAPTHER VI. Late Paleolithic hunter-gatherers' resilience in the face of the transformation of the vegetation landscape and climate change in the Pre-Pyrenees 229

6.1. Introduction 233

6.2. Study area and site description 236

6.2.1. Geographical area and landscapes 236

6.2.2. Archaeological research at Cova del Parco 238

6.3. Materials and methods 240
6.3.1. Anthracological analysis 240
6.3.2. Taphonomic and biological processes 242
6.3.3. Intra-site spatial pattering 244
6.4. Results 244
6.4.1. Anthracological analysis 244
6.4.2. Taphonomic and biological alterations 245
6.4.3 Intra-site spatial distribution of charcoal remains 247
6.5. Discussion 250
6.5.1 Cova del Parco: a multiproxy record to reconstruct the surrounding landscape 250
5.2 Pre-forest formations during the last deglaciation: a mosaic of landscapes 256
6.5.3 Distribution patterns of woody taxa and fuelwood resource management 259
6.6. Conclusions 262
PARTE II 265
CAPTHER VII. Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: an anthracological approach 267
7.1. Introduction 271
7.1.1. Geographical area and landscapes 272
7.2. Cova Colomera 275
7.3. Materials and methods 278
7.4. Results 279
7.5. Discussion 283
7.5.1. Transformation of the vegetation landscape and the environmental conditions around Cova Colomera 283
7.5.2. Anthropogenic impacts: human and environment interactions 287
7.6. Conclusions 290
CHAPTHER VIII. Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: the case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario 293
8.1. Introduction 297
8.2. Study areas 299
8.3. Materials and Methods 301
8.3.1. Occurrence data 301

8.3.2. Selecting variables 303
8.3.3. Running the ENM and evaluating accuracy and importance values 305
8.3.4. Middle Holocene anthracological data available for the NE Iberian Peninsula 306
8.4. Results....308
8.4.1. Accuracy of the two oak ENMs and current suitable distributions 308
8.4.2. Important variables and response curves 309
8.4.3. Vegetation formation types according to the anthracological data 310
8.4.4. Suitable distribution maps of the two oak species based on the Middle Holocene climatic scenario (8.200 to 4.2 ka BP) and site location....314
8.5. Discussion....317
8.5.1. Physical-environmental factors and current suitable habitats for oak woodlands in the NE Iberian Peninsula....317
8.5.2. Oak formations under the Middle Holocene climatic scenario: an anthracological perspective (8.2-4.2 ka BP) 319
8.6. Conclusions 323
PARTE III 327
CAPÍTULO IX. Discusiones generales 329
9.1 Uso de leña y organización del espacio....331
9.2.1. Factores medioambientales....340
9.2.2. La movilidad de las primeras comunidades pastoriles 344
9.2.3 Paisajes vegetales y áreas de captación de madera durante el Neolítico 347
Conclusiones.... 356
Perspectivas de futuro.... 359
Referencias bibliográficas 362
Anexos.... 441
Anexo I....443
Anexo I. Material suplementario 461
Anexo II 463
Anexo III....475
Anexo III. Material suplementario....491

RESUMEN

En el noreste de la península ibérica, se dispone de datos antracológicos que provienen de distintos contextos arqueológicos. Sin embargo, la complejidad geográfica y medioambiental de la región hace que la disponibilidad de secuencias completas y datos resulte insuficiente. Esta tesis doctoral tiene como objetivo principal investigar las relaciones entre las comunidades humanas, el entorno vegetal y el medioambiente en el noreste de la península ibérica, en un período que abarca desde el final del Paleolítico hasta el Holoceno final (ca. 16.400-3.400 años cal BP). Para lograr este propósito, se han establecido cuatro casos de estudio y tres objetivos específicos: 1) analizar conjuntos antracológicos de yacimientos arqueológicos con secuencias antracológicas incompletas; 2) examinar la composición de las comunidades vegetales y entender los factores que influyeron en su transformación; y 3) entender cómo las comunidades humanas gestionaron los recursos leñosos, identificando patrones y cambios en su selección y utilización.

El análisis antracológico, que incluye la identificación taxonómica y de las alteraciones tafonómicas en la anatomía de la madera, se realizó en 1.899 fragmentos de carbón recuperados en tres yacimientos, Molí del Salt (sur del valle del Ebro), Cova del Parco (Prepirineo) y la Cova Colomera (Pirineo Central), que contienen secuencias arqueológicas generadas por distintos eventos de ocupación humana, desde el final del Magdaleniense medio hasta la Edad del Bronce. El análisis espacial *intra-site* se aplicó a los fragmentos de carbón de Molí del Salt y Cova del Parco, mediante las técnicas geoestadísticas Densidad de kernel, K-means y el índice I de Moran de ArcGIS. Asimismo, se modelaron los hábitats adecuados (ENM) de dos especies de *Quercus* sp. en el escenario climático del Holoceno medio (8.200-4.200 años BP) utilizando el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt). Para ello, se seleccionaron biovariables ráster mediante el factor de inflación de varianza (VIF), y se obtuvieron las coordenadas geográficas actuales de ambas especies mediante QGIS. Se generaron 10 réplicas de los modelos MaxEnt con un máximo de 500 interacciones y un submuestreo de ocurrencias del 30%. Finalmente, se validaron los modelos mediante el valor AUC (Área bajo la curva), la curva ROC (Característica Operativa del Receptor) y la correlación de la prueba no paramétrica Kruskall Wallis con 100 modelos nulos.

Por una parte, los resultados obtenidos en Molí del Salt y Cova del Parco revelan transformaciones en la cobertura vegetal, con retroceso de los bosques de *Pinus* tipo *sylvestris* y el aumento de formaciones abiertas dominadas por *Juniperus* sp. Estos cambios se impulsarían por la influencia de distintos factores climáticos, de condiciones más templadas y húmedas alrededor de Molí del Salt, y frías-áridas y frías-húmedas en el caso de Cova del Parco. Asimismo, los resultados espaciales en ambos yacimientos muestran la organización del espacio y el uso selectivo de la leña en una distribución diferencial de los taxones *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. en distintos lugares del asentamiento. En el yacimiento de Cova Colomera, los resultados muestran una cobertura estable del bosque caducifolio submediterráneo dominado por robles caducifolios, que se influenciaría por unas condiciones climáticas suaves y húmedas. Por otra parte, los ENM revelan diferencias significativas en la distribución de hábitats adecuados para *Quercus ilex* subsp. *ilex* y *Quercus pubescens*. Finalmente, la localización de los yacimientos arqueológicos del Neolítico refleja preferencias de selección de la madera de ambos *Quercus* relacionadas con la distribución de ambos hábitats adecuados. En síntesis, mediante el análisis antracológico, el análisis espacial *intra-site* y los modelos de nicho ecológico, se han obtenido resultados que contribuyen a una mejor comprensión de la interacción entre los seres humanos y su entorno vegetal en el pasado, y ofrecen perspectivas interesantes para futuras investigaciones.

ABSTRACT

Anthracological data from several archaeological contexts have been available in northeastern Iberia. However, due to the region's complex geography and diverse environments and landscapes, there is a need for more complete sequences and additional data. This doctoral thesis aims to investigate the relationships among human communities, vegetal landscapes, and environments in this region, spanning a period from the end of the Palaeolithic to the late Holocene (ca. 16,400-3,400 cal BP). To achieve this aim, we conducted four study cases and established three specific objectives. The first objective was to analyze anthracological assemblages from archaeological sites with incomplete anthracological sequences. The second objective was to examine the composition of plant communities and understand the factors influencing their transformation. The third objective was to understand how human communities utilized fuelwood resources, identifying patterns and changes in their management strategies.

The anthracological analysis, including taxonomic identification and taphonomic alterations in wood anatomy, was performed on 1,899 charcoal fragments retrieved from three sites: Molí del Salt (southern Ebro Valley), Cova del Parco (Pre-Pyrenees), and Cova Colomera (Central Pyrenees). These sites have archaeological sequences resulting from several human occupation events spanning the end of the Middle Magdalenian to the Bronze Age. Intra-site spatial analysis techniques such as Kernel Density, K-means, and Moran's I index were applied to the charcoal fragments from Molí del Salt and Cova del Parco using ArcGIS. We modeled suitable habitats (ENM) for two oak species, *Quercus ilex* and *Quercus pubescens*, using the Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm under the mid-Holocene climatic scenario (8,200-4,200 years BP). We selected the bioclimatic variables based on the variance inflation factor (VIF), and we obtained the current geographic coordinates of the oak species using QGIS. We generated ten replicates of the MaxEnt models with a maximum of 500 interactions and a 30% occurrence subsampling. We check the models' validation using the Receiver Operating Characteristic curve (ROC curve) the Area Under the ROC curve (AUC), and the correlation with 100 null models using the non-parametric Kruskall-Wallis test.

The results showed transformations in local landscapes around Molí del Salt and Cova del Parco, characterized by the decline of conifer forests and the increase of open formations dominated by *Juniperus* sp. These changes were influenced by various climatic factors, with Molí del Salt experiencing milder and wetter conditions while Cova del Parco exhibited cold-dry and cold-wet conditions. Spatial analysis in both sites indicated the selective utilization of fuelwood resources, with differential distributions of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. across different areas within both settlements. Cova Colomera displayed a stable vegetation landscape dominated by a sub-Mediterranean deciduous oak forest, influenced by mild and humid climatic conditions. The ENMs demonstrated significant differences in the distribution of suitable habitats for the two oak species. Finally, the preference for fuelwood selection from both oaks in Neolithic archaeological sites could correspond to the distribution of these suitable habitats. In summary, the combination of anthracological analysis, intra-site spatial analysis, and ecological niche models contributes to a better understanding of human-environment interactions, and our results offer prospects for future research.

Presentación

La presente tesis doctoral se ha realizado gracias a la beca predoctoral FI-AGAUR (2020-FI_B00013), otorgada por la Generalitat de Catalunya, y se enmarca en el proyecto de investigación "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)", 2021–2024, PID2020-117186GB-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Asimismo, este trabajo se enmarca dendro del programa de Doctorado "Societat i Cultura" de la Facultad de Geografía e Historia de la Universidad de Barcelona. Además, la presente tesis doctoral se ha desarrollado dentro del grupo de investigación "Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques" (SERP-UB), del Departamento de Historia y Arqueología de la Universidad de Barcelona.

Presentamos esta tesis en formato mixto, combinando un compendio de publicaciones con capítulos inéditos, que constituyen el cuerpo de la presente investigación. Con el objetivo de cumplir con la normativa requerida para una tesis doctoral por compendio de publicaciones, hemos publicado tres trabajos en revistas incluidas en el listado de *Journal Citation Reports* (JCR) de Thomson Reuters. A continuación, detallamos las referencias completas de los tres artículos, así como la contribución de los coautores en cada uno de ellos:

I. **Mas, B.**, Allué, E., Alonso, E.S., Vaquero, M., 2021. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution. *Archaeological and Anthropological Sciences* 13:12, 1-18. http://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2

La revista *Archaeological and Anthropological Sciences* presenta unas métricas de 2,213 (2021) de factor de impacto (JIF) y de 1,30 (2021) de indicador de citas (JCI). La participación de la autora de la presente tesis doctoral en este manuscrito corresponde a: la concepción de la idea, el diseño de la metodología de análisis espacial, la recuperación y estudio de la muestra antracológica, la redacción del manuscrito, la elaboración de las tablas y figuras y, finalmente, las gestiones como

autora correspondiente con la revista *Archaeological and Anthropological Sciences*. La coautora Ethel Allué (IPHES-CERCA, URV) participó en la concepción de la investigación, en la recuperación de la muestra antracológica, en la supervisión del análisis antracológico y participó en la supervisión de todas las fases del manuscrito. Los coautores E. Susana Alonso y Manuel Vaquero (IPHES-CERCA, URV) dirigieron las excavaciones arqueológicas, proporcionaron la muestra antracológica analizada y participaron activamente en la revisión de la última fase del manuscrito.

II. **Mas, B.**, Riera, S., Allué, E., 2023. Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario. *Ecological Informatics* 74, 101984. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984

La revista *Ecological Informatics* presenta unas métricas de 4,498 (2021) de factor de impacto (JIF) y de 1,04 (2021) de indicador de citas (JCI). La participación de la autora de la presente tesis doctoral en este manuscrito corresponde a: la concepción de la idea, el diseño de la metodología, el vaciado bibliográfico, la obtención de resultados, la redacción del manuscrito, la elaboración de las tablas y figuras y, finalmente, las gestiones como autora correspondiente con la revista *Ecological Informatics*. El coautor Santiago Riera (SERP-UB) participó activamente en la supervisión, discusión y revisión de todas las fases del manuscrito. La coautora Ethel Allué (IPHES-CERCA, URV) participó en la supervisión, revisión y corrección de todas las fases del manuscrito.

III. **Mas, B.**, Oms, F.X., Allué, E., 2022. Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: An anthracological approach. *Review of Palaeobotany and Palynology* 300, 104624. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104624

La revista *Review of Palaeobotany and Palynology* presenta unas métricas de 2,493 (2021) de factor de impacto (JIF) y de 0,75 (2021) de indicador de citas (JCI). La participación de la autora de la presente tesis doctoral en este manuscrito corresponde a: el estudio de la muestra antracológica, la redacción del manuscrito, la elaboración de las tablas y figuras y, finalmente, las gestiones como autora correspondiente con la revista *Review of Palaeobotany and Palynology*. El coautor F. Xavier Oms

(SERP-UB) dirigió las excavaciones arqueológicas, aportó los datos del contexto arqueológico, proporcionó la muestra antracológica analizada y participó activamente en la revisión y corrección de todas las fases del manuscrito. La coautora Ethel Allué (IPHES-CERCA, URV) participó en la concepción de la idea, en la supervisión del análisis antracológico y, posteriormente, contribuyó en la supervisión, revisión y corrección de todas las fases del manuscrito.

Estructura formal

La presente tesis doctoral se organiza en tres partes, compuestas por nueve capítulos y tres apéndices. Los capítulos I y II corresponden a una introducción general. El capítulo III expone el marco teórico-metodológico. El capítulo IV recoge las fichas descriptivas de los taxones vegetales leñosos identificados en los fragmentos de carbón estudiados. La primera parte presenta los capítulos V y VI. El capítulo V incorpora el manuscrito publicado *From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution*. El capítulo VI incorpora el manuscrito *Late Paleolithic hunter-gatherers' resilience in the face of the transformation of the vegetation landscape and climate change in the Pre-Pyrenees,* que se encuentra en la segunda fase revisión por la revista indexada *Quaternary Science Reviews*. La segunda parte presenta los capítulos VII y VIII. El capítulo VII incorpora el manuscrito *Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: An anthracological approach*. El capítulo VIII presenta el manuscrito *Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario*. La tercera parte presenta el capítulo IX, que incluye las discusiones generales, así como las conclusiones, las perspectivas de futuro y la bibliografía utilizada en el desarrollo de la presente investigación. Finalmente, en los apéndices 1 a 3 se adjuntan los artículos publicados en las siguientes revistas indexadas: *Archaeological and Anthropological Sciences* (Anexo 1), *Review of Palaeobotany and Palynology* (Anexo 2) y *Ecological Informatics* (Anexo 3).

Con el propósito de obtener la mención de Doctor Internacional, se ha adoptado un enfoque

bilingüe en la redacción de esta tesis doctoral, utilizando tanto el idioma castellano como el inglés. Los capítulos que presentan los manuscritos publicados en revistas indexadas se han redactado en inglés, mientras que los demás capítulos se presentan en castellano. Además, permitiendo una conexión fluida entre los diferentes contenidos presentados en esta tesis doctoral, se han incluido las figuras y las tablas en inglés.

Capítulo I. Introducción

En este capítulo introductorio, se abordan de manera general las distintas disciplinas que se explorarán en la presente tesis doctoral. En primer lugar, se introduce la disciplina antracológica, la cual se enfoca en el estudio de los recursos leñosos utilizados por las comunidades humanas. A continuación, se presentan los métodos y técnicas de análisis espacial *intra-site* en arqueología, centrándose específicamente en la detección de áreas de actividad humana mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Asimismo, se examina el rol del combustible vegetal en la organización del espacio y se explora cómo su análisis puede contribuir a una mayor comprensión de la relación entre las comunidades humanas del pasado y su entorno vegetal. Posteriormente, se analiza la aplicación de los Modelos de Nicho Ecológico (ENM) y se destaca la importancia de relacionarlos con los datos antracológicos. Por último, se presentan el objetivo principal y los tres objetivos específicos que guían la presente investigación en la tesis doctoral.

Capítulo II. Comunidades humanas, paisaje y clima en el noreste de la península ibérica desde el Paleolítico Superior final hasta la Edad del Bronce Medio

En este capítulo, se exploran diversos elementos que resultan fundamentales para una comprensión integral de las culturas humanas objeto de estudio, el contexto climático en el cual se desarrollaron y se presentan los taxones vegetales leñosos identificados en los estudios antracológicos en las distintas zonas bioclimáticas del área de estudio. A través de este enfoque multidisciplinario, el presente capítulo busca ofrecer una visión más completa y contextualizada de las prácticas y relaciones humanas en relación con el medio ambiente y los recursos vegetales a lo largo del tiempo.

Capítulo III. Marco teórico-metodológico

En este capítulo, se presenta una perspectiva teórica y metodológica detallada que ha sido adoptada en esta tesis doctoral. Se abarcan conceptos clave, teorías y metodologías utilizadas para desarrollar una comprensión sólida de los temas investigados. Se describe la selección y aplicación de técnicas y métodos para recopilar, analizar y presentar los datos. El capítulo se divide en tres secciones principales: la antracología, que se centra en el estudio de fragmentos de carbón en contextos arqueológicos; los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permiten la visualización, generación, análisis y manipulación de información georreferenciada; y la metodología de modelado de nichos ecológicos (ENM), que predice la distribución potencial de especies basándose en la relación entre el hábitat y las características ambientales.

Capítulo IV. Fichas descriptivas de los taxones vegetales leñosos identificados

Este capítulo presenta las descripciones detalladas de los taxones de plantas leñosas identificadas a través del análisis antracológico, los cuales conforman la totalidad de los taxones que son objeto de estudio en esta tesis doctoral. Estas descripciones resultan una herramienta útil para investigadores no familiarizados con la vegetación mediterránea. Con el fin de obtener información uniforme sobre cada taxón, las descripciones se organizan en un formato estandarizado en cajas, que incluyen información sobre la clasificación botánica, un mapa de distribución geográfica actual, fotografías, hábitats geográficos y características ambientales. Además, se describen los diferentes usos tradicionales de la madera, así como una visión general de cada taxón. Finalmente, se presenta una descripción de los caracteres anatómicos diagnósticos de la madera observados en los tres planos anatómicos, que son esenciales para la identificación taxonómica.

PARTE 1. Del Paleolítico superior final al Epipaleolítico/Mesolítico

La primera parte presenta un manuscrito en fase de revisión por pares (Capitulo V) y un manuscrito publicado (Capítulo VI, Anexo 1). Los dos manuscritos se presentan acorde a una secuencia temporal, tomando como punto de partida el Paleolítico Superior final y concluyendo en el Epipaleolítico/Mesolítico (ca. 16,4-12,5 mil años cal BP). Ambos capítulos se enfocan en

una aproximación paleoambiental y paleoclimática del área de estudio, mediante los taxones vegetales leñosos identificados en los fragmentos de carbón. Además, examinan las estrategias humanas relacionadas con la obtención y uso de combustible vegetal, así como la organización y uso del espacio en los asentamientos.

Capítulo V. Del bosque al asentamiento: interacciones de los cazadores-recolectores magdalenienses con la vegetación y el ambiente mediante la antracología i la distribución espacial intra-site

Este capítulo corresponde al manuscrito del artículo científico publicado en la revista *Archaeological and Anthropological Sciences* (Anexo 1). Se engloba dentro de la disciplina antracológica y en los análisis de distribución espacial *intra-site* mediante SIG, que se aplicaron a los fragmentos de carbón recuperados en el nivel A del yacimiento arqueológico Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Conca de Barberà, Tarragona), adscrito a la fase crono-cultural del Magdaleniense superior final (13,8-12,6 mil años cal BP). En este capítulo se presenta la introducción al contexto y a la problemática abordada, la descripción del área de estudio, la presentación del yacimiento Molí del Salt, los materiales y métodos aplicados, los resultados obtenidos y dos puntos de discusión. Así, se examina el clima y el ambiente local de la época y se comparan los resultados con los datos antracológicos toda la secuencia arqueológica, desde el Magdaleniense superior hasta el Mesolítico (15,4-8,7 mil años cal BP). Se utiliza SIG para analizar la distribución espacial de los fragmentos de carbón, identificar episodios de combustión y determinar las áreas específicas donde se llevaron a cabo. Finalmente, se discuten las transformaciones de los paisajes a nivel regional y las estrategias humanas en la gestión del combustible y su impacto en el medio ambiente.

Capítulo VI. La resiliencia de los cazadores-recolectores del Paleolítico final frente a los cambios en el paisaje y el clima en el Prepirineo

Este capítulo corresponde al manuscrito no publicado y que está actualmente en fase de revisión por pares en una revista científica indexada, de los autores Bàrbara Mas (SERP-UB, IAUB), Xavier Mangado (SERP-UB, IAUB), Marta Sánchez de la Torre (SERP-UB, IAUB), José Miguel Tejero

(HEAS, UV), Josep Maria Fullola (SERP-UB, IAUB) y Ethel Allué (IPHES-CERCA, URV). El capítulo se engloba dentro de la disciplina antracológica y en los análisis de distribución espacial *intra-site* mediante los Sistema de Información Geográfica (SIG). En este capítulo, se presenta la introducción al contexto y a la problemática abordada, la descripción del área de estudio, la presentación del yacimiento Cova del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera, Lleida), los materiales y métodos aplicados y, finalmente, sepresentan los resultados del estudio de los fragmentos de carbón de la secuencia arqueológica del yacimiento Cova del Parco, que se enmarca desde la fase crono-cultural del Magdaleniense medio final al Epipaleolítico geométrico de tipo sauvaterriense (16,4-12,7 mil años cal BP). Este estudio completa la secuencia antracológica que fue publicada por E. Allué (2013a) y también recupera el informe antracológico inédito de M.T. Ros (1997).

PARTE 2. Del Neolítico a la edad del Bronce medio

La segunda parte presenta dos manuscritos publicados (Capítulos VII y VIII, Anexos 2 y 3 respectivamente). Los dos manuscritos se presentan acorde a una secuencia temporal, tomando como punto de partida el Holoceno medio hasta el Holoceno tardío (8.2-3.4 mil años cal BP). Ambos capítulos se enfocan en una aproximación paleoambiental y paleoclimática a nivel local y regional, mediante los taxones vegetales leñosos identificados en los fragmentos de carbón. Además, examinan el impacto de los factores ambientales y de las actividades humanas, como la gestión del combustible vegetal o el pastoreo, en las dinámicas de transformación de los paisajes vegetales.

Capítulo VII. Impactos antrópicos en los paisajes vegetales e implicaciones ambientales durante el Holoceno medio-tardío en el Prepirineo Central: una perspectiva antracológica

Este capítulo corresponde al manuscrito del artículo científico publicado en la revista *Review of Palaeobotany and Palynology* (Anexo 2), y se engloba dentro de la disciplina antracológica. Se analizan los fragmentos de carbón recuperados de la secuencia arqueológica del yacimiento Cova Colomera (Sant Esteve de la Sarga, Pallars Jussà, Lleida), que se enmarca desde la fase crono-cultural del Neolítico antiguo a la edad del Bronce medio (7,1-3,4 mil años cal BP). En este capítulo se presenta

la introducción al contexto y a la problemática abordada, la descripción del área de estudio, la presentación del yacimiento Cova Colomera, los materiales y métodos aplicados, los resultados obtenidos y dos puntos de discusión. Se analiza el impacto del cambio climático y de las actividades humanas de este período, especialmente las referentes al pastoreo, en la dinámica de transformación de los paisajes mediterráneos, y se discute a partir de un enfoque local y regional.

Capítulo VIII. Modelando robledales y encinares sub-mediterráneos mediante el algoritmo MaxEnt: el caso del noreste de la peninsula ibérica bajo el escenario climático del Holoceno medio

Este capítulo corresponde al manuscrito del artículo científico publicado en la revista *Ecological Informatics* (Anexo 2). Se enfoca en la combinación de la antracología y la ecología espacial, y presenta dos modelos de nicho ecológico (ENM) para dos especies arbóreas, el roble pubescente (*Quercus pubescens* Willd,) y la encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*). Estos modelos se han calculado mediante el algoritmo de Máxima entropía (MaxEnt), uno actual y otro basado en las condiciones climáticas del Holoceno medio (8,2-4,2 mil años cal BP). En este capítulo se presenta la introducción al contexto y a la problemática abordada, la descripción del área de estudio, la presentación de los datos antracológicos de contextos del período Neolítico, los materiales y métodos aplicados, los resultados obtenidos y dos puntos de discusión. Además, se analiza la influencia de las condiciones ambientales actuales y las del Holoceno medio en la distribución del hábitat adecuado para ambos taxones. Así mismo, se revisan los conjuntos antracológicos del período Neolítico en el noreste de la Península Ibérica, y se discute la relación entre las ubicaciones de los asentamientos humanos y la distribución de ambos tipos de bosque. Finalmente, se examina la relación entre las áreas de captación de leña para combustible en relación con los ENM obtenidos y a la ubicación de los asentamientos neolíticos.

PARTE 3. Discusión, conclusiones y perspectivas de futuro

Capítulo IX. Discusión general

En este capítulo se discuten tres aspectos fundamentales de esta tesis doctoral. En primer lugar,

las nuevas aportaciones al conocimiento global del registro antracológico del Paleolítico superior final a la Edad del Bronce medio en el noreste de la Península Ibérica. En segundo lugar, las nuevas aportaciones al conocimiento global sobre la organización y el uso del espacio en cueva y abrigos por parte de poblaciones cazadoras-recolectoras del final del Pleistoceno, mediante los fragmentos de carbón como principal objeto de análisis. En tercer lugar, las nuevas aportaciones sobre estrategias de gestión de combustible y áreas de captación durante el período Neolítico en el noreste de la Península Ibérica.

Conclusiones

Este capítulo ofrece una visión general de las conclusiones más importantes de la tesis doctoral. Se hace hincapié en la importancia de utilizar el registro antracológico como una herramienta valiosa en el estudio del cambio climático, las actividades humanas entorno a la madera como combustible y la transformación de los paisajes vegetales, mediante un enfoque de lo local a lo regional.

Perspectivas de futuro

En este capítulo se presentan diferentes perspectivas de futuro que plantean nuevos horizontes y posibilidades de investigación. En general, se espera que este estudio inspire futuras investigaciones y aporte a la construcción de una comprensión más completa del registro antracológico.

Bibliografía

En el desarrollo de esta tesis doctoral, se ha realizado una exhaustiva recopilación bibliográfica con el objetivo de respaldar y fundamentar la investigación llevada a cabo. El presente capítulo presenta la bibliografía seleccionada, donde se ha dado prioridad a la inclusión de fuentes actualizadas para asegurar la solidez de nuestra investigación.

Unidad temática

La presente tesis doctoral investiga los últimos estadios de los grupos humanos cazadores-recolectores paleolíticos y el establecimiento de los primeros grupos productores y agro-pastoriles seminómadas del Holoceno Medio-Tardío (~ 16,4-3,4 mil años cal BP) en el contexto geográfico del noreste de la península ibérica. Desde una perspectiva biogeográfica, este período presenta una variabilidad climática que, estrechamente ligada a una distribución zonal, tuvieron profundas repercusiones en la evolución y distribución de los ecosistemas. Para analizar esta distribución geográfica, se aplica la perspectiva de la ecología espacial, que se centra en analizar la influencia del medioambiente y los factores bióticos y abióticos sobre la distribución de especies en un área determinada. Asimismo, para la arqueología y, en especial, la arqueología ambiental, resulta de gran interés investigar y comparar los modos de vida entre los últimos grupos humanos cazadores-recolectores y las primeras sociedades agrícolas-pastoriles semisedentarias, especialmente en lo que respecta a las estrategias de subsistencia, como la obtención de recursos cinegéticos y materias primas, y los comportamientos tecnológicos, simbólicos y sociales. Por otra parte, la paleobotánica permite reconstruir la vegetación del pasado a partir del estudio de micro- y macrorestos vegetales de los yacimientos y los depósitos naturales, a fin de reconstruir los usos de los recursos vegetales leñosos y los condicionamientos climáticos en los que los seres humanos tuvieron que adaptarse. Desde un punto de vista antracológico, la complejidad del comportamiento humano se plasma en las diversas estrategias de selección, recolección, gestión y uso de los recursos vegetales leñosos que fueron usados como combustible. Además, los estudios arqueobotánicos, que se centran en todos los aspectos relacionados con el uso de las plantas por parte los grupos humanos del pasado, consituyen actualmente una parte esencial de la arqueología. A pesar de ello, la investigación sobre las estrategias de gestión y uso de los recursos vegetales leñosos por parte de las distintas comunidades humanas durante la Prehistoria es todavía escasa.

La madera ha sido utilizada por el ser humano durante milenios, y sigue siendo un recurso versátil y relevante en la actualidad. La madera puede ser utilizada como combustible, material de construcción, fabricación de objetos, tintes, medicinas, así como iluminación y ahumado de pieles

y alimentos, entre otros fines. Por ende, el estudio de la gestión de la madera resulta fundamental para comprender cómo se ha utilizado y administrado este recurso a lo largo del tiempo, así como para investigar su impacto ambiental y social.

El noreste de la península ibérica resulta un área de interés particular para analizar la diversidad de interrelaciones entre los seres humanos y el medio. La situación latitudinal entre las zonas climáticas templada y tropical, la influencia del mar Mediterráneo y la enorme variedad geográfica del territorio han dado lugar a un singular mosaico de ambientes y a una gran complejidad de paisajes vegetales. En comparación con otras áreas, los estudios paleoclimáticos, paleobotánicos y arqueobotánicos, en los que se incluye también la antracología, son cuantiosos, especialmente por la existencia de proyectos e instituciones que investigan desde estas disciplinas. Sin embargo, dada la particularidad y diversidad geográfica de la zona de estudio, cada vez son más los especialistas que defienden una aproximación basada en una escala de carácter local, por lo que la necesidad de generar nuevos datos es fundamental. Esta premisa es necesaria para comprender mejor un fenómeno en un entorno concreto, facilitando la identificación de causas y efectos. Por ello, la aplicación de una serie de técnicas de investigación, en el marco de un estudio interdisciplinar, permite caracterizar el espacio y los procesos que lo definen.

La presente investigación se focaliza en la arqueobotánica y en la ecología espacial, conducidas a partir de la antracología y el análisis espacial. Por ende, persigue la finalidad de **crear y ampliar conocimiento** sobre la historia de los paisajes vegetales, en las estrategias humanas referidas a la gestión del combustible y a las adaptaciones a medios mediterráneos variables. Asimismo, se incorporan nuevas técnicas de análisis de datos multiescalares que, actualmente, resultan poco exploradas en estudios sobre la Prehistoria: el análisis del territorio y del paisaje (a escala local y regional) a través de los modelos de predicción de la distribución de especies, y el análisis espacial en los asentamientos (*intra-site*) de los fragmentos de carbón vegetal, cuya naturaleza radica en los residuos de los hogares.

CAPÍTULO I. Introducción

En las últimas décadas, la arqueología ha avanzado considerablemente al incorporar nuevas tecnologías, métodos y técnicas en sus investigaciones. Entre estas herramientas se encuentran el análisis antracológico, el análisis espacial intra-site mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Modelos de Nicho Ecológico (ENM), aunque estos últimos han sido poco explorados en el campo. En este capítulo, se ofrece una introducción al análisis antracológico y al estudio del combustible vegetal, así como la aplicación de herramientas SIG y ENM en relación con los conjuntos antracológicos. Además, se exponen los objetivos de esta investigación, que persiguen profundizar en el conocimiento del comportamiento humano y su relación con el medio ambiente.

1.1. Antracología: el uso de recursos leñosos por las comunidades humanas

La antracología es una disciplina arqueobotánica que se ocupa en identificar taxonómicamente la madera y el carbón vegetal recuperados en yacimientos arqueológicos. Su nombre proviene del griego νθρακξ (anthrax) que significa "carbón" y -λογία (-logia) que significa "estudio de". Las secuencias antracológicas aportan datos en el estudio de cómo las comunidades humanas han utilizado los recursos leñosos a lo largo del tiempo, y permiten registrar los procesos de cambio en los paisajes vegetales y su influencia en la disponibilidad de dichos recursos. En otras palabras, las secuencias antracológicas aportan datos desde una visión temporal tanto sincrónica como diacrónica, y permiten investigar los cambios en el uso de la madera y su impacto en el paisaje.

A caballo entre el siglo XIX y principios del s. XX, los fragmentos de carbón empezarían a recuperarse manualmente en algunos yacimientos arqueológicos (p.ej. Heer, 1866; Prejawa, 1896; Fliche, 1907). No obstante, sería el abad francés H. Breuil (1877-1961) el primer interesado en analizar los fragmentos de carbón de una capa de cenizas del yacimiento magdaleniense de la Grotte du Mas-d'Azil (Le Mas d'Azil, Ariège, Francia), con la intención de averiguar si los taxones leñosos podrían relacionarse con los restos faunísticos, especialmente bajo condiciones climáticas frías: "Plus en avant, ce charnier passait à un foyer très mêlé de pierraille, contenant quelques os d'isard, de cheval et de renne, et beaucoup de charbons de bois â la base; ceux que j'ai pu recueillir ont été très obligeamment étudiés par M. Fliche, professeur à l'Ecole forestière de Nancy, qui y a reconnu le *chêne* et un arbre du groupe des *pomacées*, peut-être l'alisiser" (Breuil, 1903: p. 426). Los primeros estudios se llevarían a cabo utilizando la técnica de las láminas delgadas, la cual se aplicaría principalmente en el campo de la biología.

A mediados del s. XX, acontecerían dos hechos importantes para el campo de la arqueología, y que repercutirían directamente en los estudios antracológicos. En primer lugar, el descubrimiento del método de datación radiocarbónica, o del carbono-14 (^{14}C) por los físicos J.R. Arnold y W.F. Libby (1949), permitió determinar la edad de los carbones

arqueológicos con bastante precisión, aunque con un límite cronológico de 50 mil años. La medición por ^{14}C se perfeccionaría poco después por el físico H. de Vries (1958), quien desarrollaría la calibración de las dataciones por radiocarbono a partir de las mediciones de los anillos de los árboles. Más tarde, la investigación del físico R.A. Muller (1977) sería el punto de partida al desarrollo del método de medición AMS (espectrometría de masas con aceleradores), que proporcionaría unas estimaciones más precisas en las dataciones radiocarbónicas. En segundo lugar, en la década de los 60, surgiría un nuevo enfoque en la arqueología, en el marco de la denominada *New Archaeology* (ver referencias en Renfrew y Bahn, 1993). Este nuevo enfoque teórico y metodológico tendría como objetivo renovar la forma en que se abordaba la arqueología, la cual se concebiría como una ciencia objetiva y empírica que analizaría el pasado mediante métodos cuantitativos y estadísticos de los datos. Por ende, la *New Archaeology* promovería la importancia de proponer una teoría sólida y rigurosa que guiara la investigación en arqueología. Además, fomentaría la colaboración interdisciplinaria, especialmente con la antropología y la historia, para obtener una comprensión más profunda de los contextos sociales y culturales de los asentamientos humanos. Finalmente, mediante la combinación de las ciencias de la tierra, destacaría la importancia del estudio del contexto en el que se encontraban los materiales y asentamientos arqueológicos (Renfrew, 1976).

El desarrollo tecnológico en ciencia ha sido y es fundamental para el avance y la comprensión del mundo que nos rodea, y los instrumentos son una parte esencial del proceso científico. Así, J. Stieber (1967) fue uno de los primeros investigadores que realizó observaciones directas del carbón con un microscopio óptico, que abrió la puerta a los primeros trabajos de análisis de los carbones arqueológicos, como los realizados por Couvert (1969) y Santa y Vernet (1968), y sobre restitución paleoambiental (Santa, 1961; Vernet, 1967; Couvert, 1976). Finalmente, J.L. Vernet (1973) incorporó el microscopio óptico de reflexión de campos claro-oscuro como el instrumento fundamental para la antracología, que daría lugar a un aumento en los estudios sistemáticos en esta disciplina a finales de los años 80 y principios de los 90.

La influencia actual de la investigación antracológica se debe en gran medida a los trabajos llevados a cabo por J.L. Vernet, profesor de la "escuela de Montpellier", de Francia. J.L. Vernet diseñó modelos teóricos y metodológicos con una perspectiva paleoambiental o paleoecológica de la antracología (Vernet, 1967, 1973, 1980, 1988, 1991). En esta primera etapa, los estudios se centraron en señalar correlaciones entre las secuencias antracológicas y palinológicas (Vernet, 1973; Bazile-Robert, 1979; Krauss-Marguet, 1981; Vernet y Thiébault, 1987). Pocos años después, se publicaron las primeras tesis doctorales de dicha escuela, que aportarían importantes secuencias antracológicas en el suroeste europeo (Chabal, 1982, 1991; Heinz, 1983, 1990; Badal, 1984, 1990; Ros, 1985, 1987; Figueiral, 1987, 1990; Grau, 1991; Machado, 1994; Rodríguez-Ariza, 1992; Uzquiano, 1992a, 1992b). Finalmente, la aplicación de un corpus teórico-metodológico sólido en el muestreo de campo, el trabajo de laboratorio, la representatividad paleoecológica y el tratamiento cuantitativo y estadístico de datos se desarrolló en la escuela de Montpellier, incluyendo M.T. Ros (1985), E. Badal (1987), S. Thièbault (1988), L. Chabal (1992), L. Chabal y colaboradores (1999).

A principios de la década de los años 80, los intensos trabajos de investigación arqueológica que se llevarían a cabo en el noreste de la península ibérica conllevarían a la publicación de las primeras secuencias antracológicas, especialmente en registros postglaciares y holocenos de Balma del Gai (Bages, Barcelona) (Bazile-Robert, 1980; Allué et al., 2007a), Cova del Toll (Moià, Barcelona) (Allué et al., 2013b) y Cova del Frare (Matadepera, Barcelona) (Ros y Vernet, 1987), Abric del Filador (Margalef de Montsant, Tarragona) (Cebrià et al., 1981; García-Argüelles et al., 2005), Sota Palou (Campdevànol, Girona) (Carbonell et al., 1985) y Cova de l'Arbreda (Serinyà, Girona) (Ros, 1987).

A partir de la década de los 90, la antracología experimentaría un fortalecimiento en el noreste de la península ibérica, gracias a los primeros trabajos de tesis de licenciatura y trabajos pioneros realizados en el campo de la arqueología de la pre y protohistoria (Ros, 1992, 1995a, 1995b, 1996, 1997, 1998; Piqué, 1999a, 1999b; Allué, 2002, 2004).

En los últimos cincuenta años, la investigación en antracología ha tenido un

impacto significativo en la comprensión de la historia humana y su relación con el medio ambiente. Esta disciplina identifica los taxones de plantas presentes en el entorno a partir de los fragmentos de carbón, lo que nos permite obtener una visión sincrónica y diacrónica de las comunidades vegetales existentes en el pasado y que constituyen un recurso para las comunidades humanas. En este sentido, el estudio de las plantas leñosas abarca otros aspectos, desde la identificación y clasificación de las distintas especies vegetales hasta el estudio de su ecología y distribución geográfica, entre otros. Este enfoque, de carácter dendroecológico, puede proporcionar una comprensión más profunda sobre la configuración del paisaje vegetal y los cambios ambientales, y cómo los humanos han interactuado con su entorno natural a lo largo de la historia (Chabal, 1992, 1997; Kabukcu y Chabal, 2021; Dufraisse et al., 2022, entre otros).

Los macrorestos vegetales, recuperados en los contextos arqueológicos, son una de las evidencias del uso de plantas leñosas por parte de las comunidades humanas. En el presente estudio, entendemos la naturaleza de los fragmentos de carbón como residuos de un uso de la madera con la finalidad principal de utilizar combustible. La selección de madera como combustible es un proceso complejo que está influenciado por una variedad de factores que deben tenerse en cuenta al interpretar el registro antracológico (Allué et al., 2007b, 2017a; Henry et al., 2009; Henry, 2012; Théry-Parisot y Henry, 2012; Théry-Parisot et al., 2016; Mallol y Henry, 2017; Kabukcu, 2018; Vidal-Matutano y Pardo-Gordó, 2020; entre otros). Entre estos factores, se incluyen las características medioambientales y geográficas del paisaje, que determinan las comunidades vegetales que se desarrollan en un área de captación de recursos. Por ende, son variables importantes la disponibilidad de diferentes tipos de plantas leñosas y la cantidad de madera que podría estar disponible en el entorno (Asouti y Austin, 2005; Allué et al., 2007b, 2017a, 2017b, Chrzazvez et al., 2008; Delhon et al., 2009; entre otros). De la misma manera, cabe tener en cuenta las distintas tradiciones culturales y las necesidades específicas de los grupos humanos (Allué et al., 2013c; Vidal-Matutano, 2016; Alcolea, 2017; Picornell-Gelabert et al., 2017, entre otros). En este aspecto, la selección de la madera puede

relacionarse a sus propiedades, como calidad, tamaño, densidad y resistencia, así como también según el uso previsto (Théry-Parisot, 2001, 2002; Henry et al., 2009; Solé et al., 2013; Henry y Théry-Parisot, 2014).

Hoy en día, existen numerosas secuencias antracológicas publicadas en diferentes contextos arqueológicos de la península ibérica (Carrión et al., 2022a, 2022b), lo que evidencia el gran interés alcanzado por la antracología en el campo de la arqueología. Los importantes avances realizados en el noreste de la península ibérica han permitido no solo la consolidación de la antracología como disciplina, sino avanzar también en la identificación de patrones de uso de los recursos leñosos y las transformaciones en los paisajes vegetales a lo largo del tiempo (Alcolea, 2017; Allué, 2009, 2022; Allué et al., 2018a; Piqué et al., 2022; Revelles et al., 2022). En la actualidad, las excavaciones arqueológicas están incrementando el conjunto de yacimientos con datos antracológicos publicados. Por ello, consideramos necesario revisar y actualizar las secuencias antracológicas obtenidas, incorporando los nuevos datos y logrando una interpretación más precisa y completa de los conjuntos antracológicos. Asimismo, la inclusión de nuevos datos en las secuencias antracológicas existentes puede ayudar a mejorar interpretaciones anteriores que se basaron en conjuntos de datos reducidos o incompletos.

1.2. Análisis espacial en arqueología: de la detección de áreas de actividad humana

El análisis espacial *intra-site*, es decir, dentro de un yacimiento, es una técnica que utiliza herramientas geoespaciales y estadísticas para analizar los patrones y distribuciones espaciales de datos arqueológicos en el interior de un yacimiento. Esta aproximación se basa en el concepto de que la localización y abundancia de los restos de cultura material en relación con otras estructuras (si existiesen) puede proporcionar información sobre las pautas humanas sobre la organización y utilización de los espacios dentro de un asentamiento (Clarke, 1977). Durante los últimos años, la arqueología ha experimentado un notable avance en las aproximaciones centradas en el análisis espacial *intra-site* de los asentamientos humanos (Gillings et al., 2020). Este creciente interés se ha visto impulsado, en gran medida,

por el auge de las nuevas tecnologías SIG (Sistema de Información Geográfica) y las aplicaciones de tecnología geoespacial digital, que han permitido análisis más precisos, cuantificables y detallados sobre la distribución y disposición de los elementos arqueológicos dentro de un asentamiento (Allen et al., 1990; Conolly and Lake, 2006; Mainland et al., 2014; Chiang, 2015; García-Moreno et al., 2021; de la Peña et al., 2022; Moclán et al., 2023).

La investigación etnográfica ha explorado ampliamente el comportamiento de las comunidades humanas entorno a los hogares, y en el significado espacial que tienen los materiales culturales (p.ej., Lévi-Strauss, 1966, 1987; Yellen, 1977; Binford y Binford, 1968; Binford, 1978, 1980, 1982, 1983, 1996; Bartram et al., 1991; O'Connell et al., 1991). Estos estudios, enfocados desde perspectivas antropológicas, derivan de la consideración la cual entiende que la segregación del espacio es un medio para organizar actividades y relaciones sociales (p.ej., Binford 1978, 1983, 2001; Gargett y Hayden 1991; Galanidou 2000; Lancelotti et al., 2017). El uso de modelos conductuales derivados de estudios etnográficos para interpretar contextos arqueológicos domésticos ha sido una práctica común desde la primera mitad del siglo XX. En arqueología, se han utilizado estos modelos para tratar de identificar áreas de actividad humana, como la producción de herramientas, procesamiento y cocinado de alimentos, disposición de deshechos o áreas dormitorio (Movious, 1966; Leroi-Gourhan, 1976, 1979; Baxter et al., 1995; Church et al., 2000; Baales, 2001; Vaquero y Pastó, 2001; Ontañón, 2003; Julien, 2006; Eerkens y Lipo, 2007; Vallverdú et al., 2012; Blasco et al., 2016; Mallol y Henry, 2017; Neruda, 2017; Borrell, 2018 entre otros). Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos modelos conductuales no son una herramienta infalible para interpretar los contextos arqueológicos, ya que existen factores que pueden afectar la distribución espacial de los artefactos y otros restos arqueológicos. Esto, hace necesario considerar otros factores que puedan estar influyendo en la distribución de los restos arqueológicos, de entre ellos, los tafonómicos (Schiffer, 1972, 1983).

Aunque no es el enfoque principal de nuestra investigación, consideramos importante exponer el aumento de aplicaciones de herramientas geoespaciales en el estudio de los patrones de asentamiento humano a escala

macro-espacial. Estas herramientas incluyen los SIG, el análisis geoestadístico, las imágenes satelitales, la fotogrametría y los modelos de simulación y visualización 3D. Estos análisis de escala macro-espacial tienen como objetivo proporcionar datos cuantificativos para explorar las relaciones entre los factores geográficos, ambientales y culturales con la elección de lugares específicos de asentamiento (García-Moreno, 2013, 2015; Li et al., 2013; Orengo, 2013; Turrero et al., 2013; Allen et al., 2016; Fano et al., 2016; Haroutunian, 2016; Palet et al., 2017; Gravel-Miguel y Wren, 2018; Mas et al., 2018; Nikulina, 2019; Vidal-Matutano y Pardo-Gordó, 2020; Parcero-Oubiña y Nión-Álvarez, 2021; Rashidian y Djamali, 2023; entre otros). En estos trabajos, el uso de los SIG ha sido fundamental, ya que han permitido integrar diversas variables en un solo proyecto y desarrollar metodologías específicas para el análisis de diferentes materiales arqueológicos y localizaciones de yacimiento en relación con el entorno. Si bien nuestro estudio se centra en el entendimiento de la utilización de recursos leñosos dentro de los asentamientos, reconocemos el valor de estas herramientas geoespaciales en la investigación arqueológica a gran escala.

En el noreste de la península ibérica, se aprecia habitualmente en informes y memorias de excavación el uso de los SIG para proyectar distribuciones de materiales arqueológicos en planta y sección de niveles arqueológicos (p.ej., Mora et al., 2013; Vaquero et al., 2014; Mangado y Sánchez de la Torre, 2016). No obstante, existen actualmente pocas investigaciones que exploren su uso en el análisis del comportamiento y organización del espacio en asentamientos prehistóricos.

Un ejemplo relevante son los estudios que se llevaron a cabo en el yacimiento Abric Romaní (Capellades, Anoia, Barcelona), un abrigo que ha conservado una extensa secuencia arqueológica (ca. 100-40 Ka BP) generada a partir de reiteradas ocupaciones humanas Musterienses (Sharp et al., 2016; Vallverdú, 2018). Los resultados del análisis espacial de materiales líticos y macro-faunísticos en distintos niveles arqueológicos han permitido delimitar distintas áreas de actividad en algunos niveles arqueológicos, identificando las destinadas a las actividades de reciclaje de materiales líticos (Vaquero et al., 2015), áreas de procesado y cocción de alimentos, y actividades de talla (Rosell et al., 2012; Romagnoli y Vaquero, 2016; Bargalló

et al., 2020; Fernández-Laso, 2020; Gabucio et al., 2022; entre otros) y áreas dormitorio (Borrell, 2018; Vallverdú, 2018).

Otro ejemplo destacable es el estudio que se llevó a cabo en el yacimiento La Draga (Banyoles, Pla de l'Estany, Girona), un poblado palafítico al aire libre que ha conservado una secuencia arqueológica de dos episodios de ocupación humana durante el Neolítico antiguo (7.270-6.750 años cal BP) (Palomo et al., 2014). Los autores analizaron la relación entre la distribución de las densidades de taxones polínicos y otros palinomorfos en relación con las estructuras constructivas de madera del poblado y detectaron áreas de actividad relacionadas con el procesamiento de cereales (Revelles et al., 2017).

Por último, mencionamos los estudios de distribución espacial realizados en el yacimiento Les Guixeres de Vilobí (Sant Martí Sarroca, Alt Penedès, Barcelona), un poblado al aire libre que ha conservado una secuencia arqueológica con distintos episodios de ocupación humana correspondientes a los horizontes del Neolítico antiguo cardial (7.576-7.468 años cal BP), Neolítico antiguo epicardial (6.933-6.923 años cal BP), Neolítico postcardial (6.563-6.401 años cal BP) y Neolítico final (5.196-5.050 años cal BP) (Oms et al., 2021; Vidal, 2021). En estas investigaciones, se examinó la abundancia de los distintos materiales arqueológicos y la disposición espacial de los mismos, añadiendo bloques y estructuras negativas, interpretadas como agujeros de poste. Así, pudieron interpretarse distintas áreas de actividad relacionadas con el almacenamiento, habitación, producción de cuentas de collar hechas con malacología marina, talla lítica y zonas de desecho.

El espacio doméstico en contextos de grupos nómadas y seminómadas tiende a organizarse alrededor de los hogares, estructuras en las que se vertebran comportamientos culturales y relaciones sociales (*sensu* Lévi-Strauss, 1982; Chiang, 2015; Mangado et al., 2015; Domínguez-Rodrigo y Cobo-Sánchez, 2017; Clark et al., 2022; Stiner, 2021). No obstante, el análisis espacial de materiales en contextos paleolíticos presenta desafíos significativos, especialmente en los espacios de las cuevas y abrigos (Braadbaart et al., 2020). Este tipo de asentamientos no cuentan, generalmente, con estructuras constructivas complejas que ayuden a comprender cómo se podrían

haber distribuido los espacios, por lo que el enfoque del estudio espacial es la localización y abundancia de la cultura material en el espacio físico del área excavada del yacimiento. Asimismo, señalamos la complejidad que representan los conjuntos materiales, ya que en muchos casos se parte de muestras sesgadas que pueden distorsionar los resultados de los análisis de densidad (Brouwer, 2017). También, cabe tener presente los procesos tafonómicos que pueden alterar la disposición original de los materiales arqueológicos, especialmente los procesos postdeposicionales, lo que añade cierta dificultad en la interpretación de los patrones espaciales (Clark y Gingerich, 2022; Del Valle et al., 2022; Jones et al., 2023). Finalmente, nos parece significativo señalar que estos registros deben entenderse dentro del contexto de los palimpsestos, es decir, fueron generados de manera continua a lo largo del tiempo, lo que podría ocasionar superposiciones y confusiones en la interpretación de la distribución espacial de los elementos arqueológicos (Bailey, 2007; Henry, 2012). Cabe añadir que, en estos contextos de superposición de ocupaciones humanas y reelaboración del registro, resulta especialmente complicado delimitar y discernir eventos únicos de actividad humana (Henry y Théry-Parisot, 2014).

1.2.1. El combustible vegetal y su papel en la organización del espacio

En la sección anterior, se ha expuesto el papel que desempeña la distribución y densidad de la cultura material en relación con la organización del espacio. De manera general, los estudios centrados en el análisis *intra-site* de contextos pre y protohistóricos, prestan mayor atención al estudio de los materiales culturales líticos y macrofaunísticos, y se ha otorgado menor importancia a otro tipo de materiales arqueológicos, como los fragmentos de carbón. Sin embargo, los fragmentos de carbón son útiles para entender los comportamientos asociados al uso del fuego, incluso después de la desarticulación de otros elementos o estructuras asociadas a los hogares (p. ej., Movious, 1966; Badal et al., 2003; Badal, 2004; Fernández et al., 2013; Solé et al., 2013; Dussol et al., 2017; Sanz et al., 2017; Braadbaart et al., 2020). Además, el estudio de los restos vegetales proporciona información valiosa sobre la actividad humana, especialmente en lo que respecta al uso de la madera como combustible y a la gestión de

este recurso, tanto dentro (*intra-site*) como en el área próxima al asentamiento (Chabal, 1992; Badal, 2005; Asouti y Austin, 2005; Chrzazvez et al., 2008; Deforce y Haneca, 2012; Euba et al., 2016; Allué et al., 2017a; Ludemann y Nelle, 2017; Poggiali et al., 2017; Vidal-Matutano, 2017, 2018; Piqué et al., 2018a; Chabal y Heinz, 2021).

Los estudios antracológicos ponen de manifiesto la relevancia que tenía la madera como fuente de energía en la vida cotidiana de las comunidades humanas pre y protohistóricas (Théry-Parisot, 2001, 2002; Allué y García-Antón, 2006; Badal et al., 2012; Allué et al., 2017a, 2017b; Caruso-Fermé et al., 2021a). Así, la madera como combustible vegetal se emplearía en actividades domésticas, como la cocción de alimentos, calentar el espacio y proporcionar luz (Caruso-Fermé, 2014; Medina-Alcaide et al., 2015; Théry-Parisot et al., 2018). Además de su uso como combustible, la madera desempeñaba una utilidad versátil para la producción de herramientas y utensilios, así como en la construcción de diversas estructuras y elementos (Carbonell y Castro-Curel, 1992; Uzquiano et al., 2015; Piqué et al., 2015a; López-Bultó y Piqué, 2018; Rios-Garaizar et al., 2018; Caruso-Fermé et al., 2021b).

Asimismo, existen interrogantes sobre los criterios que influyen en la selección y aprovechamiento de los taxones vegetales leñosos por parte de las comunidades humanas (Dufraisse, 2014; Uzquiano et al., 2015; Allué et al., 2018a; Piqué et al., 2018b). A pesar de los avances en la investigación antracológica, todavía hay aspectos que no se han dilucidado por completo. Entre ellos, destaca la comprensión de los criterios y factores que determinan la elección de ciertos taxones vegetales leñosos sobre otros (Vaquero et al., 2006; Allué et al., 2007a, 2012a, 2012b, 2012c, 2017a; Salavert y Dufraisse, 2014), las propiedades para la combustión y estado de la madera (Théry-Parisot et al., 2010, 2012; Dussol et al., 2017; Vidal-Matutano et al., 2017), así como las pautas culturales de las distintas comunidades humanas (Dufraisse, 2014; Salavert y Dufraisse, 2014; Picornell-Gelabert, 2020). No obstante, se reconoce la importancia de considerar la interacción de múltiples factores en la interpretación del registro antracológico, en lugar de considerar un único factor aislado (Allué et al., 2007b; Dufraisse, 2014; Euba et al., 2016; Théry-Parisot et al., 2016; Picornell-Gelabert et al.,

2020; Alcolea et al., 2021; Njenga et al., 2021; Dufraisse et al., 2022). Ante estos desafíos, es importante seguir desarrollando nuevas metodologías y técnicas que permitan un análisis espacial *intra-site* más preciso sobre el significado del carbón vegetal en la organización del espacio y, en consecuencia, aporten una mejor comprensión de las dinámicas sociales en los espacios de asentamiento.

Según las ideas previas expuestas, surge el interrogante sobre si el análisis espacial de los fragmentos de carbón puede constituir una metodología útil para identificar patrones de uso del espacio, como la detección de áreas de actividad humana recurrentes o la preferencia por combustionar ciertos tipos de plantas leñosas en una zona específica. Con estos objetivos, creemos interesante explorar el análisis espacial de los fragmentos de carbón, incluso en contextos de palimpsesto. Aunque se han hecho avances en el estudio de fragmentos de carbón en contextos arqueológicos, su uso para la reconstrucción de la actividad humana en la organización del espacio aún es limitado. Una posible razón es la falta de recuperación sistemática de los restos arqueobotánicos durante los trabajos de campo. A diferencia de otros materiales arqueológicos, estos restos suelen ser pasados por alto, a pesar de que, en las últimas décadas, gracias al incremento de especialistas en antracología en las excavaciones, se han hecho esfuerzos para la recuperación y el estudio sistemático de los restos arqueobotánicos, especialmente en los yacimientos prehistóricos (p.ej., ACBA, 2012). De manera general, pocos proyectos de investigación incluyen métodos de recuperación especializados. Del mismo modo, los problemas tafonómicos y de conservación en los yacimientos también pueden contribuir a la falta de recuperación manual durante los trabajos de campo (Chrzazvez et al., 2014; Henry et al., 2020; Vidal-Matutano et al., 2020).

1.3. Aplicación del registro antracológico a los modelos de nicho ecológico (ENM)

En los apartados anteriores, se ha expuesto que la presencia de fragmentos de carbón en contextos arqueológicos indica el aprovechamiento de plantas leñosas por parte de las comunidades humanas. La antracología estudia estos restos de carbón para identificar los taxones leñosos explotados, asumiendo

que éstos crecerían en una ubicación cercana al asentamiento (Chabal y Heinz, 2021). Esta área se define como el espacio donde las comunidades humanas obtenían la madera necesaria para satisfacer sus necesidades diarias, y se considera el área de captación de madera (Badal y Heinz, 1991; Allué et al., 2007b; Henry et al., 2009; Henry y Théry-Parisot, 2014; Vidal-Matutano et al., 2018).

La caracterización de las comunidades vegetales que se desarrollarían en estas áreas resulta fundamental para la antracología, pues permite explorar la relación entre las comunidades humanas y el entorno vegetal circundante (Chabal, 1982; Badal et al., 1994; Alcolea, 2017; Uzquiano, 2018a; Cascalheira et al., 2021; Piqué et al., 2021). Asimismo, los taxones vegetales que coexisten en una comunidad vegetal están influenciados por múltiples factores ambientales, y que éstos son comúnmente explorados por la antracología (Ros y Vernet, 1987; Vernet y Thiébault, 1987; Chabal, 1990, 1997; Vernet, 1997; Allué et al., 2013b; entre otros). Desde una perspectiva geobotánica, el concepto de comunidad vegetal pretende explicar las causas por las que diferentes especies de plantas interactúan entre sí y con el medioambiente en un mismo hábitat (Tansley, 1920; Whittaker y Levin, 1977; Sobolev y Utekhin, 1978; Levin, 1981). Esto es, las comunidades vegetales comparten un mismo nicho ecológico, lo que significa que tienen requerimientos similares que les permiten desarrollarse en un mismo ambiente.

Partiendo de esta premisa, el estudio de las comunidades vegetales durante el Holoceno medio (8.200 – 4.200 años BP) resulta especialmente relevante en el noreste de la península ibérica. Los estudios antracológicos han generado datos que sugieren la existencia de distintas regiones biogeográficas, en el seno de las cuales las comunidades humanas del Neolítico aprovecharon los recursos de madera. Así, se observan diferencias notables entre las comunidades vegetales explotadas en los fondos de valle, tanto al norte como al sur de la cuenca del río Llobregat, y en las zonas de mayor altitud. El conjunto de estos datos antracológicos (Ros, 1985, 1988, 1995a, 1995b, 1996; Piqué y Barceló, 2002; Piqué, 2005; Martín y Piqué, 2008; Allué et al., 2009a, 2012b; 2017b; Alcolea, 2017; Mas y Allué, 2020; Obea et al., 2021) y palinológicos (Riera y Esteban, 1994; Burjachs et al., 1997; Jalut et al., 2009; Pérez-Obiol et al., 2011; Revelles, 2017; Revelles et al., 2022), sugieren

la existencia de una amplia extensión de comunidades vegetales submediterráneas con el roble (*Quercus* sp. caducifolio) como taxón arbóreo dominante, especialmente en los fondos de valle de la zona norte del río Llobregat. Contrariamente, en la zona sur del río Llobregat, los taxones arbóreos dominantes fueron los de tendencia mediterránea y xerófila, como la encina-carrasca (*Quercus ílex/coccifera*), con menor representación del pino blanco (*Pinus halepensis*). En esta zona, los taxones submediterráneos están poco representados (Ros, 1996). En el caso las primeras comunidades vegetales, se ha observado una mayor presencia de taxones adaptados a condiciones de humedad y temperaturas suaves, mientras que, en las segundas, se identifican taxones adaptados a climas más secos y estacionales. No obstante, las formaciones montañosas de las sierras prelitorales en esta zona ejercen un papel destacable en la configuración del paisaje, puesto que actúan como barreras físicas que generan gradientes ambientales y microclimas altitudinales, que influyen significativamente en los entornos locales. Un ejemplo notable de esta influencia se observa en los datos antracológicos del Neolítico antiguo en el yacimiento Cova de la Guineu (Font-rubí, Alt Penedès, Barcelona), localizado a 730 msnm. En este enclave, hay una presencia significativa de taxones submediterráneos termófilos, como *Quercus* sp. caducifolio y *Taxus baccata* (Allué et al., 2009a).

Es importante tener en cuenta que los datos disponibles referentes a la representación de los distintos taxones en los conjuntos antracológicos presentan diferentes grados de fiabilidad, especialmente condicionados por la cantidad de fragmentos de carbón analizados en algunos conjuntos, lo que puede limitar la precisión de las interpretaciones (Allué et al., 2013c). Asimismo, los fragmentos de carbón asociados a estructuras arqueológicas tienen representaciones cualitativas y cuantitativas diferentes a los fragmentos dispersos por los niveles arqueológicos (Badal, 1992; Badal et al., 2003). Partiendo de estas premisas, cabe preguntarse si se pueden explorar otras herramientas y metodologías para interpretar el registro antracológico.

Los modelos de nicho ecológico (ENM) son una herramienta usada en ecología para entender cómo las especies interactúan con su entorno y predecir su potencial distribución en

función de distintas condiciones ambientales (Pulliam, 2000; Phillips et al., 2006). Estos modelos se basan en el mecanismo del nicho ecológico fundamental o hábitat adecuado, el cual parte de la premisa que cada especie tiene unas necesidades ambientales específicas que le permiten sobrevivir y reproducirse, y estos requerimientos pueden ser identificados y modelados (Pearson et al., 2002; Phillips et al., 2004, 2017; Soberon y Peterson, 2005; Elith et al., 2011; Warren et al., 2011). Los ENM se basan en la relación matemática o empírica entre datos fisiológicos y geográficos de una especie con variables ambientales, y utilizan métodos estadísticos o superficies de respuesta teóricas (Sillero et al., 2021).

Aunque la metodología para realizar estos modelos y sus métodos de evaluación siguen debatiéndose y perfeccionándose en la actualidad (p.ej., Elith et al., 2006; Guillera-Arroita et al., 2015; Hijmans, 2012; Peterson et al., 2015; Halvorsen et al., 2016; Bradie y Leung, 2017; Arenas-Castro y Sillero, 2021; Fitzpatrick et al., 2021), estos modelos han sido ampliamente explorados en los últimos años en estudios sobre conservación de la biodiversidad. Estas investigaciones están enfocadas en analizar los efectos del cambio ambiental en la distribución de distintas especies en el futuro, incluidas las vegetales (Remya et al., 2015; Qin et al., 2017; Sharma et al., 2018; Wei et al., 2018; He et al., 2021; Wu, 2021; Mugiyo et al., 2022; Rewicz et al., 2022; Yang et al., 2022; entre otros). Sin embargo, los estudios que usan estas herramientas para predecir la respuesta de las especies en escenarios pasados resultan escasos hoy en día (Asgarian y Soffianian, 2023). Un ejemplo de estos estudios es la aplicación de los ENM para predecir el hábitat potencial de las especies *Pinus mugo* subsp. *uncinata*, *Pinus nigra* subsp. *salmannii*, *Pinus sylvestris* y *Quercus pubescens* durante el Último Máximo Glacial (25.000 – 19.000 años BP) en la región Mediterránea con la finalidad de detectar posibles áreas de refugio actuales (Di Pasquale et al., 2020).

Estos modelos son herramientas útiles que permiten predecir la distribución de especies en diferentes momentos temporales al considerar sus requerimientos ambientales. Partiendo de esta premisa, surge la pregunta de si es posible utilizar los Modelos de Nicho Ecológico (ENM) para analizar escenarios pasados en el noreste de la península ibérica y obtener información más precisa sobre la distribución de los bosques submediterráneos

en diferentes áreas. Al incorporar los ENM, también se podría investigar cómo se distribuyeron en el pasado ciertos taxones de plantas leñosas identificadas en los conjuntos antracológicos, y su relación con la ubicación de los asentamientos humanos que hicieron uso de los recursos madereros de estos bosques.

1.4. Objetivos

El **objetivo principal** de esta tesis doctoral es explorar distintas herramientas que permitan generar nuevos conocimientos sobre las relaciones entre las comunidades humanas, el entorno vegetal y el medioambiente en el noreste de la península ibérica, en un período que abarca desde el final del Paleolítico hasta la Edad del Bronce Medio (ca. 16.000-4.000 años cal BP). Este propósito general ha servido como fundamento para los cuatro casos de estudio de esta investigación, buscando responder a las siguientes **preguntas**:

a) ¿Cómo usaron las comunidades humanas los recursos vegetales leñosos en función de los contextos medioambientales?, b) ¿Cómo adaptaron las estrategias de gestión y obtención de combustible?, y, c) ¿Cómo se transformaron los distintos paisajes vegetales?

Por ende, la presente tesis doctoral se ha guiado por la definición de tres **objetivos específicos**:

I. Realizar un análisis detallado de los conjuntos antracológicos de los yacimientos arqueológicos Molí del Salt, Cova del Parco y Cova Colomera con el fin de completar y definir las secuencias antracológicas existentes.

II. Examinar la composición de las comunidades vegetales e interpretar los factores ambientales y antrópicos que pudieran influir en su transformación, contrastando datos paleoambientales y paleoecológicos existentes y la estimación de las herramientas ENM.

III. Explorar cómo las comunidades humanas utilizaron y gestionaron los recursos vegetales leñosos dentro y alrededor de estos tres asentamientos, utilizando la antracología y herramientas SIG para identificar patrones y cambios en la selección y uso de los taxones vegetales leñosos.

CAPÍTULO II. Comunidades humanas, paisaje y clima en el noreste de la península ibérica desde el final del Paleolítico superior hasta la Edad del Bronce Medio

---

La presente tesis doctoral consta de cuatro trabajos que se centran en el análisis de los fragmentos de carbón y las relaciones entre comunidades humanas, el paisaje y el medio ambiente. Para ello, se ha utilizado la antracología como disciplina vertebradora, tomando como base los análisis de los conjuntos antracológicos de tres yacimientos arqueológicos ubicados en el noreste de la península ibérica, que abarcan un período temporal desde el final del Paleolítico superior hasta la Edad del Bronce Medio (ca. 16.000-4.000 años cal BP). Asimismo, se ha recopilado un corpus de datos antracológicos amplio y riguroso, que fueron publicados y están disponibles en el área de estudio.

Aunque las cuatro investigaciones que hemos realizado abordan las particularidades de los temas mencionados, buscamos ahondar en este capítulo algunos aspectos relevantes para una comprensión integral de la investigación realizada. Por lo tanto, los siguientes subapartados profundizan en aspectos específicos relacionados con las crono-culturas humanas estudiadas, el contexto geográfico y climático en el que se desarrollaron, así como la presentación de taxones leñosos identificados en los conjuntos antracológicos que fueron publicados. Éste último, se basa en las regiones bioclimáticas actuales definidas por S. Rivas-Martínez (1987) y tiene como objetivo mejorar la comprensión de la distribución de la vegetación en diferentes áreas mediante una mayor precisión y detalle.

2.1 Paleolítico superior final al Epipaleolítico/Mesolítico (ca. 16.000-8.200 años cal BP)

La presente subsección se focaliza en los capítulos V y VI, que presentan las investigaciones realizadas en los yacimientos Molí del Salt y Cova del Parco, respectivamente. Ambos capítulos corresponden a distintas comunidades cazadoras-recolectoras que vivieron durante el final del Pleistoceno y el inicio del Holoceno en el noreste de la península ibérica.

2.1.1 Contexto climático: la compleja dinámica climática del Tardiglacial al Holoceno inicial

En el análisis de ambos casos de estudio, hemos caracterizado y usado las nomenclaturas y caracterizaciones climáticas de los dos sondeos glaciales GISP2 y NGRIP, obtenidos en la placa de hielo Summit, Groenlandia Central. Ambos sondeos permitieron documentar la climato-estratigrafía desde principios de la Última Glaciación y hasta el presente (Taylor et al., 1993; Björck et al., 1998; Seierstad et al., 2014). A partir de los años 90, la secuencia cronoestratigráfica clásica de Europa (Andersson, 1896; Hartz y Milthers, 1901; Jessen, 1935, 1938; Mangerud et al., 1974) se fue substituyendo paulatinamente por las series en ambas secuencias glaciares, que se correlacionan, además, con las paleotemperaturas obtenidas en los sondeos marinos del Atlántico Norte (Shackleton and Opdyke, 1973; Shackleton et al., 1990) y del Mar de Alborán (Cacho et al., 2001).

El sondeo NGRIP caracteriza los eventos climáticos utilizando una curva de ratios de isótopos de oxígeno (δ18O) (Walker et al., 1999; Seierstad et al., 2014). Se han identificado dos episodios estadiales o estadios fríos, conocidos como Greenland Stadials 2 y 1 (GS-2 y GS-1, respectivamente), y dos episodios interestadiales o interestadios templados, llamados Greenland Interstadials 2 y 1 (GI-2 y GI-1, respectivamente) (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993) (Figura 2.1).

De manera resumida, nuestro estudio se inicia en el subestadio frío GS-2a (16.800-14.692 años cal BP), que se caracteriza por un episodio frío coincidente con el evento Heinrich H1 y la fase Dryas 1c o *Oldest Dryas*. El interestadio templado GI-1 (14.692-12.896 años cal BP) se corresponde al Tardiglacial, y se divide en cinco sub-interestadios: GI-1e o interestadio clásico Bölling (14.692-14.075 años cal BP),

GI-1d, coincidente con la fase Dryas II (14.075-13.954 años cal BP), GI-1c (13.954-13.331 años cal BP), equivalente a la primera parte del interestadio templado Allerød-inferior, GI-1b (13.311-13.099 años cal BP) un episodio frío dentro del Allerød y GI-1a (13.099-12.896 años cal BP), que es el final del interestadio templado Allerød con un ligero aumento de la temperatura. Seguidamente, el estadio frío GS-1 (12.896-11.703 años cal BP), correspondiente al *Younger Dryas* o Dryas reciente, marca el final del MIS 2 y el comienzo del Holoceno (MIS 1). Este estadio frío se correlaciona con el evento Heinrich HO y antecede al rápido calentamiento del inicio del Holoceno. El período interglaciar del Holoceno se caracteriza por el ascenso térmico generalizado a nivel global, que se inicia entre los 11.645 y 11.612 años cal BP, después del estadio frío GS-1. La primera fase del Holoceno, o Holoceno Temprano, corresponde a la nomenclatura europea clásica del período Preboreal (hasta 10.189 años cal BP), Boreal (hasta 9.004-8.776 años cal BP) e inicios del período Atlántico clásico. En la región Mediterránea, esta fase se conoce como *Holocene Climate Optimum* o Óptimo Climático del Holoceno (Jalut et al., 2009), que se caracteriza por un clima seco a lo largo del cual se observa una tendencia al atemperamiento. Este período inicial del Holoceno termina con una caída de las temperaturas entre los ca. 8.000 y 8.400 años BP, conocido como el evento 8.2 ka BP (Alley et al., 1997). Algunos autores (Jalut et al., 2009; Pérez-Obriol et al., 2011; Revelles et al., 2015, entre otros) sugieren que a partir de este evento sobrevendría una variedad de respuestas en la dinámica de la vegetación, especialmente en algunas regiones del suroeste del Mediterráneo.

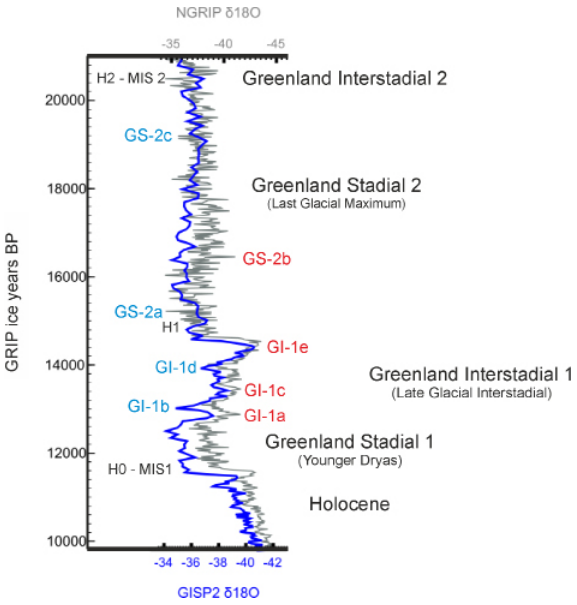


Figura 2.1. Registro de isótopos de oxígeno (δ18O) del núcleo de hielo GRIP (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993), con escala de edad calibrada entre 21 y 10 mil años BP (Reimer et al., 2020), ilustrando la división de los eventos interestadiales y sub-interestadiales (en rojo), y los eventos estadiales y sub-estadiales (en azul), acorde con los eventos de Heinrich (H) y los Estadios Isotópicos Marinos (MIS).

2.1.2. Las estrategias de subsistencia de las últimas comunidades cazadoras-recolectoras

El período de transición entre el Pleistoceno y el Holoceno inicial o temprano en la vertiente mediterránea ha sido objeto de estudio desde múltiples perspectivas centradas en los cambios culturales. En este sentido, dicho período se encuadra en las culturas humanas del final del Paleolítico superior y en la transición y consolidación de las culturas del Epipaleolítico/Mesolítico (ca. 16.000-8.200 años BP).

Diversos estudios enfocados al comportamiento tecnológico (Mangado et al., 2002; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Vaquero y García-Argüelles, 2009; Villaverde et al., 2012; Roman, 2015; Soto et al., 2016, 2019; Soto et al., 2016; Vaquero et al., 2020; entre otros), expresiones simbólicas (García-Diez y Vaquero, 2006, 2015; Domingo y Roman, 2020; entre otros), al aprovechamiento de diferentes recursos bióticos disponibles (Petit et al., 2009; Allué et al., 2010; Rufà et al., 2018; Roman et al., 2022; entre otros) y a los patrones de asentamiento y movilidad (Sánchez de la Torre, 2015; Mas et al., 2018; entre otros), han mejorado nuestra comprensión sobre los procesos de cambio socioeconómico, tecnológico y cultural de éstas últimas comunidades humanas cazadoras-recolectoras.

Destacando a modo de síntesis los trabajos anteriores, en el período del Paleolítico superior de Europa occidental (alrededor de 16.000 - 12.000 años BP), las comunidades de cazadores-recolectores de la cultura Magdaleniense desarrollarían estrategias de subsistencia basadas en un tipo de movilidad nómada y estacional (Langlais et al., 2012; Lefebvre et al., 2021, 2023; Erostarbe-Tome et al., 2022). Estas estrategias incluirían economías de amplio espectro, que se adaptarían a diferentes nichos ecológicos y que implicarían distintos patrones de caza, pesca y recolección (Fullola et al., 2012; Laroulandie, 2016; Gauvrit et al., 2020). Asimismo, entre la transición del Paleolítico superior final hasta el Mesolítico más reciente (ca. 13.500 – 8.200 años BP), las comunidades humanas, con bases cazadoras-recolectoras, desarrollarían nuevas estrategias con tendencias más especializadas, principalmente en la recolección y almacenamiento de recursos más abundantes en determinadas localizaciones y estaciones. Este cambio reflejaría un modo de vida seminómada y una economía más

especializada en comparación con las fases anteriores. Estas comunidades se identifican culturalmente a través de las bases establecidas por Fortea (1973), que se basó en la tipología de la industria lítica. Actualmente, se reconocen en el territorio distintas tradiciones culturales: de los conjuntos epipaleolíticos se caracterizan los conjuntos epimagdalenienses, los de tipo microlaminar y azilienses y, finalmente, los de tipo sauveterroide. Asimismo, los conjuntos mesolíticos se distinguen entre los conjuntos de muescas y denticulados y, finalmente, los geométricos.

En este subapartado, no abordaremos los elementos ni las características tecno-tipológicas que caracterizan los distintos conjuntos culturales. En cambio, nuestra intención es exponer una cuestión general del modo de vida de estas últimas comunidades cazadoras y recolectoras. Es importante señalar que estos procesos de cambio se han relacionado, de manera general, con la adaptabilidad de estrategias a los cambios en las condiciones ambientales, disponibilidad de recursos y al establecimiento de unas temperaturas más favorables (p.ej. Morales et al., 2012; Straus, 2018a; Álvarez-Fernández et al., 2020; Vadillo y Aura, 2020; entre otros). Sin embargo, algunos autores también han sugerido que la pérdida de resolución en el registro arqueológico, causada por distintos episodios naturales sedimentarios y procesos de erosión, impide obtener o conservar secuencias temporales completas que aclaren la interpretación de los procesos de cambio (Alday et al., 2018). Finalmente, aunque existen datos sobre cómo las comunidades humanas aprovecharon los recursos vegetales y leñosos, que se describirán en el siguiente subapartado, resulta difícil evaluar mediante la antracología en qué medida estas comunidades impactaron o afectaron a la dinámica de transformación de los paisajes vegetales.

2.1.3. De las coníferas montanas a las formaciones preforestales durante el Pleistoceno superior

La siguiente figura (Figura 2.2.) muestra el mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos, que abarcan el período del Paleolítico superior final hasta el período Epipaleolítico/Mesolítico.

Los datos antracológicos disponibles para el final del Pleistoceno e inicios del Holoceno en el noreste de la península ibérica provienen de los yacimientos detallados a continuación

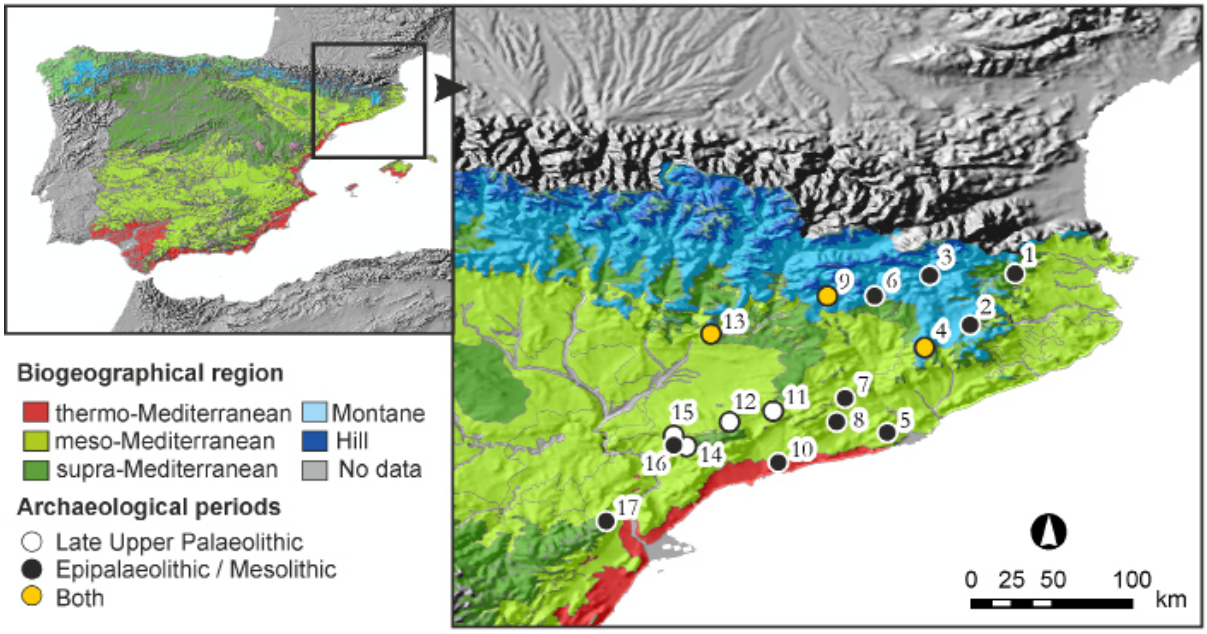


Figura 2.2. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del Paleolítico superior final hasta el Epipaleolítico/Mesolítico en el noreste de la península ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Bauma del Serrat del Pont; 2: Roc del Migdia; 3: Sota Palou; 4: Balma del Gai; 5: Can Sadurní; 6: Font del Ros; 7: Abric Agut; 8: Cova de la Guineu; 9: Bauma Guilanyà; 10: La Cativera; 11: Font Voltada; 12: Molí del Salt; 13: Cova del Parco; 14: Hort de la Boquera; 15: Abric dels Colls; 16: Abric del Filador; 17: Cova del Vidre.

(Tabla 2.1), y que describimos según su localización por los pisos bioclimáticos actuales del autor S. Rivas-Martínez (1987), propuestos para la península ibérica. Durante el período en cuestión, la mayoría del registro antracológico proviene de contextos de ocupaciones humanas en cuevas y abrigos rocosos (ver en Revelles et al., 2022). Así disponemos, actualmente, de pocos registros que provengan de asentamientos humanos al aire libre.

Piso bioclimático montano

En el piso bioclimático montano se localizan los yacimientos Balma del Gai, Balma Guilanyà (Navès, Lleida) y Sota Palou (Tabla 2.2).

Balma del Gai es un abrigo ubicado en el margen derecho de la Riera del Gai (Moià, Bages), a 760 msnm. El nivel I presenta una cronología de entre el Paleolítico superior final (14.628-13.979 años cal BP) y dos fases epipaleolíticas de tipo microlaminar o epimagdaleniense y geométricas de tipo sauveterroide (10.300-9.552 años cal BP). Dada la potencia del nivel I, los datos antracológicos se distribuyeron e interpretaron por tallas (Allué, 2007a).

Tabla 2.1. Yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del final del Paleolítico superior hasta el Epipaleolítico/Mesolítico en el noreste de la península ibérica. Las dataciones radiocarbónicas se han calibrado con OxCal (v.4.4) (Bronk-Ramsey, 2020) mediante la curva de calibración IntCal 20 (Reimer et al., 2020) al 95.4% de probabilidad.

Site	m asl	Bioregion	Geolocation	Layer	Radiocarbon date BP	Calendar 2σ cal BP	Calendar 2σ cal BC	Reference
Upper Palaeolithic								
Cova del Parco	**420**	**supra-Mediterranean**	**Prepyrenees**	**III**	**13475±50**	**16405-16043**	**14456-14094**	**in Chapter IV**
Late Upper Palaeolithic								
Abric dels Colls	400	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	IVa	12490±120	15147-14178	13198-12229	García-Argüelles et al., 2020
Balma Guilanyà	1157	Montane	Prepyrenees	K	12310±40	14331-14152	12382-12203	Allué et al., 2012a
				EJ	12180±50	14238-13996	12289-12047	Allué et al., 2012a
				E	11110±40	12998-12750	11049-10801	Allué et al., 2012a
Balma del Gai	760	Montane	Northern and inner	I (151-base)	12240±110	14628-13979	12679-12030	Allué et al., 2007a
				I (141-150)	-	-	-	Allué et al., 2007a
				I (131-140)	10260±90	12476-11696	10527-9747	Allué et al., 2007a
Cova del Parco	**420**	**supra-Mediterranean**	**Prepyrenees**	**II**	**13095±55**	**15899-15511**	**13950-13562**	**Allué et al., 2013a; in Chapter IV**
Font Voltada	620	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	-	12870±210	16053-14799	12770-12542	Mir and Freixas, 1993
Hort de la Boquera	370	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	II	11850±45	13795-13597	11846-11648	Garcia-Argüelles et al., 2014
Molí del Salt	490	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	B1	11940 ± 100	14070-13590	12120-11640	Allué et al., 2010; in Chapter V
				B2	12510 ± 100	15300-14540	13350-12590	Allué et al., 2010; in Chapter V
				A	**11800 ± 50**	**13800-13560**	**11850-11610**	**in Chapter V (Mas et al., 2021)**
				Asup	10850 ± 70	12950-12670	11000-10720	Allué et al., 2010; in Chapter V

continúa

continuación

Epipalaeolithic / Mesolithic								
Abric Agut	350	meso-Mediterranean	Anoia-Llobregat basins	4.5	-	-	-	Vaquero et al., 2006
				4.7b	-	-	-	Vaquero et al., 2006
				4.7c	10085±60	11408-11199	9459-9250	Vaquero et al., 2006
Abric del Filador	375	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	7	9830±160	11818-10750	9869-8801	García-Argüelles et al., 2005
				4	-	-	-	García-Argüelles et al., 2005
				2	8515±50	9548-9446	7599-7497	Cebrià et al., 1981
Balma del Gai	760	Montane	Northern and inner	I (121-130)	-	-	-	Allué et al., 2007a
				I (91-120)	8930±140	10300-9552	8351-7603	Allué et al., 2007a
Balma Guilanyà	1157	Montane	Prepyrenees	C1	9840±50	11346-11185	9397-9236	Allué et al., 2012a
				C	8680±50	9778-9537	7829-7588	Allué et al., 2012a
Bauma del Serrat Pont	235	meso-Mediterranean	Northern and inner	IV.3	8930±100	10246-9689	8297-7740	Piqué, 2002
				IV.2	8540±60	9628-9431	7679-7482	Piqué, 2002
Can Sadurní	421	meso-Mediterranean	Anoia-Llobregat basins	21	9360±40	10696-10493	8747-8544	Antolín et al., 2013
Cova de la Guineu	725	meso-Mediterranean	Anoia-Llobregat basins	III	9850±80	11508-11110	9559-9161	Galobart et al., 1991
Cova del Parco	**420**	**supra-Mediterranean**	**Prepyrenees**	**Ib-Ic**	**11430±60**	**13438-13176**	**11489-11227**	**in Chapter IV**
				Ia(2)	**10930±100**	**13073-12740**	**11124-10791**	**Allué et al., 2013a; in Chapter IV**
Cova del Vidre	1120	supra-Mediterranean	Southern Ebro Valley	2-interior	10740±130	13067-12470	11118-10521	Alcolea, 2017
				1-interior	-	-	-	Alcolea, 2017
				4-central	7290±70	8212-7965	6263-6016	Alcolea, 2017
Coves del Fem	530	meso-Mediterranean	Southern Ebro Valley	106	6700±30	7620-7554	5671-5605	Alcolea, 2017; Palomo et al., 2020
				109	6900±30	7793-7670	5844-5721	Alcolea, 2017; Palomo et al., 2020
Font del Ros	680	supra-Mediterranean	Prepyrenees	SG	8050±150	9316-8537	7367-6588	Jordà et al., 1992; Piqué, 1998
La Cativera	65	thermo-Mediterranean	Southern litoral ranges	B	9200±70	10516-10235	8567-8286	Allué et al., 2000
				A	8840±120	10197-9589	8248-7640	Allué et al., 2000
Roc del Migdia	650	supra-Mediterranean	Northern and inner	-	8870±420	11208-8985	9259-7036	Holden et al., 1995; in Allué et al., 2012b
Sota Palou	738	Montane	Pyrenees	-	9580±250	11650-10241	9701-8292	in Allué et al., 2012b

Tabla 2.2. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/Mesolítico localizados en el piso bioclimático montano del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico.

		Balma del Gai		Balma Guilanyà			Sota Palou
Period	UP	EP		AZ			EP
Layer	**I (151-base)**	**I (141-150)**	**I (131-140)**	**K**	**EJ**	**E**	-
Taxa							
Acer sp.	x	x	x				
Betula sp.	x		x				
Buxus sempervirens			x	x		x	
cf. *Viburnum*		x					
Clematis sp.		x					
Corylus avellana							x
Juniperus sp.	x	x	x			x	
Pinus sylvestris type	x	x	x	x	x	x	x
Populus/Salix	x						
Prunus sp.	x	x	x		x	x	
Quercus sp. deciduous		x					x
Rhamnus cathartica/saxatilis	x	x	x				
Rosaceae	x						
Rosaceae/Pomoideae	x	x	x				
Sambucus sp.		x					
Total taxa	**9**	**10**	**8**	**2**	**2**	**4**	**3**
Total fragments	**307**	**283**	**198**	**284**	**302**	**318**	**96**
cf. *Buxus*					x		

Balma Guilanyà es un abrigo que se localiza en la Serra de Busa (Navès, Lleida), a 1.157 m. snm (Martínez-Moreno y Mora, 2009). La secuencia antracológica proviene de los niveles E (12.998-12.750 años cal BP), EJ (14.238-13.996 años cal BP), y K (14.331-14.152 años cal BP), del Paleolítico superior final atribuidos a la crono-cultura Aziliense

(Allué et al., 2012a). Un episodio de caída del techo del abrigo separa este contexto de los niveles mesolíticos C1 (11.346-11.185 años cal BP) y C (9.778-9.537 años cal BP).

Por último, el yacimiento **Sota Palou** es un asentamiento al aire libre, probablemente una cabaña compartimentada (Carbonell y Mora, 1985), que se localiza cerca de la orilla del río Freser, en el prado de Molinou (Sota Palou), a 738 msnm. El yacimiento se contextualiza en el Epipaleolítico (11.650-10.241 años cal BP). Aunque los datos antracológicos fueron publicados por E. Carbonell y colegas (1985) se desconoce el nivel de procedencia.

El conjunto de yacimientos arqueológicos aporta datos antracológicos que indican la presencia del taxón *Pinus* tipo *sylvestris* (pino albar-pino negro) en todos los niveles. Además, *Juniperus* sp. (enebro) se encuentra generalmente en todas las tallas pleistocenas y en los primeros niveles holocenos de Balma del Gai, y a partir del nivel E y en los niveles holocenos de Balma Guilanyà. Por otro lado, *Prunus* sp. (prunáceas) se documenta comúnmente en todos los niveles, excepto en los niveles K de Balma Guilanyà y en Sota Palou. En cuanto a *Acer* sp. (arce) y *Rhamnus cathartica/saxatilis* (espino cerval/espino), no se documentan en los niveles pleistocenos de Balma Guilanyà, ni en el registro holoceno de Sota Palou. Además, las rosáceas están presentes en Balma del Gai y los niveles holocenos de Balma Guilanyà. Por último, *Buxus sempervirens* (boj) se identifica en la talla pleistocena 140-121 de Balma del Gai y en toda la secuencia antracológica de Balma Guilanyà, excepto en el nivel pleistoceno EJ. Únicamente el conjunto holoceno de Sota Palou documenta la presencia de los taxones *Corylus avellana* (avellano) y *Quercus* sp. caducifolios (robledales). Los taxones *Ulmus* sp. (olmo) y *Viburnum* sp. se identifican en los niveles pleistocenos de Balma Guilanyà, y *Sambucus* sp. (sauco) en la talla pleistocena 141-150 de Balma del Gai. Finalmente, en las tallas pleistocenas 151-base y 131-40 de Balma del Gai se documenta el taxón *Betula* sp. (abedul).

Piso bioclimático supramediterráneo

En el piso bioclimático supramediterráneo se localizan los yacimientos Cova del Parco (ver Capítulo VI), Cova del Vidre (Roquetes, Tarragona), la Font del Ros (Berga, Barcelona) y Roc del Migdia (Vilanova de Sau, Barcelona) (Tabla 2.3). De entre ellos, **Cova del Parco** es

Tabla 2.3. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/Mesolítico localizados en el piso bioclimático supramediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico, AZ: Aziliense. En Cova del Parco*: en este trabajo (Capítulo VI).

Archaeological site	Cova del Vidre			Font del Ros	Cova del Parco*			Roc del Migdia
Period	EP		MES	MES	EP		UP	MES
Layer	**2 int**	**1 int**	**4 crl**	**-**	**Ia(2)**	**Ib-Ic**	**II**	**-**
Taxa								
Abies alba	x							
Acer sp.					x	x	x	x
Buxus sempervirens			x	x				x
cf. *Pirus communis*				x				
Corylus avellana				x				x
Ephedra sp.						x	x	
Hedera sp.					x		x	
Juniperus sp.	x				x	x	x	x
Leguminosae				x				
Pinus sylvestris type	x	x	x	x	x	x	x	
Pinus halepensis				x				
Populus/Salix				x				
Prunus sp.	x	x		x		x	x	
Prunus type 2						x	x	
Quercus sp. evergreen		x				x		x
Quercus sp. deciduous			x	x		x		x
Rhamnus alaternus/Phillyrea								x
Rhamnus cathartica/saxatilis				x				
Rhamnus sp.						x		
Rosaceae				x				
Rosaceae/Maloideae			x					x
Salvia rosmarinus						x		
Sambucus sp.				x				
Taxus baccata			x					
Ulmus sp.				x				x
Total taxa	**4**	**3**	**5**	**13**	**4**	**10**	**7**	**9**
Total fragments	**82**	**100**	**175**	**1253**	**245**	**730**	**906**	**9**

el único yacimiento con ocupaciones humanas del Paleolítico superior, dentro del contexto de la crono-cultura del Magdaleniense medio final o tardío (nivel III) (16.405-16.043 años cal BP) y del Paleolítico superior final, con contexto de la crono-cultura del Magdaleniense superior (nivel II) (15.899-15.511 años cal BP). Asimismo, los niveles Ib-Ic (13.438-13.176 años cal BP) y Ia(2) (13.073-12.740 años cal BP) se contextualizan por ocupaciones humanas del Epipaleolítico de tipo microlaminar y de tipo geométrico sauveterroide, respectivamente (Capítulo VI).

La **Font del Ros** es un yacimiento al aire libre que se localizaba en el núcleo poblacional de Berga (Berguedà, Barcelona) a 680 msnm. Los datos antracológicos disponibles pertenecen a la unidad arqueológica SG, atribuida al contexto del Mesolítico (9.316-8.537 años cal BP) (Jordà et al., 1992; Piqué, 1998). Asimismo, el estudio carpológico de 244 frutos carbonizados se realizó en esta unidad arqueológica (Jordá et al., 1992), que corresponden a *Corylus avellana*, *Malus silvestris* (manzano silvestre), *Pyrus piraster* (peral silvestre) y *Prunus spinosa* (endrino).

El yacimiento **Roc del Migdia** es un abrigo que se localiza al pie de la peña Roc del Migdia, en el extremo inferior del altiplano del Collsacabra, en Vilanova de Sau (Osona, Barcelona). Los datos antracológicos provienen del contexto del Mesolítico (11.208-8.985 años cal BP), aunque se desconoce el nivel arqueológico y la muestra consiste en 9 fragmentos que fueron utilizados para dataciones radiocarbónicas (Holden et al., 1995; en Allué et al., 2012b). Asimismo, existen datos carpológicos, que identificaron *Pinus pinea* (pino piñonero), avellanas (*Corylus avellana*), nueces (*Juglans regia*) y bellota (*Quercus* sp.) (en Paz y Vila, 1988). Los datos antracológicos de este yacimiento no han sido utilizados en el presente trabajo, debido al reducido tamaño de la muestra disponible, lo que impide obtener datos significativos y fiables.

Finalmente, **Cova del Vidre** es una cavidad que se localiza al pie del acantilado de la mola del Boix de Roquetes (Baix Ebre, Tarragona), a 1.120 msnm (Bosch, 2001). El análisis antracológico proviene del nivel 2-interior (13.067-12.470 años cal BP) y 1-interior, que corresponden al contexto Epipaleolítico de tipo microlaminar, y del nivel 4-central, adscrito al Mesolítico geométrico, con una datación muy reciente (8.212-7.965 años cal BP) que abarca el inicio

del Holoceno medio (Alcolea, 2017). A partir del análisis sedimentológico se identifican evidencias de procesos de gelifracción, se interpretaron unas condiciones ambientales frías y moderadamente húmedas (Bergadà 1998).

Los datos antracológicos para este conjunto de yacimientos también muestran la presencia del taxón *Pinus* tipo *sylvestris* en todos niveles. *Juniperus* sp. se identifica en todos los niveles pleistocenos, pero no en el nivel 1-interior ni en los niveles holocenos de la Cova del Vidre. En cambio, *Buxus sempervirens* se identifica en todos los niveles holocenos. De igual manera, *Acer* sp. se encuentra en todos los niveles, excepto en los conjuntos antracológicos de Cova del Vidre y Font del Ros. Las rosáceas no se documentan en Cova del Parco, ni en los niveles pleistocenos de Cova del Vidre. Las prunáceas se identifican en los niveles II y Ib-Ic de Cova del Parco, en el nivel holoceno de la Font del Ros y en los dos niveles pleistocenos de la Cova del Vidre. *Corylus avellana* está presente en los niveles holocenos de Font del Ros y Roc del Migdia. El taxón *Quercus* sp. caducifolio se encuentra en el nivel Ib-Ic de Cova del Parco, y en los niveles holocenos de la Font del Ros, Roc del Migdia y Cova del Vidre. El taxón *Quercus* sp. perennifolio (encinares) se encuentra en el nivel pleistoceno 1-interior de Cova del Vidre, en Roc del Migdia y en el nivel Ib-Ic de Cova del Parco. Los taxones *Ephedra* sp., *Hedera* sp. (hiedra), *Rhamnus* sp. (ramnáceas) y *Salvia rosmarinus* (antes *Rosmarinus officinalis* (romero) solo se detectan en Cova del Parco, mientras que cf. *Pyrus communis*, *Pinus halepensis* (pino blanco), *Populus/Salix* (álamo/sauce), *Rhamnus cathartica/saxatilis* y rosáceas se identifican únicamente en la Font del Ros. Por último, *Abies alba* (abeto) y *Taxus baccata* (tejo) se identifican en el nivel pleistoceno 2-interior y en el nivel holoceno 4-central de Cova del Vidre, respectivamente.

Piso bioclimático mesomediterráneo

En el piso bioclimático mesomediterráneo se localizan los yacimientos Abric dels Colls, Hort de la Boquera y Abric del Filador (Margalef de Montsant, Tarragona), Font Voltada (Montbrió de la Marca, Tarragona), Coves del Fem (Ulldemolins, Tarragona), Molí del Salt (Capítulo V), Abric Agut (Capellades, Barcelona), Bauma del Serrat del Pont (Tortellà, Girona), Can Sadurní (Begues, Barcelona) y Cova de la Guineu (Font-rubí,

Barcelona) (Tabla 2.4).

La cavidad **Cova de la Guineu** es una sima con una cuenca de recepción, que cumple la función de dolina. Se localiza en el Puig de la Plana Pineda de Font-rubí (Alt Penedès, Barcelona), a 725 msnm. Los datos antracológicos provienen del nivel III (11.508-11.110 años cal BP), del contexto del Epipaleolítico de tipo microlaminar (Galobart et al., 1991).

Abric Agut es un abrigo localizado en la Cinglera del Capelló de Capellades (Anoia, Barcelona), a 350 msnm. Los datos antracológicos provienen de los niveles basales 4.5, 4.7b y 4.7c (11.408-11.199 años cal BP), del contexto del Mesolítico de facies macrolítica (Vaquero et al., 2006). Además, los tres niveles arqueológicos también aportaron una secuencia de datos polínicos (Vaquero et al., 2006). Los datos polínicos de la unidad 4.7 sugieren cierta homogeneidad en los niveles, identificando a las coníferas *Pinus* sp. y cf. *Juniperus*, *Quercus ilex*, *Quercus* sp. caducifolios, *Corylus avellana* y taxones ribereños como *Ulmus* sp. y *Salix* sp. Asimismo, se identifica el incremento del polen de los taxones arbustivos, como cf, *Erica* (brezos), *Buxus sempervirens*, *Phillyrea* (labiérnago) *y ramnáceas,* así como también de los taxones herbáceos, como asteráceas y Chenopodiaceae (subfamilia de las amarantáceas). En el nivel 4.5, que coincide con una fase ambiental fría, el polen de los taxones meso-termófilos resulta poco representado, mientras que las estepas de gramíneas (asteráceas) resultan características (Vaquero et al., 2006).

La cova de **Can Sadurní** es una cavidad localizada en el municipio de Begues (Baix Llobregat, Barcelona), a 421 msnm. Los datos antracológicos provienen del nivel 21, del contexto del Epipaleolítico geométrico (10.696-10.493 años cal BP) (Antolín et al., 2013). Este nivel también dispone de datos carpológicos, que identificaron fragmentos de *Pinus* sp., un fruto de prunáceas y varios frutos y fragmentos de semillas de rosáceas (Antolín et al., 2013).

Estos tres yacimientos se localizan entre las cuencas de los ríos Anoia y Llobregat, y los datos antracológicos se contextualizan en un período de inicios del Holoceno. De los tres, únicamente en Cova de la Guineu se detecta la presencia de los taxones *Pinus* tipo *sylvestris* y *Quercus* sp. caducifolio en ambas tallas del nivel

Tabla 2.4. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/ Mesolítico localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico, MES: Mesolítico. *A en Molí del Salt: en este trabajo (Capítulo V, Mas et al., 2021).

Archaeological site	Abric dels Colls	Font Voltada	Hort de la Boquera	Molí del Salt					Abric Agut			Abric del Filador		Bauma del Serrat del Pont		Can Sadurní	Cova de la Guineu	
Period	UP	UP	UP	UP					MES			MES		MES		EP	EP	
Layer	**IVa**	**-**	**II**	**B2**	**B1**	**A***	**Asup**	**4.5**	**4.7b**	**4.7c**	**2**	**4**	**7**	**IV.2**	**IV.3**	**21**	**III (160-185)**	**III (115-150)**
Taxa																		
Abies alba														x				
Acer sp.						x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
Arbutus unedo																x		x
Betula sp.				x	x	x							x					
Buxus sempervirens														x	x		x	
cf. *Carpinus*						x												
Cistaceae																x		
Cornus sp.															x			
Corylus avellana				x										x	x			
Erica sp.																		x
Fraxinus sp															x			
Ilex aquifolium															x			
Hedera sp.										x								
Juniperus sp.	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x			x		x
Leguminosae																x		

continúa

continuación

Pinus sylvestris type	x	x	x		x	x	x				x	x	x	x	x		x	x	
Pistacia sp.														x					
Populus/Salix	x							x	x		x	x	x	x	x			x	
Prunus sp.	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
Prunus type 2						x													
Prunus type 3						x													
Quercus sp. evergreen						x												x	
Quercus sp. deciduous														x	x		x	x	
Rhamnus alaternus/Phillyrea														x	x				
Rhamnus cathartica/saxatilis				x	x	x	x	x	x	x		x	x						
Rhamnus cf. *pumila*										x									
Rosaceae										x							x		
Rosaceae/Maloideae		x					x			x				x	x				
Rosaceae/Pomoideae												x	x						
Sambucus sp.				x				x	x	x									
Taxus baccata															x			x	
Ulmus sp.														x					
Vitis sp.														x					
Total taxa	**4**	**4**	**2**	**6**	**5**	**12**	**6**	**5**	**6**	**9**	**2**	**7**	**8**	**13**	**13**	**6**	**6**	**9**	
Total fragments	**-**	**-**	**16**	**379**	**231**	**505**	**284**	**19**	**53**	**373**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**67**	**150**	**154**	
cf. *Betula*									x										

III, *Buxus sempervirens* en la talla 160-185, y en la talla 115-150 se identifican *Erica* sp., *Quercus* sp. perennifolio y *Taxus baccata*. Asimismo, *Arbutus unedo* (madroño) también está presente en esta talla, así como en Can Sadurní. *Acer* sp. se identifica en todos los niveles arqueológicos, mientras que no se detectan prunáceas en la talla 115-150 del nivel III de Cova de la Guineu. En esta talla, se identifica *Juniperus* sp., así como en las unidades 4.7 del Abric Agut. Asimismo, *Hedera* sp., *Rhamnus cathartica/saxatilis* y *Sambucus* sp. únicamente se identifican en Abric Agut, mientras que Cistaceae y Leguminosae únicamente se documentan en Can Sadurní. Finalmente, *Populus/Salix* y las rosáceas están presentes en Cova de la Guineu y Abric Agut.

La **Bauma del Serrat del Pont** es un abrigo que se localiza en la Vall del Llierca (Alta Garrotxa, Girona), a 235 msnm. Los datos antracológicos provienen de los niveles IV.3 (10.246-9.689 años cal BP) y IV.2 (9.628-9.431 años cal BP), del contexto del Mesolítico (Piqué, 2002). En ambos niveles se han identificado los taxones *Acer* sp., *Buxus sempervirens*, *Corylus avellana*, *Pinus* tipo *sylvestris*, *Populus/Salix*, *Prunus* sp., *Quercus* sp. caducifolio, *Rhamnus alaternus/Phillyrea* y rosáceas. En el nivel IV.3 se identifican *Cornus* sp., *Fraxinus* sp. (fresno), *Ilex aquifolium* (acebo) y *Taxus baccata*, mientras que en el nivel IV.4 se identifican *Abies alba*, *Ulmus sp.* y *Vitis* sp. (vid).

A continuación, se relacionan los ocho yacimientos localizados al sur del valle del Ebro (ver en Tabla 2.4).

La **Font Voltada** es un abrigo situado en la segunda terraza del torrente de la Torrentera en el municipio de Montbrió de la Marca (Conca de Barberà, Tarragona), a 620 msnm (García-Argüelles et al., 2020). Los datos antracológicos no indican el nivel de procedencia, aunque se atribuyen al contexto del Paleolítico superior final (16.053-14.799 años cal BP) (Mir y Freixas, 1993).

Relativamente cerca se localiza el abrigo **Molí del Salt** (Capítulo V), que ofrece una secuencia antracológica de los niveles B2, B1, A y Asup de la crono-cultura del Magdaleniense superior final (Allué et al., 2010; Mas et al., 2021).

Abric dels Colls, Hort de la Boquera y Abric del Filador se localizan en Margalef de Montsant (El Priorat, Tarragona). **Abric dels Colls** es un abrigo localizado en el margen derecho de la segunda terraza del río Montsant, a 400 msnm.

Los datos antracológicos provienen del nivel arqueológico del Paleolítico superior final IVa (15.147-14.178 años cal BP) (García-Argüelles et al., 2020). Cerca, se localiza el yacimiento **Hort de la Boquera,** abrigo situado en la misma terraza que Abric dels Colls, a 370 msnm. Los datos antracológicos corresponden al nivel II, del Paleolítico superior final (13.795-13.597 años cal BP) (Garcia-Argüelles et al., 2014). El tercer y último yacimiento es el abrigo **Abric del Filador**, situado en la primera terraza del río Montsant, a 375 msnm. Los datos antracológicos corresponden al nivel 2, de contexto del Mesolítico de facies de muescas y denticulados (9.548-9.446 años cal BP) y de los niveles 4 y 7, contextualizados en el Mesolítico geométrico de tipo sauveterroide (11.818-10.750 años cal BP) (Cebrià et al., 1981, García-Argüelles et al., 2005; 2020). Además, en los niveles 4 y 7 se dispone de datos polínicos (García-Argüelles et al., 2005). Así, en el nivel 7 se documentan *Pinus* sp., *Quercus ilex* (encina), *Juniperus sp.*, Ericaceae y *Phillyrea*, y otros taxones herbáceos como poáceas y asteráceas, que parecen ser los dominantes. En el nivel 4 se documenta *Pinus* sp. y *Pinus sylvestris*, *Quercus* sp. y *Quercus ilex*, *Olea europaea*, *Ulmus* sp., *Tilia* sp. (tilo), *Castanea* sp. (castaño), *Abies* sp., *Betula* sp., *Corylus* sp. La secuencia polínica muestra una reducción del polen arbóreo, especialmente de *Pinus* sp., el augmento taxones termo-mesófilos, así como el augmento del polen de las poáceas y la reducción del polen de las asteráceas.

En los ocho yacimientos localizados al sur del valle del Ebro se identifican los taxones *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp., aunque *Juniperus* sp. no se identifica en el nivel 2 de Abric del filador. El taxón *Acer* sp. se documenta en la unidad A de Molí del Salt, así como en los niveles 4 y 7 de Abric del Filador. De igual modo, los taxones *Betula* sp. y *Rhamnus cathartica/saxatilis* únicamente se identifican en Molí del Salt y en el nivel 7 y 4 de Abric del Filador. Los taxones *Corylus avellana*, Fabaceae (fabáceas=leguminosas), Lamiaceae (lamiáceas), y *Sambucus* sp. únicamente se detectan en Molí del Salt. El taxón *Populus/ Salix* se detecta en Abric dels Colls y en Abric del Filador. Por último, las rosáceas están presentes en Molí del Salt, la Font Voltada y en Abric del Filador, y *Prunus* sp. no se documenta en Hort de la Boquera.

Finalmente, a 530 msnm, se encuentra **Coves del Fem**, un abrigo situado a 10 metros

sobre el nivel actual del río Montsant (Priorat, Tarragona). Los niveles mesolíticos sin facies reconocibles corresponden a las unidades estratigráficas 106 (7.620-7.554 años cal BP), 107, 108 y 109 (7.793-7.670 años cal BP), separadas del contexto del Neolítico antiguo por una unidad estéril (UE 105) (Palomo et al., 2020). El conjunto mesolítico corresponde a una larga secuencia de ocupaciones humanas contextualizadas en un Mesolítico muy reciente para el área de estudio, ya dentro del Holoceno medio. Por ello, aunque el conjunto mesolítico de Coves del Fem cuenta con datos antracológicos para el período crono-cultural en cuestión (Alcolea, 2017), no se han analizado en el marco de esta tesis doctoral.

Piso bioclimático termomediterráneo

Finalmente, en el piso bioclimático termomediterráneo se localiza el abrigo de La Cativera (El Catllar, Tarragona), situado en el margen izquierdo del río Gaià, a 65 msnm. Los datos antracológicos provienen de los niveles B (10.516-10.235 años cal BP), del Epipaleolítico de tipo microlaminar y A (10.197-9.589 años cal BP), del contexto del Mesolítico de facies macrolítica (Allué et al., 2000; Vaquero, 2006; Morales et al., 2013). En el nivel B se identifican *Acer* sp., *Juniperus* sp., *Leguminosae* (leguminosas), *Pinus* sp., *Pinus* tipo *sylvestris* y *Pinus halepensis*, *Quercu*s sp. perennifolio y rosáceas. Por otro lado, en el nivel A se identifican los mismos taxones, así como también *Arbutus unedo* y *Quercus* sp. caducifolio (Tabla 2.5.)

Tabla 2.5. Presencias de los taxones vegetales leñosos identificados en el análisis antracológico de los conjuntos Epipaleolítico/Mesolítico de La Cativera, localizada en el piso bioclimático termomediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: EP: Epipaleolítico; MES: Mesolítico.

Archaeological site	La Cativera	
Period	MES	EP
Layer	**A**	**B**
Taxa		
Acer sp.	x	x
Arbutus unedo	x	
Juniperus sp.	x	x
Leguminosae	x	x
Pinus sp.	x	x
Pinus sylvestris type	x	x
Pinus halepensis	x	x
Quercus sp. evergreen	x	x
Quercus sp. deciduous	x	
Rosaceae/Maloideae	x	x
Total taxa	**10**	**8**
Total fragments	**205**	**184**
cf. *Prunus*		x

2.2. Del Neolítico a la Edad del Bronce Medio (8,2-3,4 mil años cal BP)

La presente subsección presenta los contextos climáticos, culturales y sobre la vegetación leñosa, que se enmarcan en los capítulos VII y VIII. Ambos, se centran en el análisis de las comunidades agrícolas y pastoriles que vivieron durante el inicio del Holoceno medio y el inicio del Holoceno tardío en el noreste de la península ibérica.

2.2.1. Contexto climático: un período de estabilidad climática con algunas variaciones notables

Tradicionalmente, las divisiones del Holoceno se establecieron en función de estratigrafías polínicas, que permitieron dividir el Holoceno en cinco periodos o cronozonas polínicas: Preboreal, Boreal, Atlántico, Subboreal y Subatlántico. No obstante, la posición cronológica de los límites de estas divisiones y las interpretaciones ambientales difieren considerablemente de unas zonas a otras, debido a la variabilidad de las especies vegetales utilizadas para su definición (Jalut et al., 1997, 2000; Lowe et al., 2008; Pérez-Obiol et al., 2011).

Des de 2018, las divisiones del Holoceno tienen categoría de subseries/subépocas y de pisos/edades, y sus límites se han definido utilizando distintos criterios y registros deposicionales, en los que se incluyen núcleos de hielo, series dendrocronológicas, secuencias marinas, depósitos de turbera, sedimentos lacustres y espeleotemas (discutidos en Walker et al., 2012). Por tanto, actualmente se caracterizan tres divisiones: Holoceno inferior o temprano (Greenlandian stage) (11.700 años b2k), Holoceno medio (Northgrippian stage) (8.236 años b2k) y Holoceno tardío o final (Meghalayan stage) (4.250 años b2k) (Walker et al., 2018) (Figura 2.3).

El Holoceno temprano comprendería los períodos tradicionales Preboreal, Boreal y el período inicial Atlántico, y se iniciaría al final del Dryas reciente (Younger Dryas). Durante esta subépoca, el clima experimentó una transición significativa desde las condiciones frías y secas del final del Dryas reciente a un clima más cálido y húmedo (Björck, 2007). El Holoceno medio se extendería por un período más amplio del período Atlántico hasta principios del Subboreal. Esta subépoca se inicia con un período breve (150-200 años) de enfriamiento abrupto, el evento 8.2 ka (Alley

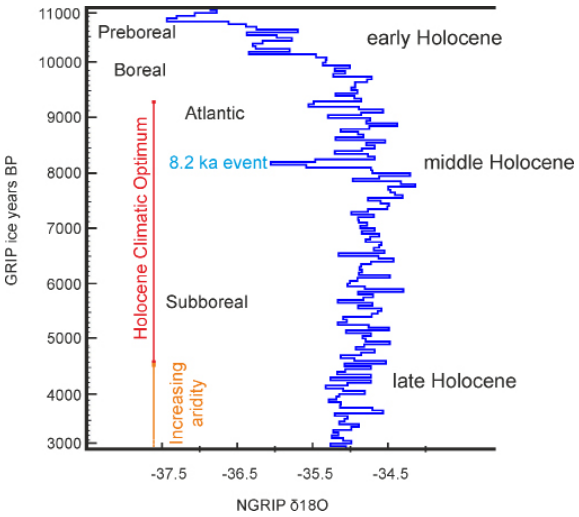


Figura 2.3. Registro de isótopos de oxígeno (δ18O) del núcleo de hielo GRIP (en azul) (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993), con escala de edad calibrada entre 11 y 3 mil años BP (Reimer et al., 2020), ilustrando la división de las fases climáticas del Holoceno (Jalut et al., 2009) y las divisiones formales (Walker et al., 2018) en relación con las cronozonas polínicas tradicionales.

et al., 1997; Wanner et al., 2011; Walker et al., 2012). El clima experimentó un augmento significativo de las temperaturas y de las precipitaciones, éstas últimas con patrones de humedad que se han estimado superiores a los actuales (Ilvonen et al., 2022). Finalmente, el Holoceno tardío o final se iniciaría con el evento de frío y aridez 4.2 ka, y abarcaría la segunda mitad del período Subboreal y la totalidad del Subatlántico (Bond et al., 1997; Mayewski et al., 2004; Walker et al., 2012).

2.2.2. Las estrategias de subsistencia de las primeras comunidades agro-pastoriles y productoras

El marco cronológico que abordamos en esta subsección, nos enmarcamos en un proceso de transición hacia nuevas condiciones socioeconómicas de las comunidades humanas, marcadas por la expansión y consolidación de las actividades agrícolas, ganaderas y productoras (Rindos, 1984; Angelucci et al., 2009; Marshall, 2013; Antolín et al., 2015; Vidal-Cordasco y Nuevo-López, 2021; Delhon et al., 2023). Este proceso se desarrolló de diversas maneras en múltiples regiones del mundo, lo cual implica que las causas y los factores determinantes de su adopción pueden variar significativamente en cada área geográfica (Li et al., 2013; Badal et al., 2016).

En el marco de esta tesis doctoral, no se abordarán en profundidad los fundamentos teóricos ni el debate científico relacionado con las posibles causas que exploran las transformaciones culturales y económicas entre las comunidades humanas paleolíticas y neolíticas. Estas cuestiones continúan generando extensos debates en la actualidad, y no constituirán el foco de atención en nuestra investigación. No obstante, cabe destacar que los debates y discusiones entorno al proceso de neolitización se centran en la exploración de un multi-proxy de factores que pudieron haber influenciado este proceso en distintas

regiones euroasiáticas (Barker, 2006; Roberts et al., 2011, 2019; Rowley-Conwy y Layton, 2011; Kerig y Shennan, 2015; Feeser et al., 2019; Harmon y Manen, 2021; Perrin y Manen, 2021; Carey, 2023). En el contexto de la península ibérica, cabe resaltar dos de los principales debates que han sido objeto de discusión en las últimas décadas: si estas innovaciones tecnológicas y económicas fueron introducidas por migraciones de poblaciones de otras regiones o si, por el contrario, surgieron internamente a través de procesos endógenos (Zilhão, 1993, 2011; Bernabeu, 1996, 1999; García et al., 2012). En la actualidad, la segunda opción parece tener más peso en comparación con la primera, dada la existencia de información genética sobre estas comunidades (Olalde et al., 2015, 2019).

La revisión del grueso de registros culturales y dataciones radiocarbónicas en el noreste de la península ibérica sugiere, en conjunto, un lapso de 500-700 años entre el fin de las comunidades humanas del Mesolítico y la llegada de las comunidades del Neolítico (Oms y Martín, 2018). No obstante, los registros más tempranos de conjuntos mesolíticos se registran en las unidades estratigráficas atribuidas al Mesolítico de Coves del Fem, entre 7.793 y 7.554 años cal BP, y en el nivel 4 central de Cova del Vidre, entre 8.200 y 7.900 años cal BP (Alcolea, 2017; Palomo et al., 2020). Asimismo, distintos estudios arqueológicos y la calibración de dataciones radiocarbónicas sitúan el inicio del período del Neolítico antiguo entorno a los 5.600-5.500 años cal BC (ca. 7.600-7.300 años BP) (Oms et al., 2016; Oms y Martín, 2018). Los primeros asentamientos y contextos habitacionales de estas comunidades humanas muestran la introducción y producción de la cerámica y el desarrollo de diversas técnicas de producción de herramientas y objetos de piedra, hueso, madera, fibras vegetales y conchas (Oms et al., 2021; Terradas et al., 2022; Gómez de Soler et al., 2023; Monforte-Barberán et al., 2023). También, se evidencian las actividades agrícolas, la gestión de pequeños rebaños y la domesticación de animales y plantas (Angelucci et al., 2009; Antolín y Jacomet, 2015; Antolín et al., 2015; Revelles, 2017; López-Bultó y Piqué, 2018; Burguet-Coca et al., 2020; Bergadà y Oms, 2021; Martín y Oms, 2021).

La caracterización cultural de estas comunidades se ha realizado, tradicionalmente,

a través de la tecnología de los conjuntos cerámicos. Estos conjuntos "fósiles-directores" no resultan homogéneos desde un punto de vista territorial y cronológico, lo que sugiere marcadas particularidades territoriales (Oms y Martín, 2018; Laborda et al., 2021). Aunque no es nuestro objetivo profundizar en los aspectos tecno-tipológicos de los conjuntos cerámicos, creemos que es fundamental mencionar las diferentes fases crono-culturales reconocidas en el noreste de la península ibérica. Así, nos referimos al Neolítico antiguo cardial (ca. 5.500-4.900 años cal BC, ca. 7.592-6.900 años BP) y epicardial (ca. 4.950-4.450 años cal BC, ca. 6.950-6.450 años BP), al Neolítico postcardial o Neolítico medio-inicial (ca. 4.650-3.900 años cal BC, ca. 6.650-5.900 años BP), al Neolítico medio-reciente (ca. 4.160-3.200 años cal BC, ca. 6.160-5.200 años BP) y al Neolítico final-calcolítico (ca. 3.350-2.300 años cal BC, ca. 5.350-4.300 años BP) (Oms et al., 2016; Oms y Martín, 2018: 38-39).

Si bien los aspectos socioeconómicos de las comunidades humanas que se desarrollaron en el noreste de la península ibérica desde el Neolítico hasta la Edad del Bronce se analizan más detalladamente en los capítulos VII y VIII, vemos relevante mencionar, a modo de resumen, que estas comunidades experimentarían una creciente y gradual demanda de tierras cultivables y pastos para el ganado. Este fenómeno, probablemente, impulsó un proceso de expansión progresiva hacia nuevas áreas (Tarrús et al., 2016; Oms y Martín, 2018; Gassiot et al., 2021; Obea et al., 2021). Finalmente, el proceso de diversificación de las actividades económicas y el aumento de la complejidad social habrían contribuido a una diversificación significativa en el uso del territorio y en la relación de las comunidades humanas con el entorno natural (Monforte-Barberán, 2023).

2.2.3. Presencia de taxones vegetales leñosos: un mosaico de paisajes

La siguiente figura (Figura 2.4.) muestra el mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos que abarcan el período del Neolítico antiguo al Neolítico final-Calcolítico (Holoceno medio).

Seguidamente, la Figura 2.5 muestra el mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos de la Edad del Bronce Antiguo y Medio (Holoceno tardío).

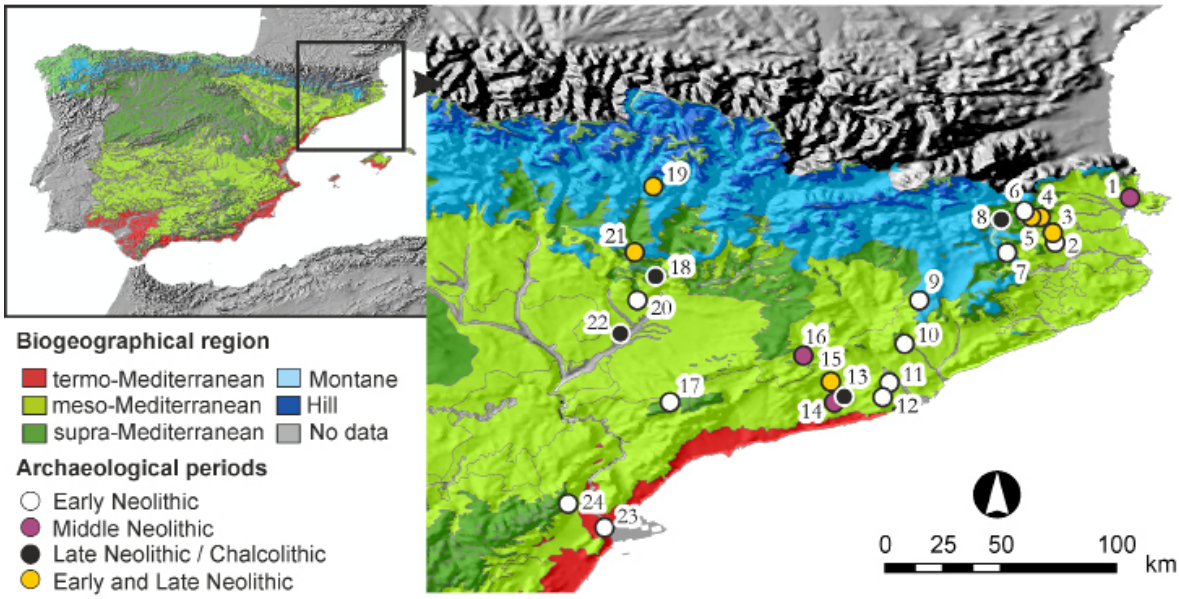


Figura 2.4. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos de contextos del Neolítico al Neolítico final-Calcolítico en el noreste de la peninsula ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Ca'n Isach; 2: La Draga; 3: Cova d'en Pau IV, 4: Cova 120; 5: Bauma del Serrat del Pont; 6: Plansallosa; 7: Cova de l'Avellaner; 8: La Prunera; 9: Cova del Toll; 10: Cova del Frare; 11: Cova Bonica; 12: Can Sadurní; 13: Santa Maria dels Horts; 14: La Serreta; 15: Cova de la Guineu; 16: Cal Sitjo; 17: Coves del Fem; 18: Cova Gran (Expósito et al., in prep); 19: Cova del Sardo; 20: Auvelles; 21: Cova Colomera; 22: Roques del Sarró; 23: Barranc d'en Fabra; 24: Cova del Vidre.

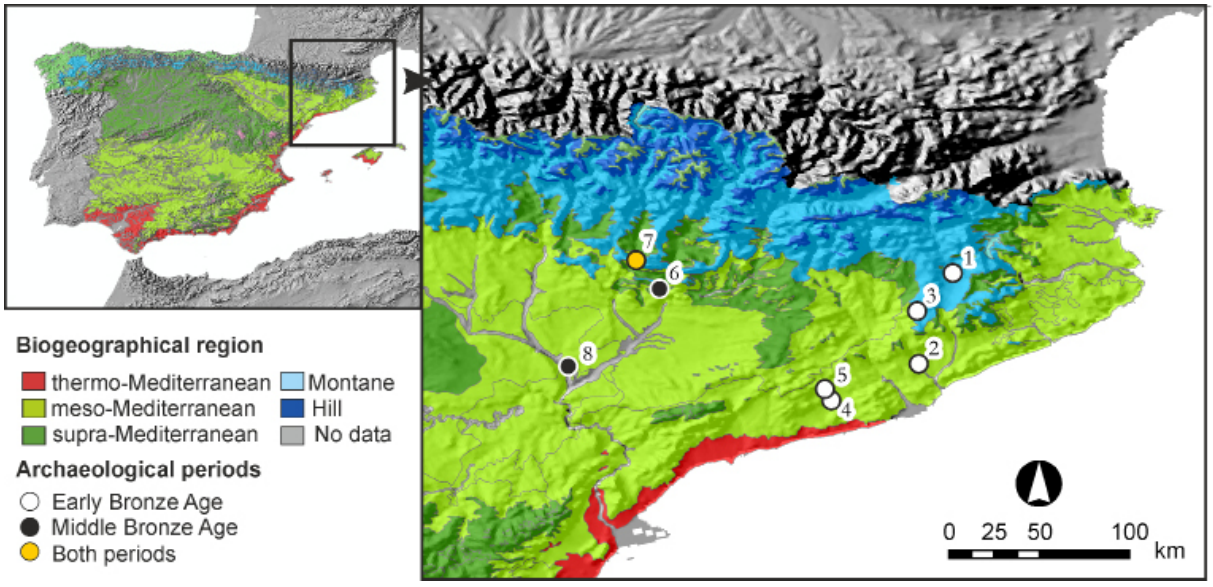


Figura 2.5. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos de contextos de la Edad del Bronce Antiguo al Bronce Medio en el noreste de la peninsula ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Institut Manlleu; 2: Can Roqueta; 3: Cova del Toll; 4: Mas d'en Boixos (Pacs del Penedès, Barcelona); 5: Cova de la Guineu; 6: Cova Gran (Expósito et al., in prep); 7: Cova Colomera; 8: Cova de Punta Farisa.

Los datos antracológicos disponibles para este período provienen de los yacimientos relacionados en la siguiente tabla (Tabla 2.6), que detallamos a continuación según su localización por los pisos bioclimáticos de S. Rivas-Martínez (1987).

Piso bioclimático alpino

En el piso bioclimático alpino se localiza la **Cova del Sardo**, abrigo ubicado en la Vall de Boi (Alta Ribagorça, Lleida), a 1.790 msnm. Los datos antracológicos proceden del Neolítico antiguo (la fase 8 con una datación de 6.563-6.395años cal BP y la fase 7 de 6.118-5.920 años cal BP) y del Neolítico final-Calcolítico (fase 6 de 5.190-5.052 años cal BP y fase 5 de 4.655-4.514 años cal BP), con reiteradas fases que aúnan distintos episodios de ocupación humana (Tabla 2.7) (Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2011, 2021). De las fases de ocupación 5 a 9 se obtuvieron resultados polínicos, que cubren un período de entre 7.560-7.325 años cal BP y 4.850-4.450 años cal BP (Gassiot et al., 2012). Según los datos polínicos, la fase 8 se caracterizaría por el descenso de los pinares de alta montaña (*Pinus*) y el aumento de los prados (poáceas, asteráceas). Entre la fase de ocupación 8 y 7, los pinares de alta montaña seguirían en descenso, y empezaría la colonización de los espacios abiertos por *Betula* sp., *Corylus* sp. y *Erica* sp. También se detectan los taxones *Quercus* sp. caducifolios y *Tilia sp*. De las fases 7 a 5, se detecta el augmento del pinar montano, se documentan *Abies sp.* y *Fagus sp*. a bajas frecuencias y cierta proliferación de hierbas ruderales (asteráceas, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, *Plantago,* entre otras). Los resultados carpológicos también documentan taxones vegetales leñosos, como *Corylus avellana*, *Cornus sanguinea* (cornejo), *Prunus padus* (cerezo aliso), *Abies alba* y *Pino sylvestris* (pino rojo), así como también taxones correspondientes a plantas cultivadas, como la cebada y el trigo desnudos (Gassiot et al., 2012).

Cabe destacar que *Juniperus* sp. se identificó en la mayoría de las secuencias antracológicas. Sin embargo, no se detectó este taxón en los datos polínicos, probablemente debido a su tasa de polinización más baja en comparación con otros taxones.

Tabla 2.6. Yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del Neolítico a la Edad del Bronce Medio en el noreste de la península ibérica. Las dataciones radiocarbónicas se han calibrado con OxCal (v.4.4) (Bronk-Ramsey, 2020) mediante la curva de calibración IntCal 20 (Reimer et al., 2020) al 95.4% de probabilidad. En negrita: Yacimientos analizados en este trabajo.

Site	m asl	Bioregion	Geolocation	Layer	Radiocarbon date BP	Calendar 2σ cal BP	Calendar 2σ cal BC	Reference
Early Neolithic								
Auvelles	417	meso-Med.	Prepyrenees	UN-2	5490±30	6319-6269	4370-4320	Martín and Piqué, 2008; Oms et al., 2019
				UN-10	5440±30	6297-6197	4348-4248	Martín and Piqué, 2008; Oms et al., 2019
				Flat bases	-	-	-	Martín and Piqué, 2008; Martín-Seijo, in press
				Pits and silos	-	-	-	Martín and Piqué, 2008; Martín-Seijo, in press
Barranc d'en Fabra	100	termo-Med.	South ebro valley	-	5880±110	6960-6440	5011-4491	Bosch et al., 1996; Ros, 1996
B. del Serrat del Pont	235	meso-Med.	North and inner	III.4	6470±40	7431-7306	5482-5357	Alcalde et al., 2002; Piqué, 2005
Can Sadurní	421	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	18	6421±34	7423-7275	5474-5326	Antolín et al., 2013; Edo and Antolín, 2016
Cova 120	460	meso-Med.	North and inner	III	-	-	-	Alcalde et al., 1989; Piqué, 2005
Cova Bonica	402	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	IV2	6531±35	7510-7419	5561-5470	Daura et al., 2019
				IV	6395±39	7511-7418	5562-5496	Daura et al., 2019
Cova Colomera	**670**	**meso-Med.**	**Prepyrenees**	**CE14**	**6170±30**	**7163-6964**	**5250-510**	**Chapter VII**
				CE13	6150±40	7164-6909	5250-4960	Chapter VII
				CE12	6020±50	7146-6737	5060-4780	Chapter VII
Cova de la Guineu	725	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	II-fum, II, Id	5480±60	6403-6180	4454-4231	Allué et al., 2009a
Cova de l'Avellaner	430	Montane	North and inner	-	5920±180	7168-6392	5219-4443	Ros, 1996
Cova del Frare	942	meso-Med.	North and inner	C5	5800±130	6898-6309	4949-4360	Martín et al., 1981; Ros, 1996
Cova del Sardo	1790	Hill	Central Pyrenees	Phase 8	5685±35	6563-6395	4614-4446	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
				Phase 7	5245±40	6118-5920	4169-3971	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
Cova del Toll	745	Montane	North and inner	Cxa	5800±100	6805-6393	4856-4444	Mas and Allué, 2020
				C5	5230±30	6014-5915	4060-3966	Mas and Allué, 2020

continúa

continuación

				C4	5440±80	6395-6106	4446-4157	Mas and Allué, 2020
				C3	5440±80	6395-6106	4446-4157	Mas and Allué, 2020
Cova del Vidre	1120	supra-Med.	South ebro valley	2 central	6248±33	7258-7155	5309-5206	Alcolea, 2017
				Hogar	6180±90	7271-6847	5322-4898	Alcolea, 2017
Cova d'en Pau IV	187	meso-Med.	North and inner	III	-	-	-	Tarrús and Bosch, 1990; Ros, 1996
Coves del Fem	530	meso-Med.	South ebro valley	UE102	6630±30	7450-7432	5624-5516	Alcolea, 2017
				UE 103	6570±30	7511-7426	5562-5477	Alcolea, 2017
				UE 104	6342±32	7326-7238	5377-5289	Alcolea, 2017
				UE 4, UE 5	-	-	-	Alcolea, 2017
				UE 3	5840±27	6739-6599	4790-4650	Alcolea, 2017
				UE2	5772±27	6652-6494	4703-4545	Alcolea, 2017
La Draga	178	meso-Med.	North and inner	Phase I	6179±33	7165-6960	5216-5011	Caruso and Piqué, 2014
				Phase II	6060±40	7006-6790	5057-4841	Caruso and Piqué, 2014
Plansallosa	273	supra-Med.	Prepyrenees	II	5780±60	6799-6531	4850-4582	Ros, 1995a; Piqué, 2005
Middle Neolithic								
Ca n'Isach	100	meso-Med.	North and inner	Ib	5060±100	5999-5590	4050-3641	Ros, 1996; Tarrús et al., 2016
Cal Sitjo	456	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	3	5120±30	5828-5750	3879-3801	Gómez de Soler et al., 2023
La Serreta	123	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	-	-	-	-	Allué, 2010
Late Neolithic-Chalcolithic								
B. del Serrat del Pont	235	meso-Med.	North and inner	III.2	4490±70	5317-4956	3368-3007	Piqué, 2005
				III.3	4340±40	4980-4838	3031-2889	Piqué, 2005
Cova 120	460	meso-Med.	North and inner	II	4270±70	4984-4579	3035-2630	Alcalde et al., 1989; Piqué, 2005
Cova Colomera	**670**	**meso-Med.**	**Prepyrenees**	**CE10**	**4500±32**	**5305-5041**	**3400-3040**	**Chapter VII**
				CE9	4230±40	4863-4621	2960-2680	Chapter VII
Cova d'en Pau IV	187	meso-Med.	North and inner	II	-	-	-	Tarrús and Bosch, 1990

continúa

continuación

Cova de la Guineu	725	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	Id	4500±40	5308-5039	3359-3090	Allué et al., 2009a
Cova del Sardo		Hill	Pyrenees	Phase 6	4555±30	5190-5052	3241-3103	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
				Phase 5	4090±35	4655-4514	2706-2565	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
La Prunera	458	Montane	North and inner	II	4360±80	5289-4824	3340-2875	Piqué, 2005
Roques del Sarró	196	meso-Med.	North and inner	-	4830±40	5604-5472	3655-3523	Equip-Sarró, 2000; Vila and Piqué, 2012
Santa Maria dels Horts	215	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	-	-	-	-	Senabre and Socias, 1993
Early Bronze age								
Can Roqueta	200	meso-Med.	North and inner	E-I	-	-	-	Piqué, 1999b
Cova Colomera	**670**	**meso-Med.**	**Prepyrenees**	**EE1**	**3659±30**	**4086-3896**	**2170-1930**	**Oms et al., 2009b; Chapter VII**
Cova de la Guineu	734	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	Ia, Ib	3280±70	3646-3368	1697-1419	Allué et al., 2009a
Cova del Toll	745	Montane	North and inner	C1c	3470±100	3984-3467	2035-1518	Mas and Allué, 2020
Institut Manlleu	470	meso-Med.	North and inner	1, 2A, 2B, H.	3700±80	4293-3832	2344-1883	Ros, 1995b
Mas d'en Boixos	217	meso-Med.	Anoia-Llobregat basins	-	-	-	-	Allué, 2007
Middle Bronze age								
Cova Colomera	**670**	**meso-Med.**	**Prepyrenees**	**CE8**	**3260±26**	**3561-3400**	**1630-1470**	**Chapter VII**
Cova de Punta Farisa	188	meso-Med.	North and inner	-	3360±80	3778-3445	1829-1496	Vila and Piqué, 2012

Tabla 2.7. Presencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de Cova del Sardo, localizado en el piso bioclimático alpino del noreste de la península ibérica.

Geographical region	Central Pyrenees			
Site	Cova del Sardo			
Period	EN		LN	CH
Radiocarbon kyr cal BP	6.5-6.3	6.1-5.9	5.1-5	4.6-4.5
Layer	Phase 8	Phase 7	Phase 6	Phase 5
Taxa		x		
Abies alba				x
Acer sp.		x	x	
Arbutus unedo		x		x
Betula sp.		x		x
Corylus avellana	x		x	
Fraxinus sp.	x	x	x	x
Juniperus sp.	x	x	x	x
Pinus sylvestris type	x	x	x	x
Pinus sp.	x			
Populus/Salix		x	x	x
Quercus sp. deciduous	x	x	x	x
Ulmus sp.		x		
Total taxa	**6**	**10**	**7**	**8**
Total fragments	**185**	**501**	**100**	**176**

Piso bioclimático montano

En el piso bioclimático montano se localizan los yacimientos Cova de l'Avellaner (Planes d'Hostoles, Girona), Cova del Toll (Moià, Barcelona) y La Prunera (Sant Joan les Fonts, Girona) (Tabla 2.8).

Cova de l'Avellaner es un sistema de cueva con tres cavidades, que se localiza en la orilla izquierda del torrente de Cogolls (Garrotxa, Girona), a 430 msnm. El yacimiento registra contextos funerarios desde el Neolítico antiguo al Neolítico final/Calcolítico (Gibaja et al., 2018). Sin embargo, se desconoce el sector de dónde provienen los restos antracológicos, aunque se asocian con en el horizonte del Neolítico antiguo epicardial (7.168-6.392 años cal BP) (Ros, 1996).

Cova del Toll es una cavidad dentro de un sistema kárstico hipogeo del rio Toll, formación localizada a 745 msnm. Los datos antracológicos provienen del informe inédito de J.L. Vernet, que se ha publicado en Allué

Tabla 2.8. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce localizados en el piso bioclimático montano del noreste de la península ibérica.

Geographical region	North and inner						
Site	C. de l'Avellaner	Cova del Toll					La Prunera
Period	EN	EN				EBA	LNC
Radiocarbon kyr cal BP	7.1-6.3	6.8-5.9				3.9-3.4	5.2-4.8
Layer	-	Cxa	C5	C4	C3	C1c	II
Taxa							
Abies alba							x
Acer sp.			x	x	x	x	
Buxus sempervirens	x	x	x	x	x	x	x
Corylus avellana	x		x			x	x
Erica sp.	x						
Fraxinus sp.	x						x
Juniperus sp.							x
Pinus sylvestris type							x
Populus/Salix							x
Prunus sp.							x
Prunus type 2 *(spinosa/mahaleb)*			x			x	
Prunus type 3 *(spinosa/amygdalus)*				x	x		
Quercus sp. evergreen	x	x	x		x	x	x
Quercus sp. deciduous	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus cathartica/saxatilis		x		x	x	x	
Rosaceae/Maloideae		x	x	x	x	x	x
Taxus baccata	x			x			x
Ulmus sp.							x
Total taxa	**7**	**5**	**7**	**7**	**7**	**8**	**13**
Total fragments	**117**	**8**	**84**	**42**	**93**	**97**	**511**

y colegas (2013b) y posteriormente en Mas y Allué (2020). Los datos antracológicos se contextualizan en el Neolítico antiguo, con un horizonte epicardial del nivel Cxa (6.805-6.393 años cal BP), de los niveles con horizontes postcardiales C5 (6.014-5.915 años cal BP), C4 y C3 (6.395-6.106 años cal BP) y, finalmente, del nivel C1c (3.984-3.467 años cal BP) de la Edad del Bronce inicial. Los niveles postcardiales C5 y C4 ofrecieron datos polínicos, en que los taxones arbóreos representan un 25% del espectro en relación con los taxones herbáceos (75%) (Riera, 2020). De entre los taxones arbóreos, *Corylus avellana*

es el más representado, acompañado de *Pinus* sp, *Quercus* sp. *Betula* sp. *Tilia* sp. *Abies* sp. y *Salix* sp. Los taxones herbáceos son principalmente ciperáceas, asteráceas y Asteroideae.

Por último, **La Prunera** es un asentamiento al aire libre, localizado cerca del collado de Sant Cosme (Garrotxa, Girona), a 458 msnm. El registro antracológico proviene de la segunda fase de ocupación humana en el Neolítico final (5.289-4.824 años cal BP) (Piqué, 2005).

Los datos antracológicos de este conjunto de yacimientos identifican *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. únicamente en el nivel del Neolítico final-Calcolítico de La Prunera. Los taxones recurrentes son *Buxus sempervirens* y *Quercus* sp. caducifolio, que se identifican en todos los niveles. Asimismo, *Quercus* sp. perennifolio, aunque a partir de frecuencias relativas más bajas, se identifica en todos los niveles con excepción del nivel C4 del Neolítico antiguo de Cova del Toll.

Piso bioclimático supramediterráneo

En el piso bioclimático supramediterráneo se localiza el yacimiento al aire libre **Plansallosa** (Tortellà, Girona), que se sitúa al lado de la carretera entre los municipios de Montagut y Sadernes (Garrotxa, Prepirineo oriental), cercano al río Llierca y a 273 msnm. Los datos antracológicos provienen de la fase de ocupación del nivel II (6.799-6.531 años cal BP) (Ros, 1995a; Piqué, 2005).

Por otra parte, **Cova del Vidre**, que también dispone de datos antracológicos del Epipaleolítico de tipo microlaminar y del Mesolítico geométrico (subsección anterior), cuenta con datos antracológicos de dos niveles del Neolítico antiguo, el nivel de horizonte cardial 2-central (7.258-7.155 años cal BP) y Hogar (7.271-6.847 años cal BP) (Alcolea, 2017) (Tabla 2.9).

Aunque ambos yacimientos presentan una comunidad de plantas leñosas similar, con *Pinus* tipo *sylvestris*, *Taxus baccata*, *Quercus* sp. deciduo, *Acer* sp. y *Buxus sempervirens*, cabe destacar la identificación de *Juniperus* sp. únicamente en el nivel 2-central de Cova del Vidre. A pesar de la similitud que adquieren ambos yacimientos en la presencia de los cuatro taxones principales, los datos antracológicos de Plansallosa identifican una presencia considerable de *Quercus* sp. caducifolio, mientras que en Cova del Vidre predomina el taxón *Pinus* tipo *sylvestris*.

Tabla 2.9. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce localizados en el piso bioclimático supramediterráneo del noreste de la península ibérica.

Geographical region	Prepyrenees	South Ebro valley	
Site	Plansallosa	Cova del Vidre	
Period	EN	EN	
Radiocarbon kyr cal BP	6.7-6.5	7.2-7.1	7.2-6.8
Layer	E61	2-ctrl	Hogar
Taxa			
Acer sp.	x	x	x
Buxus sempervirens	x	x	x
Corylus avellana	x		
Ericaceae		x	
Fagus sylvatica		x	x
Juniperus sp.		x	
Pinus sylvestris type	x	x	x
Prunus sp.		x	
Quercus sp. evergreen	x	x	
Quercus sp. deciduous	x	x	x
Rosaceae/Maloideae		x	x
Rosaceae/Pomoideae	x		
Taxus baccata	x	x	x
Vitis vinifera			x
Total taxa	**8**	**11**	**8**
Total fragments	**276**	**292**	**298**

Piso bioclimático mesomediterráneo

En el piso bioclimático mesomediterráneo se localizan los siguientes yacimientos con cronologías del **Neolítico antiguo**: Bauma del Serrat del Pont y Cova 120 (Sales de Llierca, Girona), Can Sadurní, Cova Bonica (Valligrana, Barcelona), Cova Colomera (Capítulo VII), Auvelles (Castelló de Farfanya, Lleida), Cova de la Guineu, Cova del Frare (Matadepera, Barcelona), Cova d'en Pau IV (Serinyà, Girona), Coves del Fem (Ull de Molins, Tarragona) y La Draga (Banyoles, Girona), del **Neolítico medio**: Ca n'Isaach (Palau-saverdera, Girona), Cal Sitjo (Sant Martí de Tous, Barcelona) y La Serreta (Vilafranca del Penedès, Barcelona), del **Neolítico final/ Calcolítico**: Bauma del Serrat del Pont, Cova 120, Cova Colomera (Capítulo VII), Cova

d'en Pau IV, Cova de la Guineu, Roques del Sarró (Segrià, Lleida) y Santa Maria dels Horts (Vilafranca del Penedès, Barcelona), de la **Edad del Bronce inicial**: Can Roqueta (Sabadell, Barcelona), Cova Colomera (Capítulo VII), Cova de la Guineu, Institut Manlleu (Manlleu, Barcelona) y Mas d'en Boixos (Pacs del Penedès, Barcelona), y de la **Edad del Bronce Medio**: Cova Colomera (Capítulo VII) y Cova de Punta Farisa (Fraga, Huesca)

Localizados al norte y a la zona interior, se detallan a continuación los siete yacimientos del período Neolítico antiguo al Neolítico final/Calcolítico, y los tres yacimientos de la Edad del Bronce, con la lista de presencias de los taxones vegetales leñosos identificados en la siguiente tabla (Tabla 2.10).

Bauma del Serrat del Pont Los datos antracológicos proceden del nivel III.4 (7.431-7.306 años cal BP) adscrito al Neolítico antiguo (Alcalde et al., 2002) y los niveles III.2 (5.317-4.956 años cal BP) y III.3 (4.980-4.838 años cal BP) se adscriben a ocupaciones humanas del Neolítico final (Piqué, 2005). En el nivel del Neolítico antiguo se identifica principalmente *Quercus* sp. caducifolio, seguido de *Buxus sempervirens* y *Acer* sp., con baja representación de *Quercus* sp. perennifolio y pomóideas. En ambos niveles del Neolítico final se observa una similitud entre los taxones seleccionados en el nivel anterior, aunque el número de taxones identificados es más elevado. De entre ellos, se identifican taxones con preferencias ambientales frescas y húmedas, como *Cornus* sp., *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica* y *Fraxinus* sp.

Cova 120 es una cavidad localizada en el valle del Llierca (Alta Garrotxa, Girona), en una cornisa de caliza situada sobre el torrente dels Llorers, a 460 msnm. (Alcalde et al., 1989). La cavidad se encuentra muy próxima a Bauma del Serrat del Pont. Los datos antracológicos proceden del nivel del Neolítico antiguo epicardial III, que se contextualiza a un nivel de almacenaje y al nivel II del Neolítico final-Calcolítico (4.984-4.579 años cal BP), contextualizado por un conjunto de inhumaciones colectivas (Alcalde et al., 1989; Ros, 1995a). Los resultados polínicos muestran en el nivel III la presencia de coníferas (*Pinus*, *Abies*), taxones caducifolios (*Quercus* sp. caducifolio, *Corylus avellana*, *Betula* sp., *Tilia* sp.), taxones ribereños (*Alnus*, *Salix*) y encinar (Alcalde et al., 1989; Piqué, 2005). En el nivel II, sin embargo, los valores de polen más representativos muestran la predominancia del encinar y un

papel secundario de los taxones caducifolios y coníferas (Revelles et al., 2022). En cambio, según los datos antracológicos, la presencia de taxones vegetales leñosos en ambos niveles se estima similar, aunque con la ausencia de *Acer* sp., *Ilex aquifolium* y *Prunus spinosa/mahaleb* en el nivel III y de *Juniperus* sp. en el nivel II. En el nivel III predominan especialmente *Quercus* sp. caducifolio y *Juniperus* sp., que se acompañan con otros taxones propios del robledal, como *Corylus avellana* y *Buxus sempervirens*. También, se identifican coníferas montanas, como *Taxus baccata*, *Pinus* tipo *sylvestris* y *Abies alba*. Aunque se documenta la presencia del encinar, los taxones acompañantes aparecen poco representados. En el nivel II aumenta la frecuencia de *Buxus sempervirens* y *Quercus* sp. caducifolios.

Cova del Frare es una cavidad localizada en la montaña de Sant Llorenç del Munt, en el término municipal de Matadepera (Vallès Occidental, Barcelona), a 942 msnm. Los datos antracológicos proceden del nivel Epicardial C5 (6.898-6.309 años cal BP) (Ros, 1996). De este nivel, los datos antracológicos muestran que *Quercus* sp. caducifolio es el taxón más seleccionado, seguido por *Taxus baccata*, *Acer* sp. y *Juniperus* sp. Las prunáceas, rosáceas, *Quercus* sp. perennifolio y *Erica* sp. (brezos) se detectan con bajas frecuencias.

Cova d'en Pau es una cavidad localizada en el complejo *Coves Prehistòriques de Serinyà* (Pla de l'Estany, Girona). Se sitúa en el talud de travertino Usall-Espolla, sobre el río Seridanyell, a 187 msnm. Los datos antracológicos provienen de un sondeo en Cova d'en Pau IV, del nivel III y del nivel II, adscritos al Neolítico antiguo y al Neolítico final respectivamente, a partir de restos cerámicos (Tarrús y Bosch, 1990; Ros, 1996). Los datos antracológicos identifican especialmente *Quercus* sp. caducifolio y *Buxus sempervirens* como los taxones más seleccionados.

La Draga es un poblado palafítico del Neolítico antiguo cardial, localizado en el margen oriental del estanque Estany de Banyoles, dentro del municipio de Banyoles (Pla de l'Estany, Girona), a 178 msnm. Los datos antracológicos disponibles provienen de las fases de ocupación I (7.165-6.960 años cal BP) y II (7.006-6.790 años cal BP) del Sector A, que se localiza emergido en la zona más alejada de la orilla del estanque (Caruso y Piqué, 2014). De este nivel, *Quercus* sp. caducifolio, *Buxus sempervirens* y *Laurus nobilis* se identifican como

Tabla 2.10. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, en la zona norte e interior del noreste de la península ibérica.

Geographical region	North and inner														
Site	B. del Serrat del Pont			Cova 120		Cova del Frare	Cova d'en Pau IV		La Draga		Ca n'Isach	Roques del Sarró	Can Roqueta	I. Manlleu	Punta Farisa
Period	EN	LN		EN	LN-CH	EN	EN	LN	EN		MN	LN	EBA	EBA	MBA
Radiocarbon kyr cal BP	-	5.3-4.9	4.9-4.8	-	4.9-4.5	6.8-6.3	-	-	7.1-6.9	7-6.7	5.9-5.5	5.6-5.4	-	4.2-3.8	3.7-3.4
Layer	III.4	III.2	III.3	III	II	C5	III	II	Phase 1	Phase 2	Ib	-	E-1	1, 2A, 2B, Hogar	-
Taxa															
Abies alba				x	x										
Acer sp.	x	x	x		x	x	x						x	x	
Arbutus unedo		x		x	x				x		x		x		
Alnus sp.															x
Betula sp.	x			x	x										
Buxus sempervirens	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
Cistus sp.											x				x
Cornus sp.		x	x	x	x								x		
Corylus avellana		x	x	x	x		x		x	x			x	x	
Erica sp.						x					x				
Fagus sylvatica			x											x	
Fraxinus sp.		x	x				x							x	
Ilex aquifolium					x										
Juniperus sp.		x	x	x		x			x	x				x	x
Laurus nobilis		x	x	x	x				x	x					
Leguminosae		x													x
Olea europaea											x				
Pinus halepensis															x

continúa

continuación

Pinus sylvestris type				x	x					x				x	
Pistacia lentiscus		x										x			x
Populus/Salix		x					x		x	x			x	x	x
Prunus sp.		x	x	x		x	x						x		
Prunus cf. *avium-cerasus*									x	x					
Prunus type 2					x									x	
Quercus sp. evergreen	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x
Quercus sp. deciduous	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	
Rhamnus cathartica/saxatilis					x		x						x		
Rhamnus alaternus/Phillyrea		x	x	x	x		x	x			x		x	x	
Rhamnus sp.															x
Rosaceae/Maloideae	x		x	x	x	x	x		x				x	x	x
Rosaceae/Pomoideae												x			
Salvia rosmarinus												x			x
Sambucus sp.							x								
Tamarix sp.											x				x
Taxus baccata				x	x	x			x	x				x	
Ulmus sp.		x	x				x		x	x				x	
Vitis vinifera			x	x	x				x	x					
Total taxa	**6**	**17**	**15**	**16**	**18**	**9**	**13**	**3**	**13**	**11**	**7**	**4**	**12**	**15**	**11**
Total fragments	**45**	**352**	**355**	**207**	**-**	**98**	**258**	**13**	**1120**	**718**	**449**	**86**	**177**	**416**	**202**

los taxones más seleccionados. Por otra parte, los datos polínicos alrededor de l'Estany de Banyoles (Pérez-Obiol y Julià, 1994) muestra para los inicios del Holoceno (9664±190 BP – 11.642-10.498 años cal BP) una comunidad vegetal caracterizada principalmente por taxones mesófilos y caducifolios, en la que dominarían *Quercus* sp. caducifolios y *Corylus avellana* y, a su vez, *Pinus* tipo *sylvestris* se encontraría en fase de retroceso. Los datos polínicos analizados del núcleo de l'Estany (Revelles et al., 2015), que continuarían la secuencia de R. Pérez-Obiol y R. Julià (1994) sugieren la continuidad del retroceso del pinar y la deforestación de los bosques caducifolios durante el Neolítico antiguo y final (7,25-3,71 mil años BP), que, junto con oscilaciones de enfriamiento y sequedad ambiental, afectaron el desarrollo de la vegetación.

Ca n'Isach es un poblado neolítico, localizado en la Serra de Rodes (Alt Empordà, Girona), dentro de la urbanización Mas Isach, al margen izquierdo del río Riutort, a 100 msnm. En el yacimiento se documentaron tres fases de ocupación neolítica (Tarrús et al., 2016). Los datos antracológicos proceden del nivel Ib, adscrito al Neolítico medio-pleno de facies Chassey (5.999-5.590 años cal BP) (Tarrús et al., 2016). Los datos antracológicos muestran la madera más seleccionada de encinares y brezos, seguida por *Tamarix* sp. (talaya) y *Arbutus unedo* (madroño), *Cistus* sp. (estepas), *Rhamnus alaternus*//*Phillyrea* (aladierno/labiérnago) y *Olea europaea* (olivo) (Ros, 1996).

Roques del Sarró es un yacimiento al aire libre que se localizaba en el Tossal de les Roques del Sarró (Lleida), a 196 msnm. El yacimiento disponía de una secuencia amplia con reiteradas fases de ocupación, desde el Neolítico hasta el Ibérico pleno (s. VIII a.n.e.) (Equip Sarró, 2000). Los datos antracológicos proceden de la fase de ocupación adscrita al Neolítico final (5.604-5.472 años cal BP) (Equip Sarró, 2000; Vila y Piqué, 2012). De entre los taxones identificados, *Pistacia lentiscus* representa el taxón dominante, seguido por *Salvia rosmarinus* y restos poco representativos de pomóideas y *Quercus* sp. perennifolio.

Can Roqueta es un yacimiento al aire libre localizado en el municipio de Sabadell (Vallès Occidental, Barcelona), próximo al curso del río Ripoll, a 200 msnm. El conjunto antracológico proviene del foso-estructura 1, de cronología relativa adscrita a la Edad del Bronce Antiguo/Medio (Piqué, 1999b).

El conjunto muestra el encinar como la formación arbórea más explotada, seguida del robledal, en la que también se identifican los taxones acompañantes *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, *Corylus avellana*, *Buxus sempervirens*, *Salix* sp., *Cornus* sp., *Prunus* sp., *Rhamnus cathartica/saxatilis* y *Sorbus domestica* (Rosaceae), aunque estos taxones se identifican en menos de diez fragmentos.

Institut de Batxillerat Antoni Pous es un poblado al aire libre que se localiza en el municipio de Manlleu (Osona, Barcelona), próximo al curso del río Ter, a 470 msnm. El conjunto antracológico (Ros, 1995b) proviene de un conjunto de silos (grupos 1, 2A y 2B) y un hogar, adscritos a la Edad del Bronce Antiguo (4.293-3.832 años cal BP). En el conjunto dominan los fragmentos de carbón de *Buxus sempervirens*, seguido del robledal. El resto de los taxones se identifican entre 20 y un fragmentos y corresponden a taxones acompañantes del robledal submediterráneo, como *Fagus sylvatica*, *Sorbus domestica* (Rosaceae), encina, *Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Pinus* tipo *sylvestris*, *Populus/Salix*, *Rhamus alaternus/Phillyrea*, *Corylus avellana*, *Prunus espinosa, Ulmus* sp., y las coníferas *Pinus* tipo *sylvestris*, *Taxus baccata*, y *Juniperus* sp. Los datos polínicos de los silos IM-1 y IM-6 (Burjachs, 1995) identifican a los taxones arbóreos *Pinus* sp., *Quercus* sp. y *Corylus avellana*, al arbusto *Ephedra* sp. y las herbáceas del género *Artemisia* y *Plantago* son las más representadas. Estos resultados sugieren un mosaico de bosques y espacios semiabiertos con una comunidad vegetal de clima submediterráneo.

Por último, **Cova de Punta Farisa** era un abrigo que se localizaba en el valle del Cinca, cerca del municipio de Fraga (Huesca, Bajo Cinca) y a escasa distancia entre los límites de Catalunya y Aragón, a 188 msnm. El conjunto antracológico se adscribe a ocupaciones humanas de la Edad del Bronce Medio (3.778-3.445 años cal BP) (Vila y Piqué, 2012). En el conjunto antracológico, *Pistacia lentiscus* se documenta como el taxón más seleccionado, seguido por *Pinus halepensis*. El resto de los taxones identificados, como *Alnus* sp., Cistaceae, Fabaceae, *Juniperus* sp., *Populus* sp., *Quercus* sp. perennifolio, *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, *Salvia rosmarinus* y *Tamarix* sp. no superan los veinte fragmentos.

Localizados en la zona geográfica de las cuencas de los ríos Anoia y Llobregat se describen los siguientes seis yacimientos

del período Neolítico antiguo al Neolítico final/Calcolítico, y un yacimiento de la Edad del Bronce Antiguo (Tabla 2.11).

La Serreta es un yacimiento al aire libre localizado en Vilafranca del Penedès (Alt Penedès, Barcelona), a 123 msnm. Los datos antracológicos provienen de un conjunto de unidades estratigráficas (UE) adscritas al Neolítico medio (Allué, 2010). El taxón más significativo es *Pistacia lentiscus* (lentisco), seguido por el encinar, *Arbutus unedo, Olea europaea y Rhamnus alaternus/Phillyrea*. También, aunque con bajas frecuencias, se detecta *Quercus* sp. caducifolio y *Pinus halepensis*, junto a *Populus/Salix*, *Prunus* sp., *Cistus* sp. y malvales.

El yacimiento al aire libre **Cal Sitjo** se localiza en el margen izquierdo de la riera de Tous, afluente del río Anoia, en su paso por el municipio de Sant Martí de Tous (Anoia, Barcelona), a 456 msnm. Los datos antracológicos provienen del nivel 3, que se contextualiza por reiteradas ocupaciones humanas del Neolítico postcardial-medio (5.765-5.655 años cal BP, 5.828-5.5750 años cal BP) (Gómez de Soler et al., 2023). Del total del conjunto analizado, únicamente 48 fragmentos pudieron identificarse a nivel taxonómico. De entre éstos, *Quercus* sp. caducifolio y perennifolio dominan el conjunto, con presencia esporádica de *Acer* sp., *Salvia rosmarinus*, maloideas, fabáceas leñosas y tres tipos de angiospermas indeterminadas.

Can Sadurní, que también cuenta con datos antracológicos del epipaleolítico (subsección anterior), ofrece datos antracológicos del nivel 18 (7.423-7.275 años cal BP), adscrito al Neolítico antiguo (Antolín et al., 2013). La mayoría de los taxones identificados pertenecen a bosques de roble de formación abierta con *Juniperus* sp., aunque las encinas y los arbustos secundarios también están representados, como *Pistacia* sp. y *Olea europaea*. Los datos carpológicos de este nivel muestran la presencia de frutos de los taxones vegetales leñosos *Arbutus unedo*, *Pinus* sp., *Quercus* sp. y *Rubus idaeus* (frambuesa) (Antolín et al., 2013).

Cova Bonica es una cavidad que se localiza en el municipio de Vallirana (Baix Llobregat, Barcelona), a 402 msnm. Los datos antracológicos proceden de los niveles IV2 (7.510-7.419 años cal BP) y IV (7.511-7.418 años cal BP), con ocupaciones humanas adscritas al Neolítico antiguo cardial (Allué et al., 2017b). El registro antracológico señala

la presencia de un bosque mixto de roble con árboles pequeños, combinados con taxones arbustivos y lianas, como *Arbutus unedo*, *Acer sp.*, *Prunus* sp., *Erica* sp., *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, *Hedera* sp. y *Lonicera* sp. También se identifica el pinar de pino blanco (*Pinus halepensis*) y enebros (*Juniperus* sp.), que formarían bosques abiertos de vegetación arbustiva (Daura et al., 2019; Allué et al., 2017b).

Cova de la Guineu, que también fue ocupada durante el período Epipaleolítico (subsección anterior), dispone de datos antracológicos de los niveles II, Id y II fumier, adscritos al Neolítico antiguo (6.403-6.180 años cal BP) y del nivel Ic, que contextualiza en el Neolítico final-Calcolítico (5.308-5.039 años cal BP) (Allué et al., 2009a). Durante el Neolítico antiguo cardial y postcardial, la cueva se utilizó principalmente como refugio para rebaños y lugar de almacenamiento, mientras que durante el final del Neolítico-Calcolítico se utilizó como lugar de enterramiento colectivo. Los datos antracológicos muestran una selección importante de robles y encinas en todos los niveles. Otros taxones se documentan en todos los niveles, como *Taxus baccata* (tejo), mientras que otros no representan más del 10%, como pinos mediterráneos (*Pinus* cf. *pinaster*, pino negral, *Pinus* cf. *halepensis*, pino carrasco), *Acer* sp., *Arbutus unedo*, *Laurus nobilis*, leguminosas, prunoideas, maloideas y *Rhamnus alaternus/Phillyrea*. El resto de los taxones meso-termófilos se documentan con valores muy bajos.

Santa Maria dels Horts es un yacimiento al aire libre que se localiza en el camino de la masia de Santa Maria dels Horts, en el municipio de Vilafranca del Penedès (Alt Penedès, Barcelona), a 215 msnm. Los datos antracológicos provienen de un silo adscrito al Neolítico final, e identifican la abundancia de *Quercus* sp. perennifolio, que se acompañaría por *Arbutus unedo* y *Olea europaea*, aunque también se seleccionaría la madera de *Quercus* sp. caducifolio (Senabre y Socias, 1993).

Por último, **Mas d'en Boixos** es un yacimiento al aire libre que se localiza en el municipio Pacs del Penedès (Alt Penedès, Barcelona), a 217 msnm. La secuencia arqueológica señala un registro formado por varias ocupaciones humanas que abarcan des del período del Neolítico antiguo hasta la Edad del Bronce. El conjunto antracológico procede de 31 unidades estratigráficas (silos y fosos) que se adscriben a la Edad del Bronce inicial. Los taxones más significativos son el encinar,

Tabla 2.11. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, entre las cuencas de los ríos Anoia y Llobregat del noreste de la península ibérica.

Georegion	Anoia-Llobregat basin												South Ebro valley					
Site	La Serreta	Cal Sitjo	Can Sadurní	Cova Bonica		Cova de la Guineu					Sta. M. Horts	Mas d'en Boixos	Coves del Fem					
Period	MN	MN	EN	EN		EN			LN	EBA	LN	EBA	EN					
Radiocarbon kyr cal BP	-	5.8-5.7	7.4-7.2	7.5-7.4		6.4-6.1			5.3-5.0	3.6-3.3	-	-	7.3-7.2	7.5	7.4	-	6.7-6.5	6.6-6.4
Layer	-	3	18	IV2	IV	II fum.	II	Id	Ic	Ia, Ib	-	-	UE104	UE103	UE102	UE 4-5	UE3	UE2
Taxa																		
Acer sp.		x	x	x	x	x	x	x	x	x				x			x	x
Arbutus unedo	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Buxus sempervirens				x	x													
Caprifoliaceae									x									
Cistaceae	x					x												
Cistus sp.	x				x							x						
Corylus avellana						x			x									
Erica sp.				x	x			x	x	x		x						
Ericaceae			x															
Fabaceae				x						x		x						
cf. Fabaceae		x																
Ficus carica									x			x						
Fraxinus sp.												x				x	x	x
Hedera sp.					x				x									
Ilex aquifolium						x		x	x	x							x	
Juniperus sp.			x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x
Lamiaceae									x									
Laurus nobilis				x	x	x	x	x	x									
Leguminosae						x	x	x	x	x								

continúa

continuación

Lonicera sp.				x	x			x	x	x								
Myrtus communis								x										
Olea europaea	x		x															
Pinus halepensis/pinaster	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x						
Pinus sylvestris type				x	x		x						x	x	x	x	x	x
Pinus sp.					x								x		x	x	x	x
Pistacia lentiscus	x		x								x	x						
Pistacia sp.																x		
Populus/Salix	x						x					x				x	x	
Prunus sp.	x		x	x		x		x	x	x		x	x			x		
Quercus sp. evergreen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Quercus cf. suber								x	x	x								
Quercus sp. deciduous	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rhamnus sp.			x	x	x													
Rhamnus alaternus/Phillyrea	x			x	x	x	x	x	x	x		x				x		x
Rosaceae/Maloideae		x	x	x	x					x		x	x		x	x		x
Rosaceae/Pomoideae						x	x	x	x									
Salvia rosmarinus		x		x								x	x	x	x	x		x
Tamarix sp.									x							x		
Taxus baccata						x	x	x	x									
Ulmus sp.															x	x	x	
Viburnum					x				x									
Viburnum cf. tinus										x								
Vitis vinifera										x							x	
Total taxa	**11**	6	**12**	**17**	**18**	**15**	**12**	**17**	**23**	**17**	**4**	**15**	**8**	**6**	**8**	**14**	**11**	**13**
cf. *Quercus*		x																
Ind. angiosperm 1, 2, 3		x																
Total fragments	**149**	**167**	**395**	**308**	**190**	**664**	**301**	**651**	**1633**	**952**	**38**	**103**	**200**	**199**	**196**	**398**	**200**	**200**

Pistacia lentiscus y *Pinus halepensis*. El resto de los taxones corresponden al 5 y 1% del conjunto, y son robledales, *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, *Arbutus unedo*, *Rosmarinus*, *Cistus* sp. *Erica* sp., *Ficus carica*, *Fraxinus* sp., *Prunus* sp., *Populus/Salix* y *pomóideas* (Allué, 2007; Esteve et al., 2012).

Los resultados polínicos de esta localización geográfica establecen dos fases principales de transformación del paisaje (Riera et al., 2007). Los resultados polínicos de la primera fase, que comenzaría alrededor de 10,8-9 mil años cal BP y terminaría entre 6,4-6 mil años cal BP, muestran un paisaje que estaría dominado por una mezcla de robledales, matorrales y pinos mediterráneos y bosques ribereños, aunque también se identifican encinares. Los resultados polínicos de la segunda fase (8-5,8 mil años cal BP), que se incluiría en el Neolítico antiguo, muestran cambios importantes en la cobertura vegetal alrededor de 7.200 años cal BP, que dividiría esta fase en dos subfases. En la zona de la depresión pre-litoral, se desarrollarían maquis de *Olea europaea* y pinares mediterráneos, en las que dominarían *Erica arborea*, *Juniperus* cf. *oxycedrus* y *Cistus*, así como otros taxones herbáceos, como poáceas, Chenopodiaceae, Brassicaceae (brasicáceas) y *Plantago* sp. (llantenes). Asimismo, en la zona litoral se detecta un desarrollo importante del encinar, que se acompañaría de *Buxus sempervirens* y pinares. Aunque también se detectan valores de brezos, éstos no serían tan elevados como en la zona de la depresión pre-litoral. Por otro lado, en el delta del Llobregat se desarrollarían maquis de *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus* y *Quercus coccifera* (coscoja). En esta zona también se detectan encinares y robles caducifolios con pinares mediterráneos en diferentes áreas. Además, se registran valores importantes de taxones herbáceos y ruderales, como Chenopodiaceae, Apiaceae (apiáceas) y Artemisia (asteráceas). Finalmente, en la plana litoral, se detectan principalmente formaciones de *Pistacia lentiscus*, con poca presencia de pino mediterráneo y valores importantes de las herbáceas.

En la zona geográfica del sur del valle del Ebro se localiza el yacimiento **Coves del Fem**, también con ocupaciones humanas mesolíticas (subsección anterior). Los datos antracológicos provienen de las unidades estratigráficas adscritas al Neolítico antiguo cardial UE 104 (7.326-7.238 años cal BP), 103 (7.511-7.426 años cal BP), 102 (7.450-7.432 años cal BP), 4 y 5, y las unidades estratigráficas

adscritas al Neolítico antiguo epicardial UE 3 (6.739-6.599 años cal BP) y 2 (6.652-6.494 años cal BP) (Alcolea, 2017). Los datos polínicos del período del Neolítico antiguo destacan al taxón *Pinus* sp., acompañado de *Quercus* sp. caducifolio, *Tilia* sp., *Corylus avellana* y *Quercus ilex/coccifera* (Alcolea, 2017: 424) (ver Tabla 2.11).

Por último, en la zona del Prepirineo se localiza el yacimiento **Auvelles**, situado al pie de la sierra Serra Llarga, en el municipio Castelló de la Farfanya (la Noguera, Lleida), a 417 msnm. Auvelles es un yacimiento al aire libre formado por estructuras negativas de depósito (silos) y de combustión (Oms et al., 2019). Los datos antracológicos provienen de estructuras/unidades que, durante los primeros trabajos arqueológicos, habían sido adscritas a una cronología entre el Neolítico final y la Edad del Bronce (Tabla 2.12) (Martín-Seijo y Piqué, 2008; Martín-Seijo, en prensa). Tras un reciente análisis exhaustivo del material cerámico recuperado en las estructuras del yacimiento y la realización de nuevas dataciones radiocarbónicas, se ha determinado que el yacimiento se divide en tres fases: Neolítico antiguo Postcardial-medio inicial (Fase I), Neolítico final-Calcolítico (Fase II) y Edad del Bronce inicial (Fase III) (Oms, comunicación personal). Los restos de carbón vegetal revisados se contextualizan actualmente en la primera fase de ocupación y se encontraron en diversas estructuras, tales como fosas-silo (Unidad 2) (6.319-6.269 años cal BP), fosas planas (Unidad 10) (6.297-6.197 años cal BP), silos y fosas (ocho unidades estratigráficas) y cubetas y fosas planas (tres unidades estratigráficas) (Martín-Seijo y Piqué, 2008; Martín-Seijo, en prensa). Aunque se han analizado más estructuras, algunas no se han podido contextualizar adecuadamente, por lo que los resultados antracológicos correspondientes no se han incluido en este apartado. Los datos antracológicos muestran que predominan robles y encinas en todo el conjunto de unidades estratigráficas analizadas. En los silos y estructuras de almacenaje dominan las encinas, seguidas por roble, que se acompañan puntualmente por *Fraxinus* sp., *Acer* sp., *Pistacia lentiscus*, Fabaceae y Cistaceae, así como *Pinus* tipo *sylvestris* y *Pinus halepensis/pinaster*. En cambio, en las cubetas y fosas planas únicamente se documentan roble, encina y fabáceas, siendo el roble el taxón más abundante.

Tabla 2.12. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, en la zona del Prepirineo del noreste de la península ibérica.

Geographical region	Prepyrenees				
Site	Auvelles				Cova Colomera
Period	EN				EBA
Radiocarbon kyr cal BP	6.3-6.2	6.1-6.1	-	-	4-3.8
Layer	UN2	UN10	Pits and silos	Flat bases	EE1
Taxa					
Acer sp.			x		x
Arbutus unedo					x
Buxus sempervirens					x
cf. *Lonicera*					x
cf. *Ribes*					x
Cistaceae			x		
Corylus avellana					x
Fabaceae			x	x	
Fraxinus sp.			x		x
Hedera sp.					x
Ilex aquifolium					x
Juniperus sp.			x		x
Pinus halepensis/pinaster			x		
Pinus sylvestris type			x		x
Pistacia cf. *terebintus*					x
Pistacia lentiscus			x		
Prunus sp.					x
Quercus sp. evergreen	x		x	x	x
Quercus sp. deciduous	x	x	x	x	x
Rhamnus alaternus/Phillyrea					x
Rhamnus cathartica/saxatilis					x
Rosaceae/Maloideae					x
Taxus baccata					x
Tilia sp.					x
Total taxa	**2**	**1**	**10**	**3**	**20**
Total fragments	**54**	**245**	**1487**	**39**	**296**
Pinus sp.			x		
Quercus sp.			x		x
Rhamnus sp.					x

Piso bioclimático termomediterráneo

El yacimiento **Barranc d'en Fabra** es un yacimiento al aire libre que se localiza en el barranco de la Carroba, en el municipio de Amposta (Montsià, Tarragona), en el margen derecho del curso inferior del río Ebro, muy próximo a su delta, a 100 msnm. Los datos antracológicos provienen de un contexto de ocupaciones humanas adscritas al Neolítico antiguo postcardial (6.960-6.440 años cal BP) (Bosch et al., 1996; Ros, 1996). Los taxones identificados corresponden a árboles pequeños y especies arbustivas, como *Quercus coccifera* (carrasca), *Olea europaea* (acebuche-olivo), *Erica* sp (brezos), *Salvia rosmarinus* (romero), *Ulex parviflorus* (ginesta), *Pistacia lentiscus* (lentisco), *Cistus* sp. (estepas), *Chamaerops humilis* (palmito) y *Juniperus* sp. La única especie propiamente arbórea del conjunto es *Pinus halepensis* (pino blanco). También se identifican *Viscum* sp (muérdago) y algunas especies de leguminosas (Tabla 2.13).

Tabla 2.13. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos del Neolítico antiguo de Barranc d'en Fabra, localizado en el piso bioclimático termomediterráneo del noreste de la península ibérica.

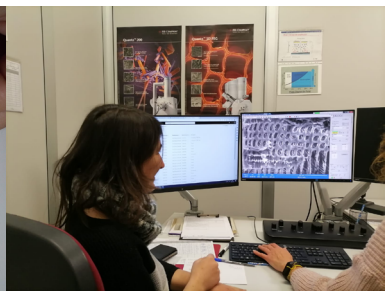
Geographical region	South Ebro valley
Site	Barranc d'en Fabra
Period	EN
Radiocarbon kyr cal BP	6.9-6.4
Layer	-
Taxa	
Chamaerops humilis	x
Cistus sp.	x
Erica sp.	x
Fabaceae	x
Juniperus sp.	x
Leguminosae	x
Olea europaea	x
Pinus halepensis/pinaster	x
Pistacia lentiscus	x
Quercus sp. evergreen	x
Salvia rosmarinus	x
Viscum sp.	x
Total taxa	**12**
Total fragments	**160**

CAPÍTULO III. Materiales y métodos

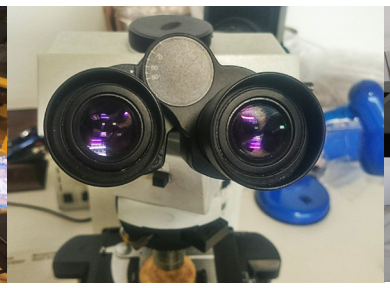




















3.1. Antracología

En la presente sección se exponen los materiales y métodos empleados en el análisis antracológico de lo yacimientos Molí del Salt (Capítulo V; Mas et al., 2021), Cova del Parco (Capítulo VI) y Cova Colomera (Capítulo VII; Mas et al., 2022). Se describen las técnicas de muestreo empleadas durante el trabajo de campo, así como el criterio de selección de los fragmentos de carbón para su posterior análisis en laboratorio. Además, se presentan en detalle las técnicas utilizadas para la identificación taxonómica de las plantas leñosas. Se aborda la importancia de considerar las alteraciones tafonómicas que afectan a los fragmentos de carbón y se evalúa la representatividad del conjunto antracológico. Asimismo, se describen minuciosamente las técnicas de cuantificación y presentación de los resultados obtenidos, así como el procedimiento utilizado para la gestión de los datos. En resumen, en esta sección se proporciona una visión completa de los materiales y métodos en antracología, abordados para obtener datos precisos y confiables de los conjuntos antracológicos analizados en el marco de esta tesis doctoral.

3.1.1 El trabajo de campo: técnicas de muestreo

Los conjuntos antracológicos de los contextos arqueológicos deben entenderse a partir de un proceso, que empieza cuando se selecciona la madera y que finaliza con el análisis antracológico (Allué et al., 2009b; Théry-Parisot et al., 2010). El carbón disperso por los sedimentos arqueológicos proviene de distintos episodios de recogida y quema de leña, que pudo haberse distribuido por actividades de mantenimiento o reorganización del espacio (Badal, 1992; Chabal, 1994; Badal et al., 2003). Por ello, la técnica de recuperación de los fragmentos de carbón debe garantizar una muestra representativa del total de los fragmentos conservados en los yacimientos para evitar sesgos en la posterior interpretación (Chabal et al., 1999).

Existen diversas técnicas de recuperación de restos macrobotánicos carbonizados de los sedimentos arqueológicos que tienen por finalidad obtener una muestra representativa (ACBA, 2012; White y Shelton, 2014). En la presente investigación, se emplearon dos técnicas de muestreo: la recogida manual y la flotación manual con cubos. La primera técnica consiste en la excavación

controlada, mediante **la recogida manual** y sistemática de los fragmentos de carbón. Cada fragmento de carbón recuperado se registra con coordenadas Cartesianas (X, Y, Z) y se individualiza en un sobre de papel de aluminio. La técnica de recogida manual se llevó a cabo en la Cova del Parco (Capítulo VI), durante las excavaciones realizadas en los niveles magdalenienses II y III, entre los años 2011-2013 y 2015-2019. Sin embargo, es importante destacar que la aplicación del método de recogida manual de carbones puede presentar ciertos inconvenientes. Por ejemplo, existe la posibilidad de omitir algunos fragmentos, o que sufran daños durante el proceso de excavación, lo que puede afectar su conservación en el futuro si no se individualizan y protegen adecuadamente. Además, si los fragmentos de carbón están muy fragmentados o se encuentran mezclados con otros materiales sedimentarios, se puede optar por recogerlos en agrupaciones en lugar de individualizar cada uno de ellos, lo que puede reducir la precisión y la resolución de los datos obtenidos posteriormente (Pearsall, 1988; Allué y Mas, 2020).

El segundo método para la recuperación de los fragmentos de carbón fue la técnica de **flotación manual** con cubos (Wright, 2005; Pearsall, 2015), que consiste en la separación de los restos vegetales carbonizados de los sedimentos mediante cubos y agua. Los restos carbonizados tienen una densidad menor que la del agua, lo que permite que, al sumergir el sedimento y remover el contenido suavemente con la mano, los restos carbonizados floten a la superficie, mientras que las partículas y fragmentos más pesados se depositan en el fondo del cubo. Asimismo, los restos que flotan en la superficie se recolectan mediante el uso de una malla receptora (=malla de luz), siendo preferente el tamaño del haz entre 0,4 a 0,2 mm (Pearsall, 2015), para evitar la pérdida de los fragmentos más pequeños o de restos de semillas (Figura 3.1.). El residuo recuperado incluye no solo fragmentos de carbón, sino también otros macrorestos arqueobotánicos quemados, como semillas y frutos, así como restos óseos esponjosos y quemados, vegetación e insectos actuales. La técnica de flotación manual se considera generalmente efectiva, menos agresiva y fiable en la recuperación de macrorestos vegetales carbonizados (Struever, 1968; Wagner, 1988; Kabukcu y Chabal, 2021), aunque se

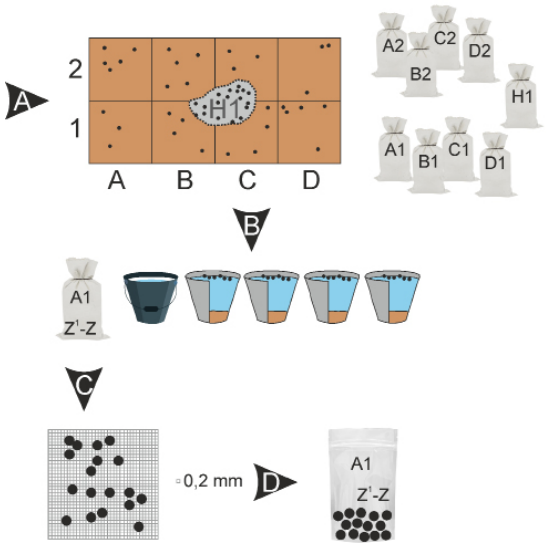


Figura 3.1. Esquema del proceso de recuperación de fragmentos de carbón mediante la técnica de flotación manual que ilustra la recuperación de los conjuntos antracológicos recuperados en los yacimientos Molí del Salt y la Cova Colomera.

ha prestado poca atención al hecho de que, en ciertos casos, el contacto con el agua puede producir una hiper-fragmentación o destrucción de los macrorestos (Arranz-Otaegui, 2017). Cabe señalar, no obstante, que la flotación manual es un método versátil que puede adaptarse a una gran variedad de situaciones (White y Shelton, 2014). Factores como la disponibilidad del espacio, el estado de los restos que se recuperan, el tipo de matriz del sedimento, el contexto arqueológico y las limitaciones económicas pueden influir en la estrategia específica utilizada. Por ejemplo, en situaciones en las que el espacio es limitado, puede usarse un sistema de flotación manual mecanizada mediante un tanque pequeño. Del mismo modo, si los restos carbonizados se observan en mal estado o friables, puede ser necesario un tratamiento más suave para evitar daños mayores, como no usar el agua y recoger el material cribando en seco (Marekovi ć y Šoštarić, 2016). Además, los diferentes tipos de sedimentos pueden requerir diferentes estrategias para separar eficazmente los restos carbonizados de los sedimentos, como la incorporación de azúcar en el agua para cambiar su densidad (Kidder, 1997).

La flotación manual se empleó como técnica de muestreo para la recuperación de los fragmentos de carbón de los yacimientos Molí del Salt (Mas et al., 2021) y la Cova Colomera (Mas et al., 2022), analizados en este trabajo. Ambos proyectos de excavación contaban con investigadores cualificados, un espacio abierto con buena capacidad de drenaje, una manguera de jardín con salida de agua, mallas receptoras de 0,2 mm de anchura de los poros y cubos con una capacidad de 12 litros de sedimento. El muestreo se realizó durante los trabajos de campo, paso previo al lavado del sedimento y a la separación de las fracciones finas y gruesas.

En el yacimiento Molí del Salt se procesó un volumen total de 6.620 litros de sedimento excavado del nivel A y estructuras asociadas, durante el transcurso de las campañas de 2005 hasta 2017. De estas muestras se recuperó el material analizado en el presente estudio. Para recuperar los fragmentos de carbón dispersos por el sedimento, cada saco (=muestra) se vertió entre un litro y medio y dos litros de sedimento en varios cubos y se removió manualmente el contenido, en intervalos de tiempo para permitir que los restos carbonizados se desprendieran del sedimento y flotaran en la superficie del agua. Posteriormente, se decantó cuidadosamente el agua y el residuo se depositó en una malla receptora, cuidando que el sedimento quedase depositado en el fondo del cubo. El residuo obtenido se dejó secar al aire libre, evitando el sol directo para garantizar su conservación. Cada malla con residuo se etiquetó con la información arqueológica de la excavación, incluyendo el nivel arqueológico, el cuadro de procedencia, el intervalo de cotas y la fecha (Figura 3.2). Durante el período 2005-2011, las muestras fueron obtenidas en rangos de cotas de 10 cm, mientras que a partir del 2012 y hasta el 2017, el rango se redujo a 5 cm.



Figura 3.2. Fotografías del proceso de recuperación de los macrorestos carbonizados durante los trabajos de campo de Molí del Salt

Los fragmentos de carbón dispersos en los sedimentos y estructuras de la Cova Colomera fueron recuperados durante los trabajos de campo realizados entre el año 2005 y 2011, siguiendo la misma técnica de flotación manual detallada anteriormente (Figura 3.3).



Figura 3.3. Fotografías del proceso de recuperación de los macrorestos carbonizados durante los trabajos de campo de la Cova Colomera. Imágenes cedidas por F.X. Oms.

En cuanto al rango de cotas registrados, los niveles CE8, CE9, CE10, CE12, CE13 y C14 fueron excavados en un intervalo de 10 cm de profundidad, mientras que la estructura EE1 se procesó con la totalidad de su volumen (Z=-500/-518).

3.1.2 La selección de los fragmentos de carbón

La selección metódica de los fragmentos de carbón a analizar es un paso crucial en el proceso de análisis antracológico. Esto implica la selección previa de los carbones que serán estudiados mediante el triado, y el descarte de pequeños fragmentos que resultan de difícil manipulación, como los de tamaño inferior a 2 mm.

En la Cova Colomera y en Molí del Salt, los fragmentos de carbón fueron recuperados mediante el método de la flotación manual, y requirieron una **separación manual** del residuo recuperado en el proceso de flotación. La separación manual del residuo recuperado de los sedimentos de la Cova Colomera se realizó sistemáticamente durante los trabajos de campo. En el caso de Molí del Salt, separamos manualmente los residuos acumulados durante las campañas de excavación de 2006 a 2017

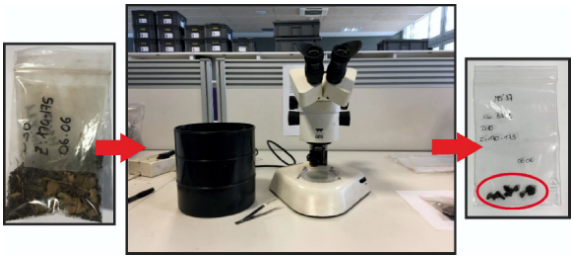


Figura 3.4. Fotografías de los instrumentos utilizados para la selección de los fragmentos de carbón entre el residuo de la flotación manual recuperado en el nivel A de Molí del Salt.

del nivel A, mediante una **lupa binocular** y **tres tamices** con mallas de 4 mm, 2 mm y 0,5 mm (Figura 3.4). Recuperamos todos los fragmentos de carbón una vez clasificados por tamaño y descartamos los restos vegetales actuales y las finas partículas de sedimento que se habían colado en la malla durante la decantación. Finalmente, guardamos los fragmentos de carbón en bolsas de plástico con cierre zip, que individualizamos por nivel arqueológico, cuadro de procedencia, rango de cotas (Z-Z1) y fecha de excavación.

3.1.3. El análisis antracológico

La identificación botánica de la madera carbonizada se realiza a través del análisis antracológico, técnica que se basa en la observación y reconocimiento de los caracteres anatómicos de las plantas. Por ende, mediante el análisis antracológico se

busca diferenciar los caracteres distintivos que permitan determinar la especie, género o familia de cada fragmento de carbón. La técnica para preparar los fragmentos consiste en un método sencillo y eficiente, que se basa en la **fractura manual** de cada fragmento de carbón para obtener cortes frescos y limpios. La fractura debe realizarse en el momento de la observación, buscando obtener el corte más plano posible, y deben observarse **los tres planos o secciones anatómicas de la madera**: a) el plano Longitudinal Transversal, que es la sección perpendicular al eje de la rama o tronco, b) el plano Longitudinal Radial, que es la sección dispuesta por el eje y un radio de la rama o tronco y c) el plano Longitudinal Tangencial, que es la sección paralela a un planto tangente del tronco o a los anillos de crecimiento (Schweingruber, 1990) (Figura 3.5).

Todos los fragmentos de carbón analizados en esta tesis doctoral se han identificado mediante los medios tecnológicos del Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES, Tarragona, España). En primer lugar, usamos el **microscopio de reflexión con óptica de campo claro y oscuro** (Olympus BX41) con objetivos de diferentes aumentos (x50, x100, x200 y x500) para observar cada fragmento. El uso de un microscopio óptico de reflexión permite evitar cualquier proceso químico en la muestra (Vernet, 1973), lo que permite su uso posterior para la datación radiocarbónica 14C. Para garantizar una observación adecuada, se colocó cada fragmento de carbón en un soporte con semillas pequeñas de amaranto, que permitió fijar e inmovilizar los fragmentos. Un aspecto

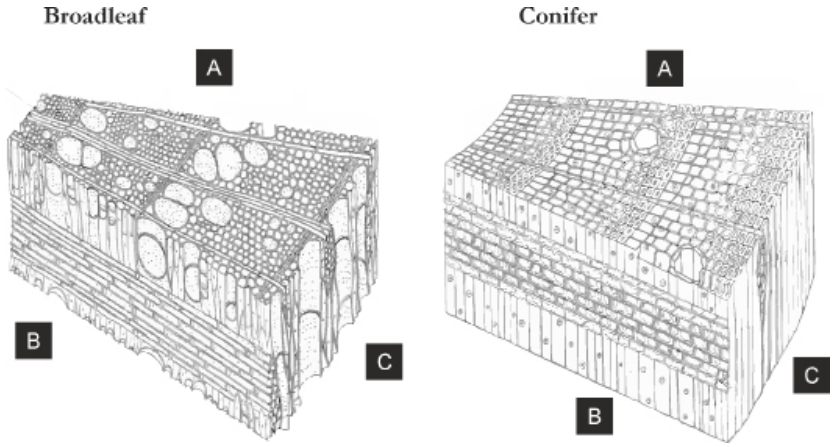


Figura 3.5. Planos anatómicos de la madera de frondosas (izquierda) y coníferas (derecha). A: plano Longitudinal Transversal; B: plano Longitudinal Radial; C: plano Longitudinal Tangencial.



Figura 3.6. Izquierda: fotografía tomada durante el análisis antracológico de los fragmentos de carbón del conjunto de la Cova Colomera; Derecha: Materiales, 1: Microscopio de reflexión con óptica de campo claro y oscuro (Olympus BX41); 2: muestras; 3: Pinzas; 4: Soporte con semillas; 5: Papel de plata; 6: Manual especializado en anatomía de la madera (Schweingruber, 1990).

clave para la identificación taxonómica es comparar los caracteres anatómicos de los restos antracológicos con una **colección de referencia** de muestras de maderas actuales (Badal, 1990; Chabal, 1991). Por ello, utilizamos la colección de madera actual carbonizada de la Unidad de Arqueobotánica del Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES, Tarragona, España). Finalmente, consultamos los **manuales especializados en anatomía de la madera** (Schweingruber, 1990; García-Esteban et al., 2002, 2003) para apoyar la identificación de los taxones vegetales leñosos (Figura 3.6). Al concluir el análisis de cada fragmento, se empleó papel de aluminio para crear un sobre, que se marcó con un número de registro (Id) para garantizar el correcto almacenamiento de la muestra.

En la presente investigación, hemos analizado un total de 1.600 fragmentos de carbón mediante el análisis antracológico, que se incorporaron a los estudios antracológicos realizados en trabajos previos (Oms et al., 2009b; Allué et al., 2010, 2013a) (Tabla 3.1).

3.1.4. Gestión de datos

El proceso de gestión de datos antracológicos es un trabajo minucioso y riguroso que requiere del análisis antracológico. En general, los datos recopilados incluyen información sobre la adscripción taxonómica de los fragmentos de carbón, su tamaño, las marcas tafonómicas observadas, el conteo de los anillos de crecimiento, la ubicación y contexto del yacimiento arqueológico. Gestionar eficientemente los datos es un proceso crucial para **reunir**, **analizar** y **difundir** información

Tabla 3.1. Recuento de los fragmentos de carbón analizados en esta investigación, recuperados de los niveles arqueológicos de Molí del Salt, Cova del Parco y la Cova Colomera, con relación al total de fragmentos publicados en trabajos previos.

	Período arqueológico	Frags. analizados	Frags. publicados*	Total	*Referencias
Molí del Salt					
Asup	Magdaleniense superior final	-	284	**284**	Allué et al., 2010
A	Magdaleniense superior final	505	-	**505**	Mas et al., 2021
B1	Magdaleniense superior	-	231	**231**	Allué et al., 2010
B2	Magdaleniense superior	-	379	**379**	Allué et al., 2010
Cova del Parco			-		
Ia(2)	Epipaleolítico sauvaterroide	-	245	**245**	Allué et al., 2013a
Ib-Ic	Epipaleolítico microlaminar	-	730	**730**	Ros, 1997
II	Magdaleniense superior	165	794	**959**	Allué et al., 2013a; Capítulo VI
III	Magdaleniense medio final	112	-	**112**	Capítulo VI
Cova Colomera					
CE8	Bronce medio	148	-	**148**	Mas et al., 2022
EE1	Calcolítico-Bronce inicial	60	300	**360**	Oms et al., 2009b
CE9	Neolítico final	337	-	**337**	Mas et al., 2022
CE10	Neolítico final	100	-	**100**	Mas et al., 2022
CE12	Neolítico antiguo	120	-	**120**	Mas et al., 2022
CE13	Neolítico antiguo	150	-	**150**	Mas et al., 2022
CE14	Neolítico antiguo	202	-	**202**	Mas et al., 2022
Total fragmentos		**1899**	**2963**	**4862**	

sobre los contextos antracológicos y la presencia de taxones.

Durante el transcurso de los análisis antracológicos de los yacimientos Molí del Salt (Mas et al., 2021; Capítulo V), Cova del Parco (Capítulo VI) y Cova Colomera (Mas et al., 2022; Capítulo VII), diseñamos una estructura común para almacenar los datos obtenidos en cada uno de los análisis (Figura 3.7). Para ello, elaboramos una hoja de cálculo de Excel para cada yacimiento (versión 2212 Build 16.0.15928.20196) en la que garantizamos la homogeneidad y organización de los datos. De esta manera, se logró una fácil comparación y análisis de los resultados de los tres yacimientos. Sin embargo, es importante considerar que, aunque Excel puede ser

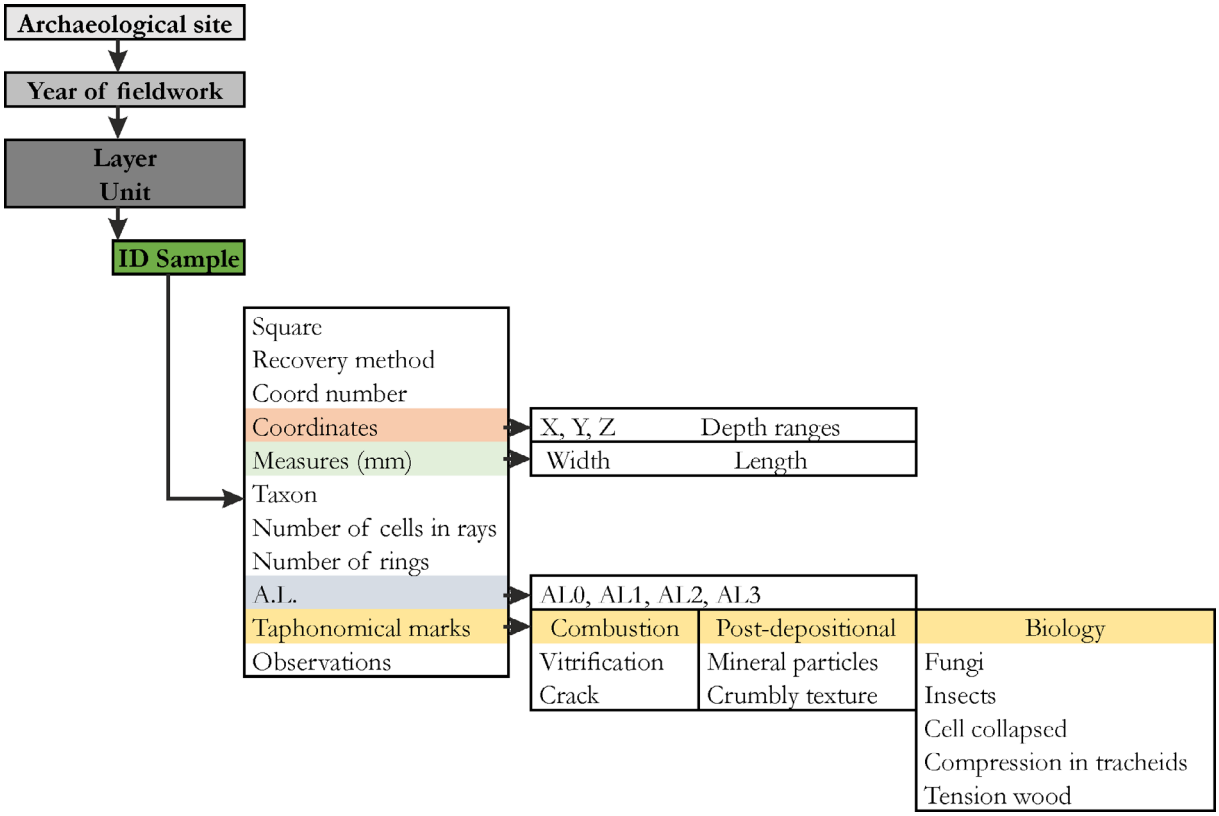


Figura 3.7. Modelo relacional de la base de datos elaborada durante el análisis antracológico para cada yacimiento arqueológico analizado.

utilizado para almacenar y gestionar datos, no es una herramienta diseñada específicamente para bases de datos. Por lo tanto, puede presentar ciertas limitaciones, como la cantidad de información o el acceso para otros usuarios.

3.1.5. Adscripción taxonómica

En nuestros trabajos, hemos diferenciado a los taxones vegetales leñosos que pertenecen a los grupos de las gimnospermas y las angiospermas. Los taxones leñosos pertenecientes al orden de las **coníferas** pertenecen al grupo de las gimnospermas, mientras que del grupo de las angiospermas tratamos a los taxones leñosos pertenecientes únicamente al orden de las dicotiledóneas, que son **plantas frondosas** o de hoja ancha que **producen madera**. La distinción microscópica entre ambos grupos es relativamente sencilla, ya que presentan caracteres bien diferenciados en la composición del xilema (=tejido leñoso vegetal) (Schweingruber, 1990). Las coníferas son plantas leñosas exclusivamente perennes, que incluyen árboles muy ramificados, raramente arbustos (García-Esteban et al.,

2002). Se caracterizan como plantas vasculares de madera homóxila, lo que hace referencia a una estructura homogénea del xilema, compuesto únicamente de parénquima y traqueidas. Asimismo, las plantas de hoja ancha o frondosas pueden ser de hoja perenne o caduca y la madera es heteróxila, lo que hace referencia a una estructura heterogénea del xilema, ya que contiene fibras, traqueidas vasculares, vasos y parénquima que se caracterizan por un gran número de combinaciones y morfologías (García-Esteban et al., 2003). Debido a las diferencias anatómicas fácilmente distinguibles entre ambos grupos de plantas leñosas, hemos usado categorías generales (Angiosperma indeterminada, Conífera indeterminada, Indeterminado) al analizar fragmentos de carbón no identificables específicamente en términos de especie, género o familia.

El estudio de los fragmentos de carbón no siempre permite determinar a qué especie de planta leñosa pertenecen (Chabal, 1992, 1997; Chabal et al., 1999). En estos casos, se recurre a otros grupos taxonómicos como tipos, cf. o géneros. En nuestros análisis, agrupamos algunos taxones específicos identificados en los fragmentos de carbón (como *Populus*/*Salix*, *Rhamnus cathartica*/*saxatilis*, *Pinus* tipo *sylvestris* incluye *Pinus sylvestris*/*nigra*, Rosaceae/Maloideae y *Quercus ilex*/*coccifera*), puesto que la distinción anatómica entre dos o más especies no nos resultó posible (Schweingruber, 1990). En el caso de la agrupación de *Pinus* tipo *sylvestris*, únicamente en el contexto de Cova del Parco hemos incluido a las especies *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* ssp. *salzamanii* y *Pinus uncinata* (Allué et al., 2013; Capítulo VI). También hemos agrupado taxones identificados solo a nivel de género ("sp.") cuando no hemos conseguido identificar la especie exacta, como *Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Lonicera* sp., *Quercus* sp. caducifolio, *Quercus* sp. perennifolio, *Rhamnus* sp. y *Juniperus* sp., por ejemplo.

Algunas especies de plantas leñosas de un mismo género tienen criterios anatómicos específicos que permiten agrupar y constituir categorías o tipos diferentes (Heinz y Barbaza, 1998; Alcolea, 2017; Allué et al., 2018a). Para la presente investigación, hemos optado por la clasificación del género *Prunus* en tres tipos de categorías, según el conteo de células presentes en la anchura de los radios de especies típicas de la región suroeste del Mediterráneo (Heinz y Barbaza, 1998). Así, la anchura de los radios de una a dos células configura la categoría

Prunus tipo 1, que incluye a las especies *Prunus avium/padus*; *Prunus* tipo 2 se define por radios de tres o cuatro células de ancho e incluye a las especies *Prunus spinosa/mahaleb*); los radios de más de cinco células definen a la categoría *Prunus* tipo 3, que incluye en el área de estudio a las especies *Prunus spinosa/amygdalu*s. Aunque se han propuesto otras agrupaciones de especies para el género *Prunus* en categorías, que se basan en los tipos de distribución de los poros en los anillos de crecimiento del plano transversal (anillo poroso, poros difusos y semi poroso) y el conteo de células en el ancho de los radios (Ntinou, 2002), hemos optado por la clasificación anterior, puesto que el mal estado de conservación de un elevado número de fragmentos no nos ha permitido observar con suficiente detalle el plano transversal.

En el siguiente capítulo (Capítulo IV) se incluyen las descripciones detalladas de los taxones leñosos identificados en esta tesis doctoral. Cada descripción incluye los criterios anatómicos específicos observados en los fragmentos de carbón para determinar su clasificación taxonómica.

3.1.6. Alteraciones tafonómicas en los fragmentos de carbón

La identificación de los procesos que influyen en los conjuntos antracológicos es esencial para comprender la representatividad de los fragmentos de carbón recuperados. Según Théry-Parisot y otros (2010), estos conjuntos están influenciados por una sucesión de procesos que incluyen estrategias humanas, procesos de combustión y procesos naturales y post-deposicionales, que pueden afectar tanto la cantidad como la calidad de la información sobre el entorno vegetal y las prácticas humanas entorno al combustible.

Durante los análisis antracológicos de Molí del Salt, Cova del Parco y la Cova Colomera, hemos registrado las alteraciones tafonómicas de los fragmentos del carbón, así como los procesos biológicos que tienen lugar en las plantas (Allué et al., 2009b; Scott y Damblon, 2010; Théry-Parisot et al., 2010; Allué y Mas, 2020; Vidal-Matutano et al., 2020). De manera sistemática, usamos tres categorías principales para clasificar las características tafonómicas observadas:

1) **Procesos biológicos**: el crecimiento de las plantas se ve afectado por diversos agentes

biológicos, como insectos y hongos (Toriti et al., 2021), y también por las condiciones ambientales y climáticas en las que crece la planta hasta su recolección. Entre ellas se incluyen los efectos del viento (Eklund y Säll, 2000), los factores de temperatura y los cambios climáticos estacionales (Gorczynski y Molki, 1969; Schweingruber et al., 2006), y las condiciones de humedad (Lucejko et al., 2021). En determinadas circunstancias, la madera sufre modificaciones que dan lugar a deformidades anatómicas (García-Esteban et al., 2003), por ejemplo, en la disposición de la estructura celular (Wloch et al., 2002; Allué et al., 2009b), paredes celulares colapsadas y distorsionadas (Henry y Théry-Parisot, 2014), o compresión de traqueidas (Donaldson et al., 2004, 2010; Allué y Mas, 2020).

2) **Combustión**: está condicionada por el proceso de carbonización, que produce deformaciones en la estructura interna de la madera y en su morfología, cómo grietas y vitrificación (Courty et al., 2020; McParland et al., 2010; Théry-Parisot, 2001; Vidal-Matutano et al., 2019, 2020).

3) **Procesos fósil-diagenéticos**: incluyen procesos postdeposicionales causados por agentes o procesos físico-químicos (gelifluxión, agua, presión) y perturbaciones antropogénicas (pisoteo, métodos de recuperación) que afectan a los sedimentos arqueológicos (Chrzazvez et al., 2014). En los tres trabajos de investigación, las observaciones de estos procesos postdeposicionales se basaron en fragmentos de carbón con textura friable y la presencia de partículas de sedimento incrustadas en poros y traqueidas.

El estado de la madera

El estado de la madera se refiere a su grado de madurez, frescura o degradación (Théry-Parisot, 2001; Théry-Parisot y Henry, 2012). La identificación tafonómica del estado de la madera puede proporcionar información sobre las estrategias de selección de la madera, basadas en su disponibilidad y calidad. Henry y Théry-Parisot (2014) clasificaron tres estados de la madera en base a sus resultados en combustiones experimentales y comparaciones etnográficas: I. **Madera verde o saludable (A.L.0)**: es la madera que todavía contiene un alto contenido de agua y no ha sido secada; II. **Madera muerta o seca (A.L.1)**: es la madera que ha perdido la mayor parte de su humedad y; III. **Madera podrida**:

es la madera que ha sido atacada por hongos y bacterias, causando su degradación y pérdida de estructura.

Las autoras (Henry y Théry-Parisot, 2014: p. 327-328) propusieron un índice de alteración del estado de la madera (Ai), basado en la cuantificación de niveles de alteración visibles (A.L.) en el plano anatómico transversal de los fragmentos de carbón del taxón *Pinus sylvestris* durante el estudio microscópico (Tabla 3.2). Este índice permite clasificar el estado de la madera en un conjunto antracológico cerrado, caracterizar la combustión y explorar el criterio de selección de la madera.

Aplicamos el índice de alteración de la madera (Ai) a los fragmentos de carbón taxonómicamente adscritos a *Pinus* tipo *sylvestris* en el estudio de Cova del Parco (Capítulo VI), en el que analizamos 172 fragmentos del nivel II y 116 fragmentos del nivel III. Asimismo, hemos optado por investigar la viabilidad de utilizar este método en contextos dispersos, a pesar de que las autoras sugieren que la aplicación del índice Ai debe restringirse a conjuntos antracológicos recuperados de contextos cerrados como, por ejemplo, en estructuras de combustión.

Tabla 3.2. Criterios microscópicos para la identificación del nivel de alteración (A.L.) en el plano anatómico transversal del taxón *Pinus sylvestris*, según las autoras Henry y Théry-Parisot (2014): p. 327, Tabla 3: modificada.

Nivel de alteración (A.L.)	**Criterios microscópicos**	**Intensidad**	**Estado**	**Índice Ai***
A.L.0	No se observan evidencias	No existe	Saludable	<0.5
A.L.1	Se observan cavidades en la pared celular Pequeñas deformaciones en las células	Baja intensidad muy localizada	Madera muerta o seca	0.2 a 0.34
A.L.2	Se observan perforaciones en la pared celular Células deformadas Huecos localizados en la estructura de las células	Media intensidad muy localizada	Madera muerta o seca	0.35 a 0.5
A.L.3	Pared celular colapsada Deformaciones importantes y huecos extendidos en la pared celular	Alta intensidad generalizada	Madera podrida	>0.5

*Ai = ((nA1x1 + nA2x2 + nA3x3) /nTOTALx3) en la que el recuento de carbones alterados se multiplica por el nivel de alteración y su suma se divide por el total de número de fragmentos analizados multiplicado por 3.

3.1.7. Representatividad del conjunto antracológico

Como se ha expuesto anteriormente, resulta esencial planificar el muestreo y la recuperación de la mayor cantidad posible de los macrorestos vegetales carbonizados preservados en los yacimientos arqueológicos, para obtener una representatividad adecuada del conjunto antracológico. Por ello, es importante valorar el tamaño de la muestra recuperada, y preguntarse cuantos fragmentos de carbón son necesarios para el análisis. La cantidad de fragmentos de carbón necesarios para obtener una muestra antracológica representativa depende del contexto arqueológico específico. Por ejemplo, L. Chabal (1992) sugiere que son necesarios 250 fragmentos por UE (unidad estratigráfica) en contextos desde la Prehistoria reciente en adelante, y 400 fragmentos si estos contextos se adscriben a climas tropicales. Por otro lado, en estudios realizados en contextos del Paleolítico medio y superior, se ha demostrado que el análisis de 100 fragmentos puede proporcionar una diversidad fiable del conjunto antracológico (Bazile-Robert, 1979; Uzquiano, 1997; Allué et al., 2017a, 2017b).

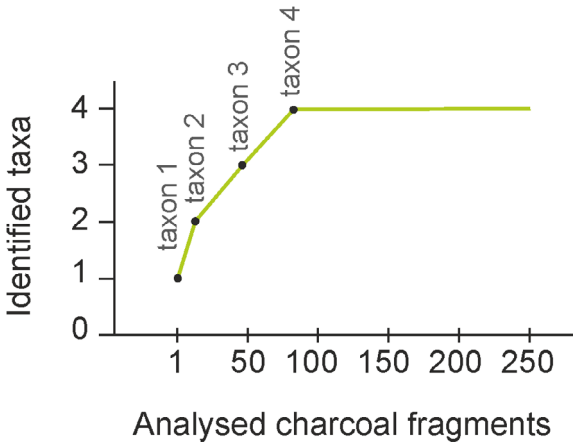


Figura 3.8. Ejemplo de un gráfico simplificado de curvas de acumulación.

El uso de **curvas de acumulación** (o curvas de saturación) (Figura 3.8) es un método para determinar el número mínimo de los fragmentos de carbón para obtener una muestra representativa de los taxones presentes en los niveles arqueológicos (Chabal, 1997; Kabukcu y Chabal, 2021). Además, posibilita valorar si el esfuerzo invertido en el tamaño de la muestra analizada (número total de fragmentos de carbón) es proporcional al total de taxones identificados (Badal, 1992). Las curvas de acumulación se establecen comparando el número de fragmentos de carbón analizados con el número de taxones identificados. A medida que se analizan más fragmentos, el número de taxones identificados aumenta, aunque a un ritmo decreciente. El punto en el que la tasa de aumento se estabiliza (a más fragmentos analizados no se obtienen más

taxones) se considera el tamaño óptimo de la muestra. Este método se aplicó en el conjunto antracológico de Cova Colomera (Mas et al., 2022; Capítulo VII), puesto que el total de la muestra en algunos niveles arqueológicos no superaba los 200 fragmentos.

3.1.8. Técnicas de cuantificación

Tradicionalmente, en antracología los taxones vegetales leñosos se cuantifican mediante el **conteo** de los fragmentos de carbón. L. Chabal y colegas (1999) aportaron en los estudios antracológicos los métodos cuantitativos de análisis, y formalizaron **la frecuencia absoluta** (el número total de fragmentos adscritos al taxón) y **la frecuencia relativa** (el porcentaje que representa cada taxón en relación con el resto de los taxones) de cada taxón que pertenece al conjunto antracológico de una estructura o de un nivel arqueológico. Estas medidas se utilizan para inferir la composición y estructura de la comunidad vegetal explotada por el ser humano, y para comparar y observar la transformación diacrónica (a lo largo del tiempo) de la misma. Asimismo, el análisis antracológico permite inferir patrones de explotación y uso de recursos vegetales leñosos en el pasado. Cabe señalar, no obstante, que el análisis antracológico solo permite identificar las especies vegetales leñosas que fueron utilizadas y quemadas por los humanos (coníferas y frondosas), y no las herbáceas o las plantas no leñosas que pudieron haber sido utilizadas o haber estado presentes en el entorno.

Cabe mencionar que los métodos de cuantificación usados en antracología deben ser consistentes y estandarizados para poder comparar los resultados entre diferentes estudios o entre diferentes muestras dentro de un mismo estudio (Heinz, 1990; Badal, 1992; Piqué, 1999). Teniendo en cuenta la homogeneidad metodológica dentro de la disciplina, hemos descartado la cuantificación de los conjuntos antracológicos mediante el registro del volumen y del peso (Chabal et al., 1999), puesto que los resultados que proporciona son equivalentes a los obtenidos por el recuento de fragmentos (Chabal, 1990), y actualmente no es un método cuantificativo comúnmente usado.

3.1.9. Presentación de resultados: el diagrama antracológico

En antracología, el **diagrama antracológico** (o secuencia antracológica) es un gráfico

común utilizado para la presentación de los resultados obtenidos del análisis antracológico (Figura 3.9).

El principal objetivo es mostrar la frecuencia relativa de las diferentes especies de plantas leñosas que fueron seleccionadas por los humanos para la quema en un entorno ecológico especifico. Así, permite visualizar información en sincronía (lectura horizontal, en el mismo nivel arqueológico o estructuras) y en diacronía (lectura vertical, a lo largo de la secuencia). Por una parte, la **lectura horizontal** del diagrama indica las proporciones relativas de cada especie en relación con el número total de fragmentos analizados en un nivel arqueológico. Por otra parte, la **lectura vertical** (de abajo a arriba), o diacrónica, permite interpretar la variación de cada especie a lo largo de la secuencia temporal de un yacimiento arqueológico. Mediante la diacronía, es posible observar cambios en las pautas de uso de los recursos vegetales leñosos a lo largo del tiempo, así como la transformación del paisaje vegetal local.

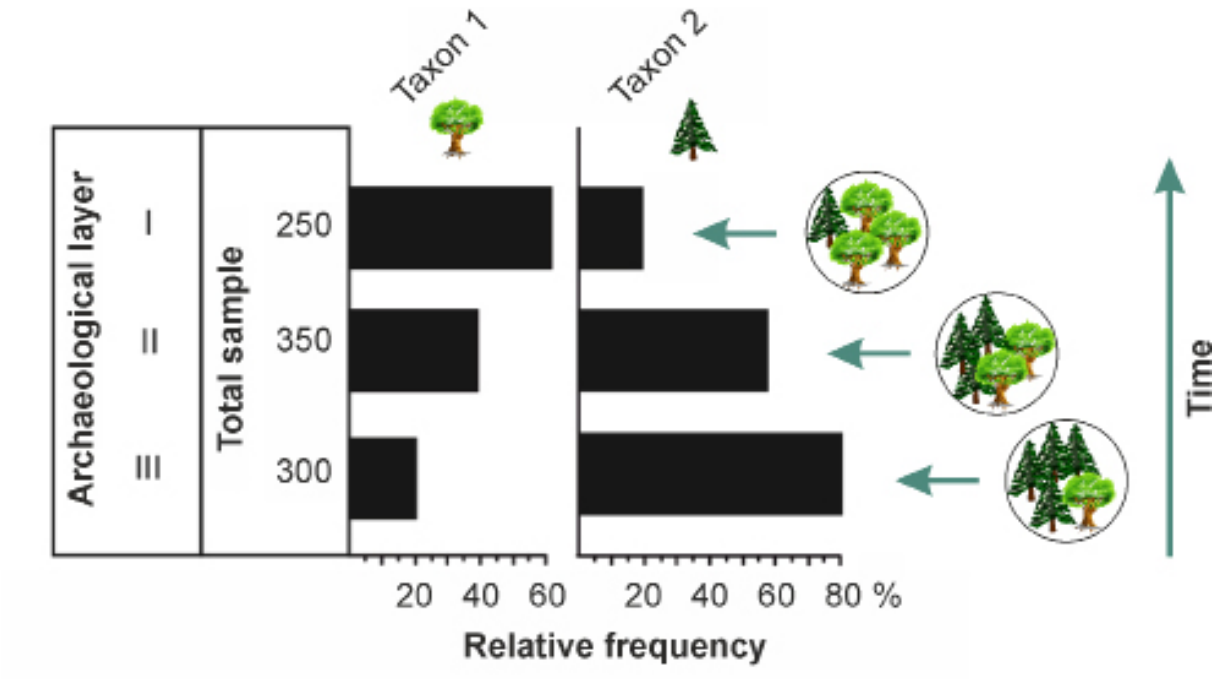


Figura 3.9. Ejemplo de lectura de un diagrama antracológico

3.1.10. Recopilación de datos antracológicos

El **vaciado bibliográfico** es una herramienta clave en la recopilación de datos, que ha resultado fundamental para esta tesis doctoral. Para ello, diseñamos una hoja de cálculo de Excel para almacenar y organizar los datos recopilados (Figura 3.10).

Para la revisión y posterior almacenamiento de datos antracológicos, aplicamos dos criterios fundamentales en su selección. En primer lugar, para evitar un sesgo estadístico, solo consideramos estudios con más de 30 fragmentos de carbón identificados por nivel arqueológico, estructura y/o unidad estratigráfica. En segundo lugar, de entre los contextos de un mismo yacimiento arqueológico con dataciones del mismo periodo crono-cultural, solo incluimos aquellos que han identificado un mayor número de taxones. Asimismo, en la década de 1990, se utilizaron algunas categorías taxonómicas de especies que no se usan en la actualidad (por ejemplo, Heinz y Vernet, 1995; Ros, 1996, 1998). Por ello, hemos actualizado y homogeneizado la información taxonómica a fin de asegurar que nuestra investigación sea coherente con las categorías taxonómicas actuales. Por ejemplo, clasificamos como Rosaceae/Maloideae a los taxones *Crataegus* sp., *Amelanchier ovalis*, *Sorbus*

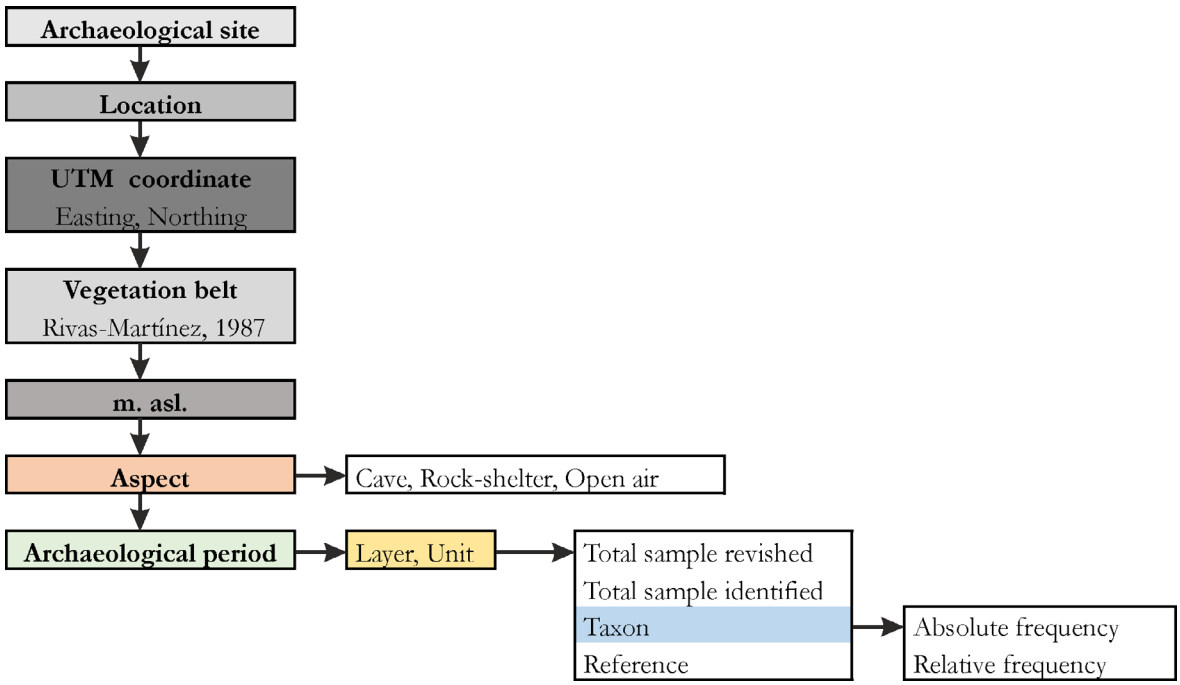


Figura 3.10. Mapa conceptual de la base de datos con la recopilación de datos antracológicos publicados en otros trabajos, que se enmarcan junto a nuestras investigaciones tanto en cronología como en área de estudio.

sp. y *Malus sylvestris*, ya que generalmente este es el nivel de identificación más común. De la misma manera, la similitud anatómica de las especies del género *Quercus* hacen difícil su identificación taxonómica a nivel de especie. Por lo tanto, los robles y las encinas de la región submediterránea a menudo se agrupan en dos categorías: *Quercus* sp. de hoja perenne (incluyendo *Quercus ilex/coccifera*) (Uzquiano et al., 2016) y *Quercus* sp. caducifolios (incluyendo *Quercus faginea, Q. pubescens* y *Q. pyrenaica*). Finalmente, *Pinus mugo* subsp. *uncinata* solo se identificó en el conjunto holoceno de Balma Margineda (Heinz y Vernet, 1995), por lo que, al igual que en los niveles magdalenienses y epipaleolíticos de Cova del Parco, hemos incluido esta especie en la categoría de *Pinus* tipo *sylvestris*. En el resto de los yacimientos, la categoría *Pinus* tipo sylvestris incluye a las especies *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* subsp. *salmannii*.

Finalmente, también usamos este fichero para clasificar los diferentes tipos de paisaje que podrían haber explotado los grupos humanos durante el Neolítico, basándonos en la asociación (similitudes y diferencias) de las frecuencias relativas de los taxones leñosos (Mas et al., 2023; Capítulo VIII). Para ello, realizamos un **análisis de agrupamiento** utilizando la métrica de **distancia de Manhattan**, mediante el paquete stats (v. 4.4.2) del software R (R Core Team, 2021).

3.2. Análisis espacial *intra-site*

El análisis espacial *intra-site* se refiere a la utilización de técnicas matemáticas y herramientas estadísticas de análisis **geoespacial** (Conolly y Lake, 2006; Gillings et al., 2020) que, desde la perspectiva arqueológica, permite analizar la distribución y la relación de los elementos (=datos) arqueológicos dentro de un yacimiento específico (Wheatley y Gillings, 2002). En esta sección, presentamos los diferentes procesos, métodos y técnicas estadísticas de análisis espacial *intra-site* que hemos aplicado en el estudio espacial de los fragmentos de carbón del nivel A de Molí del Salt (Mas et al., 2021; Capítulo V) y en los niveles III, II y Ib-Ic de Cova del Parco (Capítulo VI).

El software SIG vehicular consiste en el programa ArcGIS (v. 10.4.1), desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute), que permite la visualización, manipulación y análisis de datos, mediante

el uso de una serie de **herramientas geoestadísticas** que se detallan en los siguientes subapartados. A través del estudio espacial de los fragmentos de carbón, nuestra investigación busca comprender cómo los grupos humanos durante el Magdaleniense y el Epipaleolítico organizaron el espacio de los asentamientos entorno a los hogares, y en qué localizaciones fueron utilizadas ciertas especies vegetales leñosas como combustible.

3.2.1 Escenario: la cuadrícula arqueológica

La cuadrícula arqueológica es para el análisis de distribución espacial *intra-site* el **escenario** de análisis, esto es, un espacio finito dónde se localizan y se relacionan los materiales arqueológicos.

La metodología de excavación arqueológica que hace uso de la cuadrícula se conoce como excavación sistemática (Laplace, 1971; Renfrew y Bahn, 1993). La cuadrícula arqueológica es un sistema de medición para ordenar y registrar la posición precisa de los materiales arqueológicos, estructuras y otras evidencias dentro de un yacimiento. Esta herramienta plantea un enfoque estructurado y planificado para la excavación arqueológica, que consiste en dividir un yacimiento arqueológico en una serie de cuadrados organizados en filas y columnas (de manera general, cada cuadro parte de unas medidas de 1 m^2). Así, cada cuadro se individualiza y se numera mediante números y letras, que se ordenan de manera secuencial en dirección norte (geológico o relativo arqueológico), respecto al punto 0 del yacimiento. La cuadrícula arqueológica se basa en el sistema de coordenadas cartesianas, done dos ejes (X "norte-sur" e Y "este-oeste") permiten registrar la distancia (cm) en la que se localiza el registro arqueológico en relación con el origen del cruce del eje inferior izquierdo del cuadro en el que se ciñe (X=0, Y=0 cm). Por otra parte, la profundidad (Z) se registra en cada elemento coordenado, ya sea con relación al punto Z topográfico, que se refiere a la altitud del punto en metros respecto al nivel del mar, o en relación con el punto Z relativo, que es un punto de referencia establecido para el yacimiento en cuestión.

Las cuadrículas arqueológicas de los yacimientos Molí del Salt (Mas et al., 2021; Capítulo V) y Cova del Parco (Capítulo VI) se recrearon mediante el software ArcMap (v. 10.4.1) de ArcGis, a partir de la herramienta *Crear Red*. Cada yacimiento requirió un

proyecto nuevo, que parte del sistema de coordenadas proyectadas GCS_WGS_1984. A partir del dibujo técnico de la planta de cada yacimiento (visión horizontal), se creó una red de celdas rectangulares de 1m^2, con geometría de salida a entidades de polígono, con el punto de coordenada 0,0 localizado en el eje inferior izquierdo del último cuadrado inferior izquierdo de la cuadrícula. Seguidamente, se recrearon los límites de las paredes del yacimiento, a partir de un archivo vectorial (.shp) de entidad poligonal. Este paso requiere la previa georreferenciación del dibujo técnico de la planta respecto a la cuadrícula arqueológica recreada en el proyecto de ArcMap. El vector poligonal que recrea la pared que limita la cuadrícula de excavación se usó, posteriormente, para recortar los límites de la cuadrícula, mediante la herramienta *Cortar polígonos*. Con este proceso, se obtiene la dimensión precisa de la cuadrícula arqueológica real, puesto que algunos cuadros arqueológicos se recortan por la propia geomorfología del yacimiento (Figura 3.11).

3.2.2 Base de datos

Es esencial una correcta preparación y documentación de los datos arqueológicos antes de su análisis espacial para una eficaz gestión, interpretación y su posible reutilización. La base de datos utilizada para el estudio espacial de los fragmentos de carbón tomó como punto de partida la base de datos obtenida durante el análisis antracológico (.csv). No obstante, la base de datos requirió la transformación de las coordenadas cartesianas X e Y de cada fragmento, y su posterior conversión a archivo vectorial.

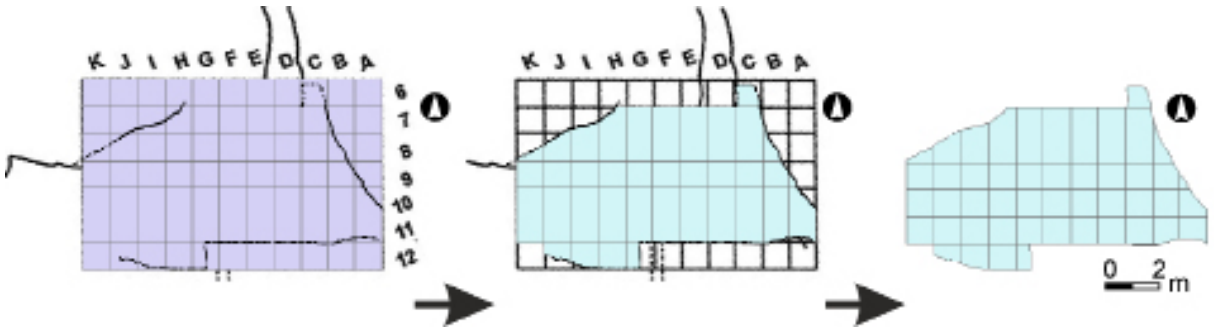


Figura 3.11. Representación esquemática de los pasos a realizar en un proyecto de ArcMap para recrear la cuadrícula arqueológica de un yacimiento, a partir del dibujo técnico de la planta. El dibujo técnico pertenece al dibujo técnico de la planta de Cova del Parco (Mangado et al., 2015).

Como se ha explicado en la sección anterior (3.1.1.), la estrategia de recuperación de los fragmentos de carbón fue distinta para ambos yacimientos. Así, en Cova del Parco, los fragmentos de carbón se recuperaron manualmente, mientras que en Molí del Salt se recuperaron a partir del método de la flotación manual. La diferencia entre ambas estrategias de recuperación del registro antracológico requirió la aplicación de dos técnicas distintas para la correcta localización de los fragmentos dentro del escenario de ArcGis. La técnica utilizada en Cova del Parco consistió en la transformación manual del registro de coordenadas, mientras que en Molí del Salt se utilizó la herramienta *Crear puntos aleatorios* de ArcMap. Estas dos técnicas nos permitieron **trasladar espacialmente** los fragmentos de carbón dentro de las cuadrículas arqueológicas correspondientes, así como traspasar toda la información de la base de datos antracológica al proyecto de ArcMap.

En el yacimiento arqueológico de Cova del Parco, se registraron las coordenadas de cada fragmento de carbón de manera manual durante los trabajos de campo, desde un punto de referencia (0,0) dentro de cada cuadro arqueológico de $1m^2$. Esto significa que todos los fragmentos tienen valores de coordenadas entre 0 y 100 cm, tanto en el eje X como en el eje Y, independientemente del cuadro de procedencia. Para poder redistribuir correctamente estos fragmentos en la cuadrícula de ArcMap, utilizamos la siguiente fórmula para cada coordenada:

$$(X/100)+xq = \text{coord-x}$$

$$(Y/100)+yq = \text{coord-y}$$

en el que X e Y representan el número de coordenada real de los ejes X e Y, que fueron registrados durante los trabajos de excavación, los valores xq e yq representan el valor del eje X, Y (inferior izquierdo) de cada cuadro respecto a la cuadrícula total, y en el que coord-x y coord-y representan al valor de las nuevas coordenadas.

A modo de ejemplo, la Figura 3.12 muestra un esquema para la aplicación de las fórmulas en relación con una cuadrícula arqueológica. En el ejemplo que mostramos, el cuadro J1 se aplicaría el valor 0 a xq y 0 a yq. En el cuadro I5 se aplicaría el valor 4 a xq y 1 a yq. En el cuadro D10 se aplicaría el valor 9 a xq y 6 a yq, etc.

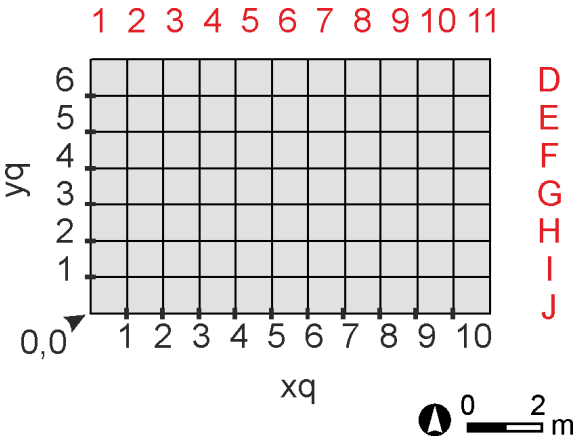


Figura 3.12. Esquema de la aplicación de los valores xq e yq para la conversión de coordenadas X e Y para la redistribución de los elementos coordenados dentro del escenario de ArcMap. En rojo, se ejemplifican los nombres de los cuadros arqueológicos, en negro, los valores de xq e yq.

En Molí del Salt, en cambio, cada fragmento de carbón se registró espacialmente mediante el cuadro de procedencia y el rango de profundidades, puesto que los fragmentos de carbón se recuperaron mediante la técnica de flotación manual. Por ello, el uso de la herramienta *Crear puntos aleatorios* permitió la creación de entidades (=fragmentos de carbón) coordenadas, ceñidas al recuento de fragmentos de cada cuadro arqueológico y según el rango de cotas. Finalmente, mediante la herramienta *Unir tablas*, se relacionó cada punto aleatorio creado con la información de los fragmentos de carbón de la base de datos (.csv), permitiendo la conversión y posterior vectorización de la base de datos de Excel a entidades de puntos (.shp).

3.2.3. Análisis estadísticos

En el presente subapartado se describen los diferentes análisis estadísticos que se han utilizado con distintas herramientas geoestadísticas incluidas en el software ArcMap (v. 10.4.1). Estos análisis se realizaron sistemáticamente en los trabajos de los yacimientos Molí del Salt (Mas et al., 2021; Capítulo V) y Cova del Parco Capítulo VI).

Cada análisis estadístico se realizó en un escenario específico, la cuadrícula arqueológica del yacimiento en cuestión, y los datos tratados consistieron en ambos conjuntos antracológicos, que fueron previamente vectorizados (.shp).

Cálculo de densidad de fragmentos de carbón

La **densidad de Kernel** (Rosenblatt, 1956) es un estimador que adopta un enfoque no paramétrico de los datos para la formulación de funciones de densidad. El enfoque no paramétrico de este estimador resulta ventajoso, puesto que no requiere de suposiciones previas sobre la forma de la distribución de los datos, lo que lo hace útil en situaciones en la que el registro constituye un conjunto sesgado

(Rosenblatt, 1956). Este método permite analizar, describir y visualizar la distribución de un conjunto de datos, especificando dónde se localizan la o las concentraciones de éstos en una zona delimitada (Baxter et al., 1995) (Figura 3.13).

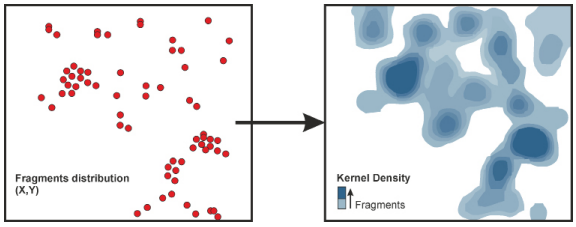


Figura 3.13. Esquema sobre como ejecutar e interpretar el estimador de densidad de Kernel.

Realizamos el análisis de densidad de Kernel de los restos antracológicos mediante la herramienta *Densidad de puntos*, usando el vector poligonal que representa la cuadrícula arqueológica (subapartado 3.2.1). La herramienta se basa en la creación de una malla sobre el área de estudio (cuadrícula arqueológica) y en la asignación de un valor de densidad de cada celda de la malla, que se basa en la cantidad y distribución de los puntos dentro de la celda. Como resultado, elabora un mapa de calor con tonalidades degradadas de claras (menos densidad) a oscuras (más densidad). En nuestras dos investigaciones, utilizamos dos tipos de puntos para analizar la densidad de Kernel: fragmentos de carbón (un fragmento, un punto) y taxones vegetales leñosos (un taxón, un punto). Los fragmentos de carbón permiten entender las densidades de fragmentos y en qué zonas del yacimiento se concentran, permitiendo comparar distintas áreas de actividad humana. Por otro lado, los taxones vegetales leñosos identificados nos ayudan a observar si ciertos taxones se distribuyen de manera específica en determinadas localizaciones.

Patrones de distribución de los taxones vegetales leñosos

El estudio sobre los patrones de distribución de los taxones vegetales leñosos en el nivel A de Molí del Salt requirió la utilización de técnicas específicas que no aplicamos en Cova del Parco, tales como el algoritmo K-means (Kintigh y Ammerman, 1982) y el algoritmo de Vecindad multivariante (Clarke y Evans, 1955) con el índice I de Moran (Getis y Ord, 1992). Si bien es cierto que la visualización de la distribución de la densidad en un mapa permite identificar agrupaciones evidentes, estas no se observaron claramente definidas en el nivel A de Molí del Salt. Esto se debe a que, aunque manteniendo el número de taxones y fragmentos en cada cuadro y

respetando el rango de profundidades, las coordenadas fueron generadas al azar. Estas tres técnicas estadísticas ayudaron a procesar y limpiar los datos, reduciendo la variabilidad no deseada. Esto resultó en una representación más precisa de los fragmentos de carbón en el nivel A, mejorando la interpretación de los resultados.

K-means (Kintigh y Ammerman, 1982) es un algoritmo de agrupamiento que permite dividir un conjunto de puntos en grupos estandarizados. Estos grupos son determinados mediante la minimización de la distancia euclidiana entre los puntos y el centroide (o punto medio) de cada grupo. La herramienta *Análisis de agrupamiento* permite generar y evaluar el número óptimo de grupos estandarizados de un conjunto de datos, y especifica si y de qué manera las relaciones espaciales entre los puntos deben restringir los grupos creados.

Obtenidos los grupos de taxones estandarizados con la aplicación del algoritmo K-means, aplicamos el algoritmo de **Vecindad multivariante** (Clarke y Evans, 1955) con el **índice I de Moran** (Getis y Ord, 1992). La herramienta *Autocorrelación espacial (I Moran)* integra las dos técnicas, que analizan las relaciones espaciales de un conjunto de entidades (puntos), y evalúan si el patrón de distribución expresado está agrupado, disperso o aleatorio. Cuando el valor **p** indica una significancia estadística (en estadística, si se debe o no rechazar la hipótesis nula), un valor positivo de la puntuación **Z** del índice I de Moran indica una tendencia hacia el agrupamiento, mientras que un valor negativo de la puntuación **Z** del índice indica una tendencia a la dispersión (Figura 3.14).

Para esta herramienta, la hipótesis

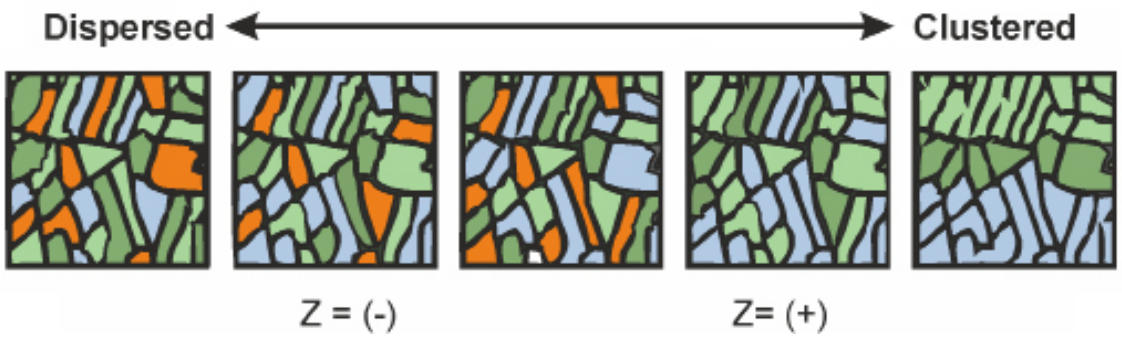


Figura 3.14. Esquema tipo de agrupamiento según el índice I de Moran.

nula establece que el conjunto se distribuye de manera aleatoria. Esta herramienta se usó para analizar los patrones de distribución de los taxones *Pinus* tipo *sylvestris*, *Juniperus* sp. y *Prunus* sp., puesto que fueron los taxones más abundantes y representativos del nivel A.

Relaciones verticales de los taxones: seccionando palimpsestos

Para observar la relación en la distribución vertical de los taxones leñosos, esto es, a lo largo de la potencia de cada nivel arqueológico analizado, se emplearon **gráficos de dispersión**, mediante el paquete ggplot2 (v. 3.3.5) (Wickham, 2016) del software R, desarrollado por R Core Team (2021).

El gráfico de dispersión es una herramienta estadística que se utiliza para representar la relación entre dos variables numéricas (coordenadas X y Z). Se representa mediante un conjunto de puntos en un plano cartesiano, donde cada punto representa los dos valores de las dos variables. Esto permite visualizar la relación entre las dos variables y detectar patrones o tendencias en la distribución de los datos.

3.3. Modelado de Nichos Ecológicos

Un Modelo de Nicho Ecológico (ENM) es una técnica estadística utilizada en biología para analizar la distribución de especies en el medio ambiente (Hutchinson, 1957). Se basa en el mecanismo sobre el cual una especie se desarrolla en un nicho ecológico fundamental o hábitat adecuado, que se define como un conjunto de condiciones ambientales que confluyen en un espacio geográfico, y que son óptimas para la supervivencia y reproducción del individuo (Sillero et al., 2021). Estos datos se relacionan con la presencia o la abundancia de la especie en un lugar determinado. La finalidad del ENM es entender **los factores** que influyen en la **distribución geográfica** de una especie, y los modelos permiten explorar cómo estos factores varían a lo largo del tiempo en la misma región o diferentes regiones del mundo, prediciendo la respuesta de la especie a estos escenarios (Guisan y Thuiller, 2005; Merow et al., 2013; Guisan et al., 2017).

En nuestra investigación (Capítulo VIII) modelamos el ENM de dos taxones arbóreos dominantes en dos tipos de paisajes

mediterráneos actuales: *Quercus pubescens* Willd. (roble pubescente) y *Quercus ilex* subsp. *ilex* (encina), en el escenario climático actual de la península ibérica. En cuanto a proyección a un escenario climático pasado, utilizamos la predicción de la respuesta de ambas especies y las proyectamos al escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la región (Figura 3.15).

3.3.1. MaxEnt

MaxEnt (Máxima entropía) es un software de análisis predictivo y de código abierto, desarrollado por el equipo de Steven Phillips, del Centro de Biodiversidad y Conservación del Museo de Historia Natural Americano (AMNH) (Phillips et al., 2006). MaxEnt es un algoritmo de aprendizaje automático utilizado para modelar y predecir la distribución

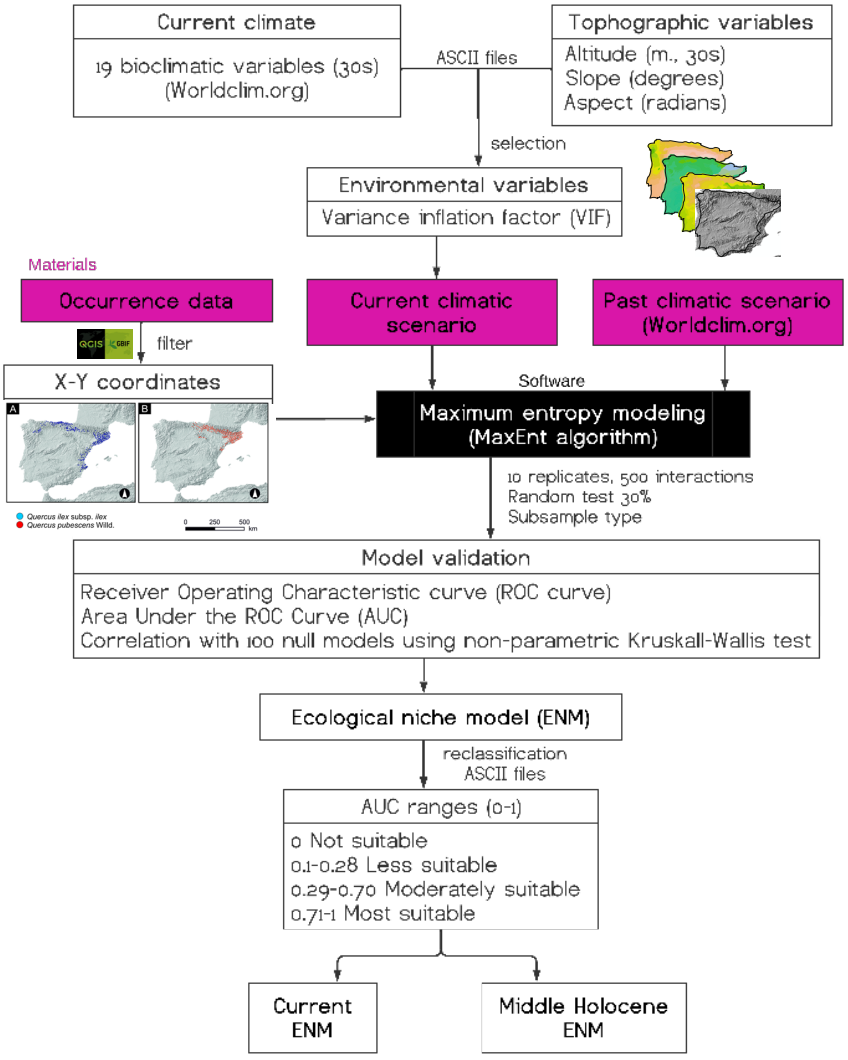


Figura 3.15. Esquema conceptual del proceso metodológico para la obtención de los modelos actuales y predichos de nicho ecológico (ENM) con MaxEnt (algoritmo de Máxima Entropía).

geográfica de especies (Phillips et al., 2006, 2008; Elith et al., 2006; Elith y Leathwick, 2009), que utiliza el principio de la **máxima entropía** para construir un modelo estadístico que se ajusta a un conjunto de puntos de observación de especies (Phillips et al., 2004). Esto es, a partir de unas coordenadas, estima la probabilidad de la presencia de una especie en un lugar determinado en función de las características ambientales (climáticas y territoriales) presentes en esa área (Phillips et al., 2006, 2009, 2017; Dudík et al., 2007; Phillips y Dudík, 2008; Guillera-Arroita et al., 2015).

Para calcular los dos ENM, usamos el software gratuito MaxEnt (v.3.4.4) (Phillips et al., 2006). MaxEnt estima el rango de distribución de una especie mediante la restricción de los valores esperados de cada píxel de las variables ambientales (variables bioclimáticas y variables territoriales). El algoritmo asigna pesos a cada variable y estima la distribución de probabilidad a través de la suma de las variables ponderadas. Finalmente, la distribución de probabilidad se normaliza para garantizar que los valores oscilen entre 0 y 1 (Phillips et al., 2006).

Los resultados de los ENM se observan a partir de los **mapas de sujeción** generados por MaxEnt, que son mapas que muestran la idoneidad del hábitat (o hábitat adecuado) para una especie determinada. En estos mapas, las áreas con un alto valor de idoneidad (1) se consideran como las áreas más propensas a ser habitadas por la especie en cuestión, mientras que las áreas con un bajo valor de idoneidad se consideran como menos propensas a ser habitadas, siendo el valor 0 como hábitat no adecuado.

3.3.2. Ocurrencia de especies

Los datos de ocurrencia se refieren a conjuntos de coordenadas (X-Y) donde una especie ha sido observada. Descargamos los puntos de localización de la base de datos del complemento GBIF Occurences (v. 0.3.2) de QGIS (v. 3.31) para obtener las coordenadas de las dos especies modeladas en los límites geográficos de la península ibérica. La base de datos indicaba un total de 3.308 ocurrencias de *Quercus ilex* subsp. *ilex* y 6.739 de *Quercus pubescens* Willd. Basándonos en los trabajos de Hirzel y Guisan (2002) y Hijmans (2012) para obtener una muestra óptima y para reducir los posibles sesgos de localización, aplicamos filtros para reducir los conjuntos de datos, como la **eliminación manual** de las

ocurrencias de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*, la **eliminación de duplicados y valores atípicos**, y **estandarización** las ocurrencias a mallas de 10 km^2 para obtener una muestra homogénea. Para ello, utilizamos los paquetes rgdal (v. 1.6-2) (Bivand et al., 2022) y ecospat (v. 3.4) (Di Cola et al., 2017) del software R (R Core Team, 2021). En total, obtuvimos 298 ocurrencias de *Quercus pubescens* Willd. y de 288 de *Quercus ilex* subsp. *ilex*, que seleccionamos para el cálculo de ambos ENM.

3.3.3. Selección de variables ambientales

Para generar los modelos de nichos ecológicos (ENM), utilizamos variables bioclimáticas actuales obtenidas de los mapas ráster del proyecto Worldclim.org (Fick y Hijmans, 2017). De las 19 variables disponibles, excluimos las variables bio3 'Isotermia (bio2/bio7) (x100)', bio14 'Precipitación del mes más húmedo' y bio15 'Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)', ya que presentan sesgos al ser proyectadas a escenarios climáticos (Bedia et al., 2013).

Asimismo, generamos tres variables geográficas (elevación, pendiente y aspecto) utilizando un modelo digital de elevación (DEM) de la península ibérica mediante el uso del software ArcGis (v. 10.4.1). Para el cálculo de la variable geográfica de pendientes, consideramos las recomendaciones de Sillero y colaboradores (2021) de recalcular los valores del ráster en radianes (amplitud de ángulos) mediante la herramienta *Calculadora ráster*.

Todas las variables bioclimáticas y geográficas se encontraban en formato GeoTIFF con una resolución de 0.86 km^2 (30 segundos). Debido a que el software MaxEnt solo procesa ficheros en formato ASCII, fue necesario transformar el tipo de fichero de ráster a ASCII.

Para evaluar la relación entre las variables ambientales, aplicamos **coeficientes de correlación** tanto paramétricos (Pearson) como no paramétricos (Kendall y Spearman) (Field et al., 2012). Las variables ambientales correlacionadas influyen negativamente al modelo, por lo que únicamente deben seleccionarse las variables cuyos valores de datos no estén correlacionados entre sí (Sillero et al., 2021). También nos apoyamos en **el factor de inflación de la varianza** (VIF), que nos permitió determinar la multicolinealidad o dependencia mutua entre las variables menos correlacionadas (Sillero et al., 2021). Para

ello, usamos los paquetes raster (v.3.5-29) (Hijmans, 2022), usdm (v. 1.1-18) (Naimi et al., 2014) y ggplot2 (v.3.3.5) (Wickham, 2016) del software R. Siguiendo la recomendación de varios autores (Bedia et al., 2013; Braunisch et al., 2013; Merow et al., 2013; Sillero et al., 2021, 2023) seleccionamos las variables menos dependientes entre sí, esto es, con un valor de correlación del índice VIF menor a 3:

1) bio4, 'Estacionalidad de la temperatura', que indica la variación de la temperatura a lo largo de un año basada en la desviación estándar *100 de las medias mensuales de temperatura (grados centígrados).

2) bio8, 'Temperatura media del trimestre más húmedo', un índice trimestral de las temperaturas medias que se producen durante la estación más húmeda (grados centígrados).

3) bio9, 'Temperatura media del trimestre más seco', un índice trimestral que se aproxima a las temperaturas medias que se producen durante el trimestre más seco (grados centígrados).

4) bio13, 'Precipitación del mes más húmedo', el índice que identifica la precipitación total que ocurre durante el mes más húmedo (milímetros).

5) bio19, 'Precipitación del trimestre más frío', un índice trimestral que indica la precipitación total que ocurre durante el trimestre más frío (milímetros).

6) Pendiente de la península ibérica (valores en radianes).

Finalmente, el modelo de MaxEnt permite proyectar un nuevo conjunto de variables ambientales, esta vez utilizando un marco temporal diferente (el Holoceno medio) y, por lo tanto, un rango distinto de valores para cada variable. Para lograr esto, descargamos las cinco variables bioclimáticas para el escenario climático del Holoceno medio del conjunto CCSM4 (National Center for Atmospheric Research, EE. UU.) de la página web Worldclim.org (Fick y Hijmans, 2017), el cual se considera como uno de los archivos de datos más precisos para la región mediterránea (McSweeney et al., 2015).

3.3.4. Cálculo y validación de los modelos

MaxEnt es capaz de generar una proyección detallada de la idoneidad del hábitat de las especies en un marco temporal específico y, para nuestra investigación, generamos el

modelo de distribución del hábitat adecuado actual de los dos taxones arbóreos, dentro de los límites geográficos de la península ibérica, y usamos las variables bioclimáticas y las ocurrencias de ambas especies, que se han detallado en los anteriores apartados.

Para llevar a cabo el análisis, ejecutamos 10 réplicas de ambos modelos de distribución de especies (ENM), en las cuales configuramos un máximo de 500 iteraciones y utilizamos un método de submuestreo. El submuestreo consistió en un 30% de ocurrencias de especies aleatorias para ser utilizadas como datos de prueba, con el objetivo de evaluar la precisión del modelo. También especificamos en MaxEnt la prueba de **umbral binomial probabilístico** con función **clog-log** (Phillips et al., 2017), que convierte la probabilidad de presencia de una especie en una escala logarítmica, y que tiene como objetivo encontrar un punto de corte que maximice la sensibilidad (verdaderos positivos) y la especificidad (verdaderos negativos) del modelo, lo que resulta en una mejor precisión de las predicciones de distribución de la especie.

Recientemente, se ha discutido el uso de varias técnicas para la evaluación estadística de los modelos de distribución de especies generados (Elith et al., 2006, 2011; Lobo et al., 2008; Hijmans, 2012; Sillero et al., 2021, 2023). Por ello, utilizamos distintos métodos para evaluar y comparar los resultados de nuestros modelos MaxEnt, puesto que MaxEnt utiliza el enfoque de **presencia-fondo** del área (Elith et al., 2011), que es una metodología utilizada para generar modelos de distribución de especies en la cual solo se utilizan datos de presencia de una especie (donde se ha observado) y no se utilizan datos de ausencia (donde no se ha observado).

En primer lugar, evaluamos la precisión de los dos modelos actuales mediante la **curva ROC** (Característica operativa del receptor) y el **valor AUC** (Área bajo la curva) (Phillips et al., 2006; Peterson et al., 2008), ambas técnicas disponibles en el software MaxEnt. La curva ROC es un gráfico que muestra la relación entre la tasa de verdaderos positivos (TPR) y la tasa de falsos positivos (FPR) en diferentes umbrales de probabilidad (Hanley y McNeil, 1982). El AUC es al área bajo la curva ROC, y es una métrica comúnmente utilizada como medida resumida de la capacidad de un ENM para distinguir entre las áreas ocupadas y las

no ocupadas por una especie (Peterson et al., 2015). El AUC cercano a 1 indica un buen rendimiento del modelo, mientras que un AUC cercano a 0 indica un rendimiento pobre del modelo.

En segundo lugar, generamos ambos ENM especificando en el programa MaxEnt el método de validación de la **prueba jackknife** (n-1) (Pearson et al., 2007; Warren y Seifert, 2011), que es un método de validación cruzada que se utiliza para evaluar la robustez y la precisión del modelo, con el objetivo de determinar si la exclusión de ciertos puntos de datos afecta significativamente a la precisión del modelo. La técnica consiste en entrenar el modelo varias veces (10 veces), cada vez excluyendo uno o más puntos de datos y evaluando la precisión del modelo en estos puntos excluidos.

Por último, basándonos en lo descrito en Sillero y colegas (2021), calculamos 100 **modelos nulos** para cada taxón para comparar las métricas de evaluación (valor AUC) entre nuestros modelos reales y los modelos nulos utilizando la **prueba t** (prueba ANOVA si las variables resultaban paramétricas y la prueba de Kruskal Wallis si las variables resultaban no paramétricas) (Field et al., 2012). Esto fue necesario porqué en los métodos de presencia-fondo, las métricas son relativas y no absolutas (las ausencias no están disponibles) (Bohl et al., 2019). Para ejecutar los 100 modelos nulos y comparar estadísticamente las métricas de evaluación de los modelos reales de Maxent y los modelos generados aleatoriamente, usamos los paquetes dismo (v. 1.3-5) (Hijmans et al., 2021), sp (v. 1.4-6) (Pebesma y Bivand, 2005), rgdal (v. 1.6-2) (Bivand et al., 2022), raster (v. 3.5-29) (Hijmans, 2022) y rJava (1.0-6) (Urbanek, 2021) del software R (R Core Team).

3.3.5. Presentación de resultados y proyecciones de las respuestas

El software MaxEnt presenta los datos en un informe ".html", ilustrando los resultados en gráficos, mapas y tablas que incluyen la información de los estimadores descritos en la subsección anterior (3.3.2), y que resultan necesarios para la identificación y análisis de influencia, contribución y relaciones entre las variables ambientales usadas en los modelos.

MaxEnt presenta los **mapas de distribución** del hábitat adecuado de especies, o nicho ecológico fundamental, en forma de mapas

de calor, donde cada píxel representa una estimación de la probabilidad de presencia de la especie en esa ubicación (AUC). Las áreas de mayor probabilidad se muestran en tonos más intensos de un color determinado, mientras que las áreas de menor probabilidad se muestran en tonos más claros o en color azul. Estos mapas de idoneidad del hábitat pueden ser exportados y usados en otros programas de análisis de datos y cartografía. En este trabajo, exportamos los dos ENM actuales a ArcGis, transformando previamente el formato ".mxe" a ráster, para sobreponer otras capas de información que permitieron contextualizar la distribución del hábitat idóneo de los dos taxones modelados en la península ibérica.

MaxEnt también ofrece gráficos de las **curvas de respuesta marginal**, que ilustran como la especie modelada se acerca a los valores de las variables ambientales (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). Cada curva de respuesta marginal ilustra el impacto de un factor ambiental sobre la probabilidad de presencia de una especie, sin tener en cuenta las otras variables ambientales consideradas para el modelo. Estos gráficos resultan útiles para **visualizar la relación** entre la presencia de una especie y las condiciones ambientales en un lugar determinado, facilitando la identificación de **los rangos de valores** en los que la presencia de la especie es más probable (Merow et al., 2013). Sin embargo, es importante tener en cuenta que las curvas de respuesta marginal no consideran el efecto combinado de múltiples variables ambientales en la probabilidad de presencia de una especie (Elith et al., 2011). Por lo tanto, es necesario considerar el análisis de múltiples curvas marginales y de otros análisis para obtener una comprensión completa de la relación entre las condiciones ambientales y la distribución de una especie.

MaxEnt genera una tabla con los valores de los métodos **Porcentaje de contribución** e **Importancia de la permutación**. El porcentaje de contribución es el valor de la medida de la contribución relativa (%) de cada variable al modelo, que estima la cantidad de información que cada variable ha agregado al modelo. Con ello, se muestra que variables han sido las más relevantes para la distribución de la especie modelada. Asimismo, el valor de la importancia de la permutación mide la importancia de las variables basada en cómo el modelo se ha visto afectado por las modificaciones aleatorias de las variables. Este

método consiste en reordenar aleatoriamente los valores de una variable y calcular la reducción en la precisión del modelo, por lo que las variables con mayores reducciones en la precisión se consideran las más importantes.

Una vez obtuvimos y validamos los dos ENM actuales, **proyectamos las respuestas** de los dos taxones a un escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la península ibérica, en el que obtuvimos un mapa del hábitat idóneo **previsto** para cada taxón. Los valores de idoneidad predichos en cada píxel del mapa, que se basan en la probabilidad de ocurrencia de la especie (de 0 como no idóneo a 1 como máxima idoneidad), se reclasificaron en ArcGis con la herramienta *Reclasificar ráster*, en el que especificamos diferentes categorías de tipo de hábitat:

- Valor de píxel 0 como **No idóneo**
- Valores de píxel entre 0.01 y 0.28 como de **Idoneidad baja**
- Valores de píxel entre 0.29 y 0.70 como **Idoneidad moderada**
- Valores de píxel de >0.70 como **Idoneidad alta**

CAPÍTULO IV. Fichas descriptivas de los taxones vegetales leñosos identificados

4.1. Presentación de las fichas descriptivas

En este capítulo se presentan las fichas descriptivas de los taxones leñosos identificados en los conjuntos antracológicos analizados en el marco de la presente tesis doctoral. En primer lugar, las fichas incluyen información completa sobre la clasificación botánica de cada taxón. También, se proporciona un mapa con la distribución geográfica actual, con la finalidad de visualizar su presencia en diferentes áreas geográficas y comprender su distribución a nivel regional. Asimismo, se incluyen fotografías que, en aquellos casos en los que la identificación taxonómica se limita al género y a la familia, ilustran las posibles especies que crecen actualmente en el área de estudio. Además, se detallan las particularidades geográficas y ambientales en las que éstas se desarrollan. En las fichas, aunque con algunas excepciones por falta de información, se especifican los datos sobre el régimen térmico, como la temperatura media anual (TMA ºC), la temperatura media del mes más cálido (Tmc ºC) y la temperatura media del mes más frío (Tmf ºC), y sobre el régimen pluviométrico a través de la precipitación media anual (PMA mm). Estos datos nos permiten comprender mejor las preferencias y tolerancias ambientales de cada taxón, así como su adaptación a diferentes condiciones climáticas.

Otro aspecto incluido en las fichas es la descripción de los usos tradicionales de la madera. Así, se describen las diferentes aplicaciones y utilidades que las comunidades humanas han dado a estas especies a lo largo del tiempo, ya sea en la construcción, la fabricación de muebles, la obtención de combustible, alimento u otros usos específicos. Finalmente, las fichas incluyen una descripción detallada de los caracteres anatómicos diagnósticos de los tres planos anatómicos de la madera, que observamos durante la identificación taxonómica.

Para la elaboración de los mapas de distribución geográfica actual, utilizamos el plugin *GBIF occurrences* (versión 0.3.2) de QGIS (v. 3.14.1) (consulta en https://plugins.qgis.org/plugins/qgisgbifapi/). Para ello, establecimos los límites geográficos de la península ibérica a 45º-35º N, 10º O y 5º E (WGS_1984) y resaltamos los límites de las regiones biogeográficas mediante colores



Figura 4.1. Mapa base de las regiones biogeográficas de la península ibérica.

diferenciados (Figura 4.1).

Las fotografías, en su mayoría, son de propia autoría, aunque cuando no ha sido posible la identificación en campo de las especies, recurrimos a fuentes de información online de acceso abierto. Asimismo, para obtener las fotografías de los tres planos anatómicos de la madera, preparamos múltiples fragmentos de carbón para cada taxón, y se utilizó el **Microscopio Electrónico de Rastreo de presión ambiental** (ESEM FEI Quanta 600) del "Servei de Recursos Científics i Tècnics" de la Universitat Rovira i Virgili. No obstante, debido a varios impedimentos, no fue posible capturar imágenes de los tres planos anatómicos de todos los taxones. Por ejemplo, el tamaño reducido de algunos fragmentos no permitió montar la muestra adecuadamente, lo que dificultó la obtención de imágenes claras y precisas. Igualmente, la mala conservación de algunos fragmentos impidió su manejo bajo presión ambiental.

Finalmente, se detallan a continuación las diversas fuentes de información utilizadas para la elaboración general de las fichas descriptivas. Las referencias bibliográficas adicionales se especifican en cada ficha.

- La descripción de las características botánicas, ambientales y las generalidades de cada especie leñosa se basa en el atlas especializado del autor J. San Miguel

Ayanz y colaboradores (2016), así como en el manual botánico de O. Bolòs y colaboradores (1990), y en distintos manuales de campo (Panareda, 2008; Pascual, 2015) y cartográficos (Carreras y Ferré, 2014; Carreras et al., 2015).

- La descripción de los caracteres diagnósticos de los tres planos anatómicos se soporta de manuales especializados en anatomía de la madera de especies leñosas actuales, como el del autor F.H. Schweingruber (1990) y en los del autor L. García-Esteban y colaboradores (2002, 2003).

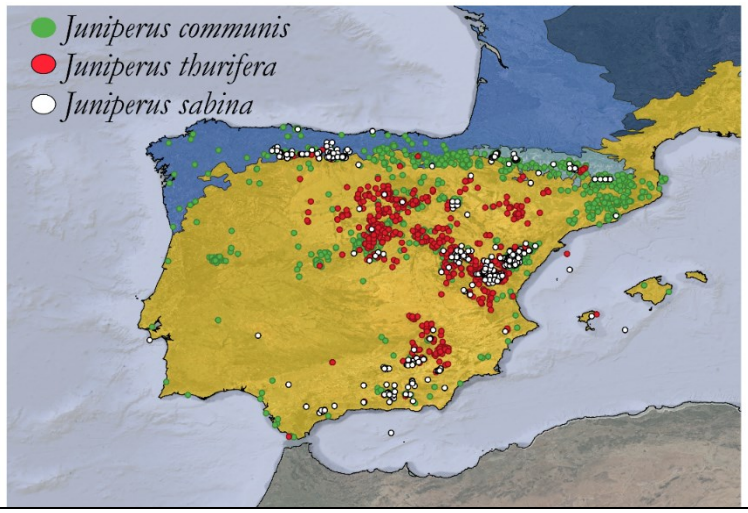
- La descripción de los usos tradicionales de las plantas se ha basado en el inventario de los conocimientos tradicionales de los editores M. Pardo de Santayana y colaboradores (2014).

4.2. Coníferas

4.2.1. *Juniperus* sp.

Nomenclatura	*Juniperus* sp.		
División	Pinophyta	**Familia**	Cupressaceae
Orden	Cupressales	**Género**	*Juniperus*
Especie/s	*Juniperus thurifera* L.*; Juniperus phoenicea* L.*; Juniperus oxycedrus* L.*; Juniperus communis; Juniperus sabina*		
Nombre cat/cast/ing	Savina; Ginebre bord; Ginebre roig; Ginebró; Sivina Sabina albar; Sabina negra; Broja; Enebro común; Sabina Incense juniper; Phoenician juniper; Prickly; Common juniper		

Distribución actual *J. communis*, *J. thurifera* y *J. sabina*



Fotografía de especies

Juniperus communis





Juniperus thurifera

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto, arbolillo	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	No dominante, dominante
Hábitat	Bosques y matorrales mesófilos a hidrófilos de coníferas		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Mediterránea	**Altitud msnm**	(100)450 – 2.000
TMA (ºC)	7.5 a 14	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	24-34 / -4.5-0.5	**PMA (mm)**	300-400
Régimen Térmico	Microterma	**Pluviometría**	Xerófila
Estratos	De neutros a ácidos, de textura arenosa hasta arcillosa.		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

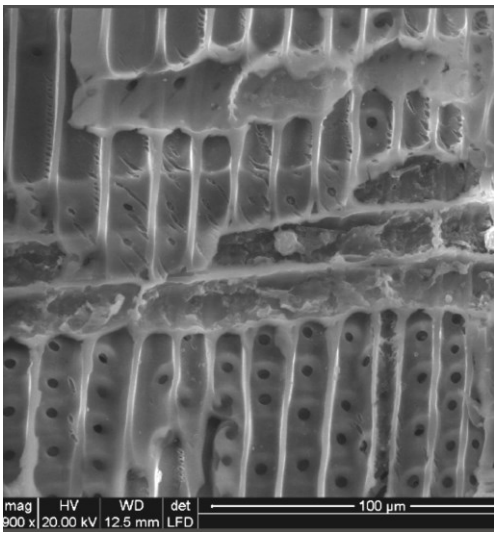
Juniperus communis contiene diferentes aceites esenciales en sus ramas, hoyas y bayas. Tradicionalmente, los aceites han sido usados como remedio diurético (Charles, 2012) y las bayas para aromatizar bebidas alcohólicas, especialmente para la elaboración de la ginebra. Las ramas de *Juniperus thurifera* son consideradas de buen forraje para las ovejas, especialmente durante los inviernos. No obstante, resulta una planta tóxica en general. La madera es homoxila, considerada de buena calidad en su uso como leña, que resulta muy aromática para cocinar. La corteza se ha empleado para encender el alumbre o para encandelar.

DESCRIPCIÓN

El género *Juniperus* es polimórfico, por lo que abarca gran cantidad de especies leñosas simpátricas, principalmente arbustivas (Amaral, 1986). La distribución del género es amplia, desde los 100 a 2.000 m. s.n.m. *J. communis* es una especie eurosiberiana arbustiva que puede desarrollarse como un pequeño arbolillo muy ramificado, de follaje perennifolio. Se desarrolla en suelos ácidos, calizos y pobres en nutrientes, por lo que resultan buenos pioneros para colonizar, especialmente, los suelos pobres y descubiertos (Badal et al., 2012). Por otra parte, suele ocurrir en el sotobosque de pinares montanos. Es una especie heliófila, por lo que requiere de mucha luz directa para su desarrollo. Resiste los medios pseudoestépicos de los climas continentales y extremos, por lo que soporta los fríos invernales extremados, las temperaturas estivales elevadas propias de las solanas y resisten a las zonas de condiciones secas y áridas de la región Mediterránea. Generalmente, se desarrolla en paisajes abiertos, aunque suele formar parte del sotobosque de formaciones cerradas, crecer en los límites forestales y en los márgenes de los ríos (Costa et al., 1993). *J. thurifera* L. es un arbolillo perennifolio de crecimiento muy lento, que puede desarrollarse como árbol, especialmente en bosques de coníferas boreales, y es considerada como reliquia viva de la flora terciaria (Pastor et al., 2008). En la Península ibérica, ocupa altiplanos y parameras de las zonas semiáridas del cuadrante noroccidental, entre los 850 y 1.400 m. de altitud. Indiferente a la naturaleza edáfica, se desarrolla habitualmente en sustratos básicos o calcáreos (Blanco et al., 1997). Suele formar masas claras o de bosque abierto, y frecuentemente coexiste en masas forestales abiertas de coníferas de montaña (*Pinus nigra*) y en encinares y quejigares (*Q. ilex, Q. faginea*) que, al presentar mayores tasas de crecimiento, pueden llegar a desplazarlo a posiciones secundarias (Pastor et al., 2008). Los frutos son consumidos y diseminados especialmente por las aves.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Radial



Plano Transversal

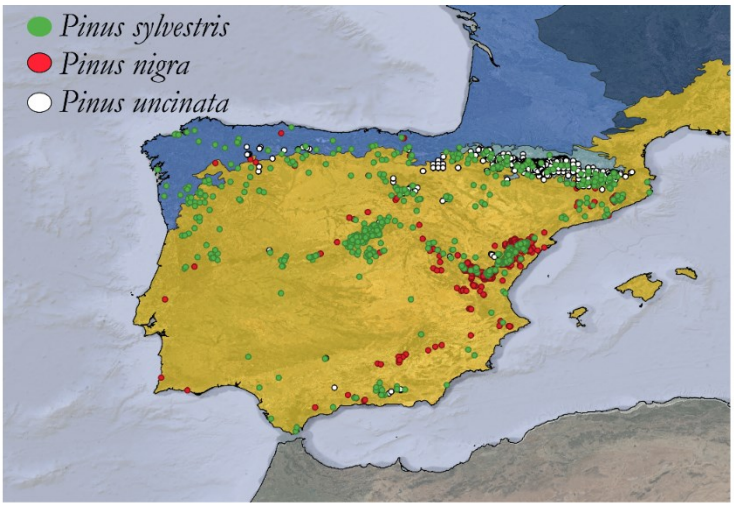
Los límites de los anillos de crecimiento son poco marcados, aunque bien diferenciados, de morfología ondulada o ramificados en algunas ocasiones. No presenta canales resiníferos. Transición progresiva o gradual del leño temprano al leño tardío. Parénquima abundante y difuso. Las traqueidas tienen una sección de morfología cuadrangular.

Plano longitudinal Tangencial
Radios uniseriados, raramente biseriados. La altura de los radios uniseriados oscila entre 1 y 6 células, pudiendo llegar hasta las 13 células. Las especies del género *Juniperus* no pueden distinguirse por su anatomía, aunque se han propuesto algunos los criterios biométricos observables en los radios, especialmente en la cuantificación de las células (Heinz, 1990). Por ejemplo, Alcolea (2017:150, Tabla 6) clasificó: *J. communis* de 1 a 8 células de altura, *Juniperus oxycedrus* de 1 a 7, *Juniperus phoenicea* de 1 a 5, *Juniperus sabina* de 1 a 6 y *J. thurifera* de 1 a 3. Dada la dificultad en la determinación de las especies incluidas en este género, en esta tesis doctoral se ha optado por la identificación genérica de *Juniperus* sp.
Plano longitudinal radial
Radios homogéneos, compuestos por células de parénquima. Ausencia de traqueidas horizontales. En el campo de cruce radio-vaso se observan de 2 a 4 punteaduras areoladas, uniseriadas y de tipo cupresoide.

4.2.2. *Pinus* tipo *sylvestris*

Nomenclatura	*Pinus* tipo *sylvestris*		
División	Pinophyta	**Familia**	Pinaceae
Orden	Pinales	**Género**	*Pinus*
Especie/s	*Pinus sylvestris* L.*; Pinus nigra* subs. *salmanii; Pinus mugo* subs. *uncinata*		
Nombre cat/cast/ing	Pi roig; Pino albar; Scot pine Pinassa; Pino salgareño; Black pine Pi negre; Pino negro; Mountain pine		

Distribución actual *P. sylvestris*, *P. nigra* y *P. uncinata*



Fotografía de especies

Pinus sylvestris



Pinus nigra





Pinus uncinata

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Bosques de coníferas mediterráneos, boreales y alpinos.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	(400)800-2.000
TMA (ºC)	6 - 12	**Orientación**	-
~~**Tmc (ºC) / Tmf (ºC)**~~	~~15-20 / -1-3~~	~~**PMA (mm)**~~	~~600 – 1.200~~
Régimen Térmico	Microterma	**Pluviometría**	-
Estratos	Suelos parcialmente descarbonatados		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

El pino albar (*Pinus sylvestris* L.), es una especie de pino que se caracteriza por su madera blanda y su corteza anaranjada u ocre. La madera es muy valorada por su resistencia y calidad, lo que la hace adecuada para su uso en la construcción de casas, puentes, muebles y otros objetos. Además de su utilidad como material de construcción, la madera es una fuente importante de combustible debido a su alta calidad calorífica, quema bien y a alta temperatura, lo que la convierte en una fuente común de combustible para la calefacción y la cocción. Asimismo, la resina y las agujas contienen aceites esenciales que se utilizan en la producción de productos aromáticos y pegas, y de la corteza se pueden extraer tintes. Por otro lado, las ramas verdes se han utilizado como forraje para animales y, una vez secas, solían usarse como camas (D'Ambrosio et al., 2020 :141). De las piñas verdes de *P. sylvestris* y *Pinus unicanata* se elabora un jarabe contra los catarros (D'Ambrosio et al., 2020: 139).

DESCRIPCIÓN

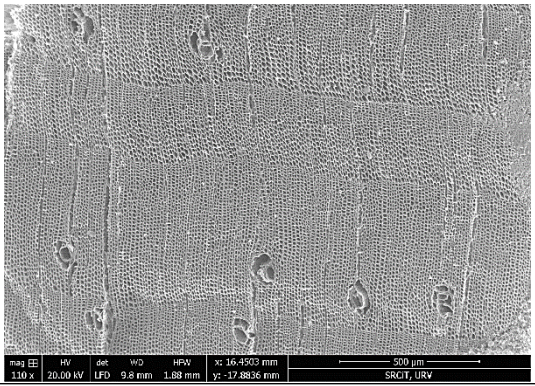
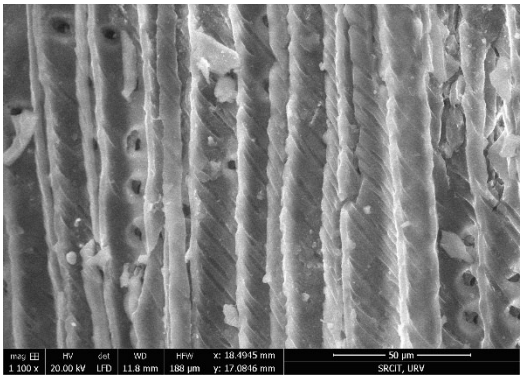
Pinus sylvestris es una especie que se adapta a una amplia variedad de ambientes, lo que se refleja en una extensión considerable de su área de distribución natural, así como en su diversidad de hábitats y morfología. Desde una perspectiva biogeográfica, Costa y colaboradores (1997) proponen tres tipos de formación para el pinar albar ibérico: grupo eurosiberiano, submediterráneo y mediterráneo.

Dentro del grupo de pinares eurosiberianos situados en la vertiente sur pirenaica (entre 1.000 y 1.700 msnm) se pueden identificar los pinares albares (*P. sylvestris*) mesófilos de umbría y los pinares albares xerófilos de solana. Los pinares albares mesófilos, que se extienden por el piso montano pirenaico, se mezclan con *Pinus mugo* subs. *uncinata* y otros bosques como hayedos y abetales en las zonas más altas. Estos pinares tienen una formación densa. Por otro lado, los pinares albares xerófilos se encuentran en la vertiente meridional del piso montano, en áreas ventosas y soleadas (entre 1.500 y 1.800 msnm). En comparación con los mesófilos, estos pinares tienen una densidad menor, por lo que en las zonas más secas se asocian con arbustos como *Buxus sempervirens*, *Juniperus communis* L. y erizón (*Genista*).

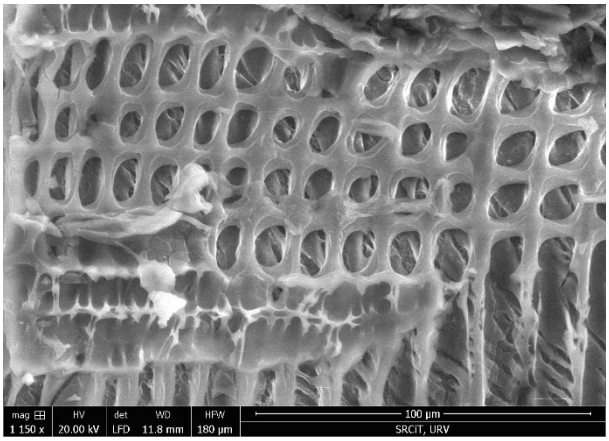
Los pinares submediterráneos se localizan por debajo de los 1.000 msnm, y especialmente en la vertiente sur de los Pirineos. En estos pinares, el *Pinus sylvestris* se mezcla con frecuencia con quejigos (*Quercus faginea* Lam., *Quercus pubescens* Willd.), así como con otro tipo de pinos (*Pinus nigra* subs. *salmannii*, *Pinus pinaster*) y, en el extremo oriental de los Pirineos, incluso con pino blanco (*Pinus halepensis*) y carrasca (*Quercus ilex* subs. *rotundifolia*).

En las altitudes elevadas de la mayoría de los sistemas montañosos de la zona mediterránea de la península ibérica, *P. sylvestris* es la especie arbórea predominante en el pinar albar mediterráneo. Este tipo de bosques de pino se caracterizan por soportar una sequía estival más intensa en comparación con los dos grupos anteriores, y se dividen en pinares mesófilos y xerófilos. En el pinar albar mediterráneo de la región sur del sistema ibérico, las montañas ibérico-levantinas y la costa catalana, entre los 1.400 y 1.700 msnm se encuentra con frecuencia acompañado de *P. nigra*, que crece a menor altitud y en zonas rocosas más soleadas, así como con sabina rastrera (*Juniperus sabina*) en las altitudes más elevadas.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	
	*detalle de compresiones en traqueidas

Radial



Plano Transversal

Madera con anillos de crecimiento diferenciados. Los canales resiníferos se componen de células epiteliales delgadas. Traqueidas de sección cuadrangular.

Plano longitudinal Tangencial

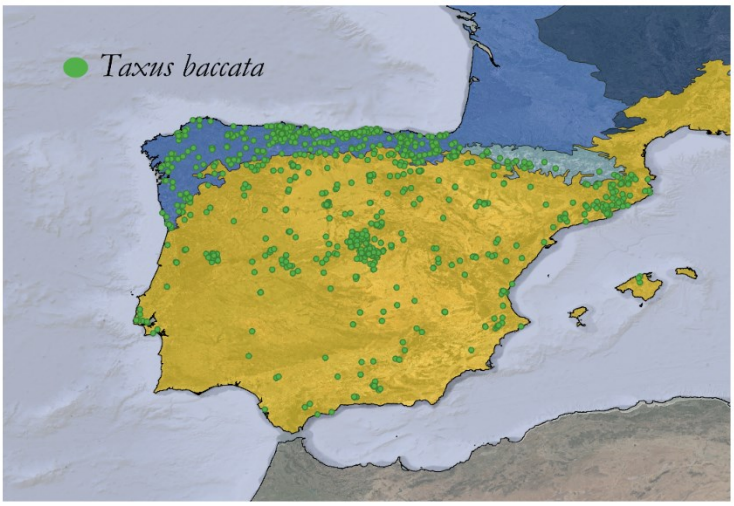
Las traqueidas longitudinales no presentan engrosamientos, con punteaduras areoladas en las paredes. Radios uniseriados, biseriados y multiseriados debido a la presencia de canales resiníferos transversales, de 1 hasta 12 células de altura los radios uniseriados. Las punteaduras areoladas de las paredes radiales de las traqueidas longitudinales son de morfología redondeada con abertura ocluida, dispuestas en filas uniseriadas.

Plano longitudinal radial

Radios heterogéneos, con traqueidas radiales dentadas, con dientes que llegan hasta el centro del lumen, en posición alterna. Las punteaduras de los campos de cruce son de tipo fenestriformes, normalmente de 1 a 2 punteaduras por campo. Es complicado distinguir los diferentes tipos de pinos de montaña ibéricos, como *P. nigra*, *P. sylvestris* y *P. uncinata*, en base a los caracteres anatómicos (Schweingruber, 1990; Carcaillet y Vernet, 2001). No obstante, algunos autores han indicado que las punteaduras en el área de cruce tienen forma fenestriforme en *P. nigra*, mientras que en *P. sylvestris* son ovaladas y alargadas (Badal, 1984; Schweinguber, 1990; Postigo-Mijarra et al., 2017). Además, se pueden encontrar traqueidas horizontales con paredes dentadas y afiladas, que generalmente forman columnas (Postigo-Mijarra et al., 2017). En las muestras demasiado pequeñas, alteradas y en las que no hemos podido observar las punteaduras o definir las paredes dentadas de las traqueidas, hemos asignado la categoría *Pinus* sp. Por otro lado, hemos usado la categoría *Pinus* tipo *sylvestris* cuando hemos identificado las formas dentadas.

4.2.3. *Taxus baccata*

Nomenclatura	*Taxus baccata*		
Subdivisión	Gimnosperma	**Familia**	Taxaceae
Orden	Cupressales	**Género**	*Taxus*
Especie/s	*Taxus baccata* L.		
Nombre cat/cast/ing	Teix; Tejo; English yew		
Distribución actual *Taxus baccata*			



Fotografía de especies





CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques caducifolios termófilos y mesófilos, hayedos, bosques de coníferas montanas.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Mediterránea	**Altitud msnm**	500 -1.800
TMA (ºC)	25 a 30	**Orientación**	Norte, noroeste
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	15 a 20 / -5 a -10	**PMA (mm)**	800 – 1.200
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Suelos húmedos y bien drenados		

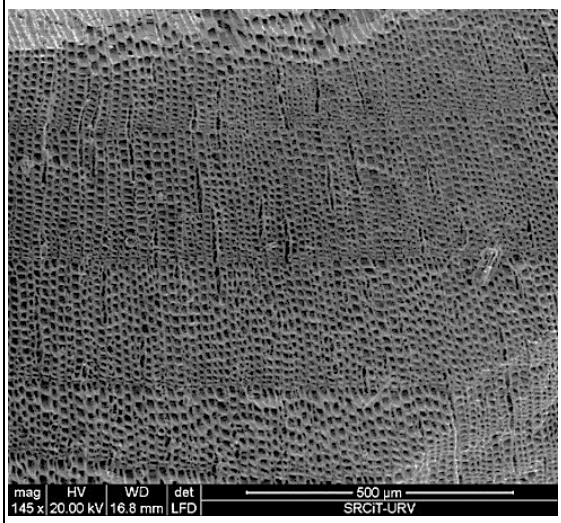
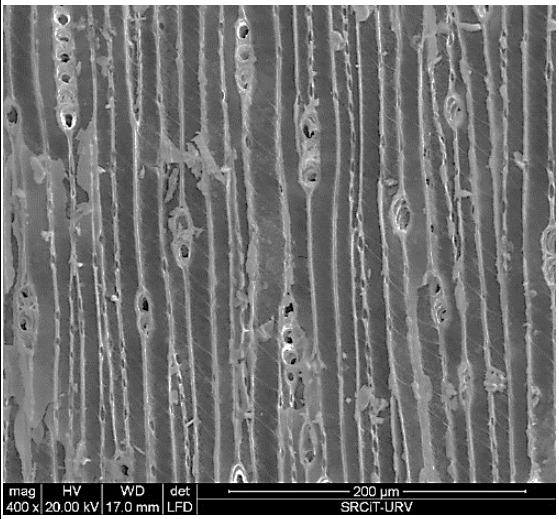
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

Madera elástica, resistente y sin resina, muy resistente a la putrefacción. La madera de tejo se ha empleado para la confección de objetos dedicados al pastoreo y a la agricultura, como bastones, yugos para bueyes, collarines y herramientas macizas, así como para la fabricación de distintos muebles y objetos cotidianos. También se ha destinado a la construcción, especialmente para cerros de ovejas y vigas para cabañas. Las hojas, ramillas y la madera contienen un alcaloide tóxico denominado "taxina". No obstante, animales como los rumiantes pueden tolerar cierta dosis de este alcaloide, aunque un consumo elevado de las semillas activa propiedades abortivas.

DESCRIPCIÓN

Conífera que no suele sobrepasar los 10 m. de altura, alcanza gran longevidad y es de crecimiento lento. En el noreste de la península ibérica, vive en lugares frescos y húmedos de montaña, aunque por Europa está ampliamente distribuido. En general, esta especie se encuentra en climas templados y crece mejor en regiones con veranos frescos y húmedos y con inviernos suaves y lluviosos. Suele ocurrir de manera aislada, o bien puede agruparse en pequeños grupos de árboles en el sotobosque. Se desarrolla bien en todo tipo de suelos siempre que estén bien drenados y húmedos. Puede soportar las sequías y es intolerante a las heladas prolongadas y al frío. Las raíces pueden penetrar suelos comprimidos, por lo que la especie puede sobrevivir en terrenos rocosos y en acantilados verticales. El tejo tiene una tasa baja de producción de polen y la dispersión por viento es ineficiente; aunque su reproducción es anemófila, las aves de la familia Turdidae dispersan sus frutos a distancias más bien cortas o locales (Chybicki y Oleksa, 2018).

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	

Plano Transversal

Transición gradual entre la madera temprana y tardía. No presenta canales resiníferos ni tampoco parénquima.

Plano longitudinal Tangencial

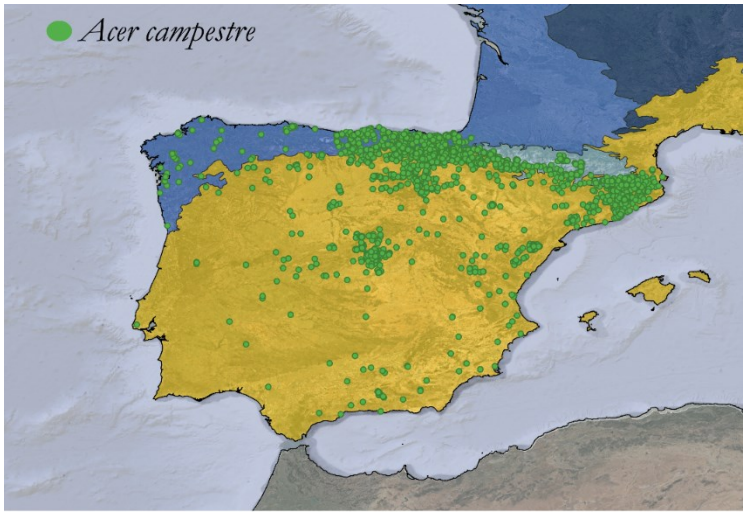
Radios uniseriados y estrechos, de entre 2-5 a 12 células de largo.

Plano longitudinal radial

Radios homogéneos. Las punteaduras son de tipo cupresoide. Los radios tienen engrosamientos en espiral, inclinados hacia las paredes de las traqueidas longitudinales.

4.3. Angiospermas

4.3.1. *Acer* sp.

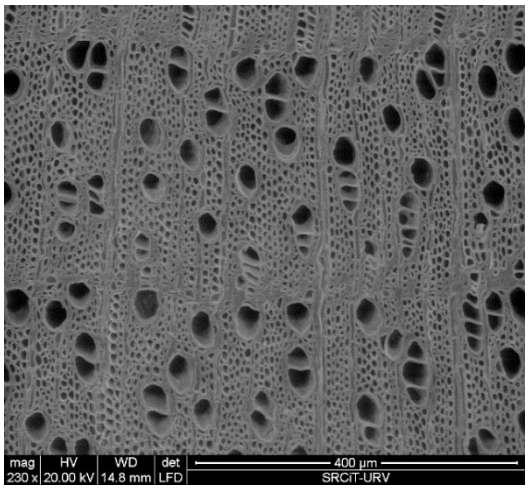
Nomenclatura	*Acer* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Sapindaceae
Orden	Sapindales	**Género**	*Acer*
Especie/s	*Acer campestre* L., *Acer monpessulanum* L., *Acer opalus* Mill.		
Nombre cat/cast/ing	Auró blanc; Arce común; Common maple Auró negre; Arce de Montpellier; Montpellier maple Blada; Orón; Italian maple		
Distribución actual *Acer campestre* L.			
			
Fotografía de especies			
 *Acer campestre*			
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Hayedo, robledales y bosques de ribera		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	400 - 1.100 (1800)
TMA (ºC)	6.8 – 11.6	**Orientación**	Umbría
Mmc (ºC) / Mmf (ºC)	12 – 24 / -10 – 8	**PMA (mm)**	710 – 1.550
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Calizos descarbonatados, profundos, pedregosos		
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA			
Este género dispone de madera blanquecina, dura y fuerte, apreciada en los trabajos de carpintería y ebanistería. Debido a sus pequeñas dimensiones produce baja cantidad de madera, la cual se considera un combustible de excelente calidad.			

DESCRIPCIÓN

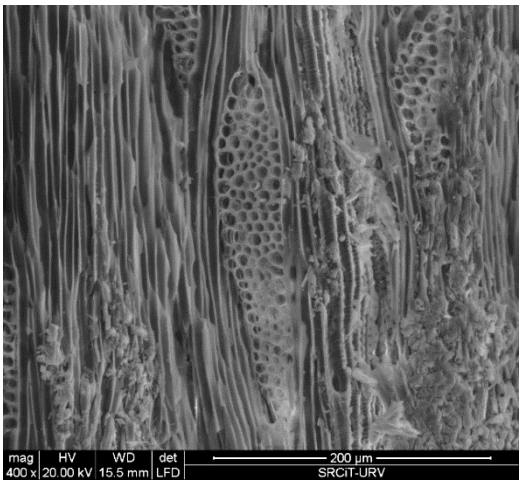
El género *Acer* engloba unas 150 especies de árboles y arbustos mesófilos de regiones húmedas. Alcanzan una altura de entre 8 y 15 m. Son de hoja caducifolia y se asocian a los ambientes frescos y moderados, formando parte del estrato arbustivo de bosques caducifolios de ribera, hayedos y robledales, aunque también se desarrollan en fondos de barranco en zonas de menos altitud, especialmente en los valles de montaña. Las especies del género no desarrollan formaciones densas, y tampoco disponen de un carácter de formación dominante dentro del estrato arbóreo. *Acer monspessulanum* L., *Acer opalus* Mill. y *Acer campestre* L. corresponden a especies de carácter submediterráneo. *A. campestre* se distribuye en regiones de clima eurosiberiano, de microhábitats sombreados y en algunas zonas lluviosas del mediterráneo, aunque es común en el piso de vegetación montano. *A. opalus* puede desplegarse en bosques poco húmedos, adentrándose en pinares y en encinares de montaña.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal

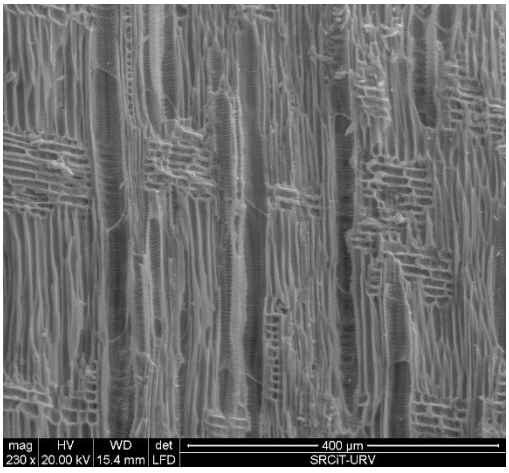


Tangencial



Acer tipo 2

Radial



Plano Transversal

Madera difusa. Los poros se distribuyen de manera aislada o agrupados en filas radiales de entre 2 y 6. Tienen una morfología de forma circular o tendencia poligonal. Los límites de los anillos de crecimiento se observan nítidamente. El parénquima es difuso.

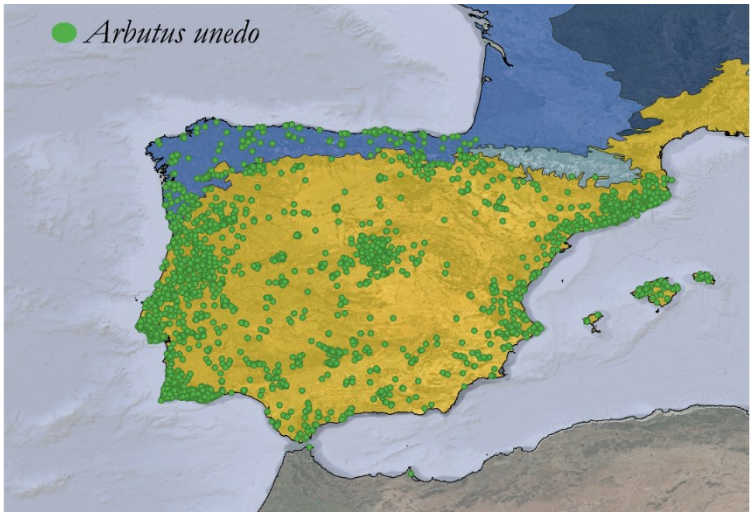
Plano longitudinal Tangencial

El género *Acer* muestra una fuerte uniformidad anatómica, dificultando la identificación entre especies. Para algunos autores, el número de células en los radios el criterio más fiable para discernir entre especies (ver Alcolea, 2017: 173). *A. campestre* presenta de 1 a 6 células. *A. opalus* presenta radios de entre 1 y 5 células. *A. monspessulanum* presenta de 1 a 8 células. Por otro lado, en esta tesis

doctoral hemos usado la clasificación del género por tipos, propuesto por Heinz (1991) al observar variaciones en las muestras con radios de entre 2 y 8 células. Así, se clasificaron como *Acer* tipo 1 los radios de entre 2 y 3 células, *Acer* tipo 2 los radios de entre 4 y 6 células, y *Acer* tipo 3 los radios con más de 7 células. La nomenclatura *Acer* sp. se ha utilizado en los casos en que no ha sido posible la cuantificación de las células del ancho de los radios.
Plano longitudinal radial
Se observan radios homogéneos. Engrosamientos de los vasos en espiral y perforaciones simples en todos los vasos. Las fibras son de morfología libriforme. Presencia de punteaduras pequeñas, circulares o elípticas en los extremos de los radios.

4.3.2. *Arbutus unedo*

Nomenclatura	*Arbutus unedo*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Ericaceae
Orden	Ericales	**Género**	*Arbutus unedo*
Especie/s	*Arbutus unedo* L.		
Nombre cat/cast/ing	Arboç; Madroño; Strawberry tree		
Distribución actual *Arbutus unedo* L.			



Fotografía de especies



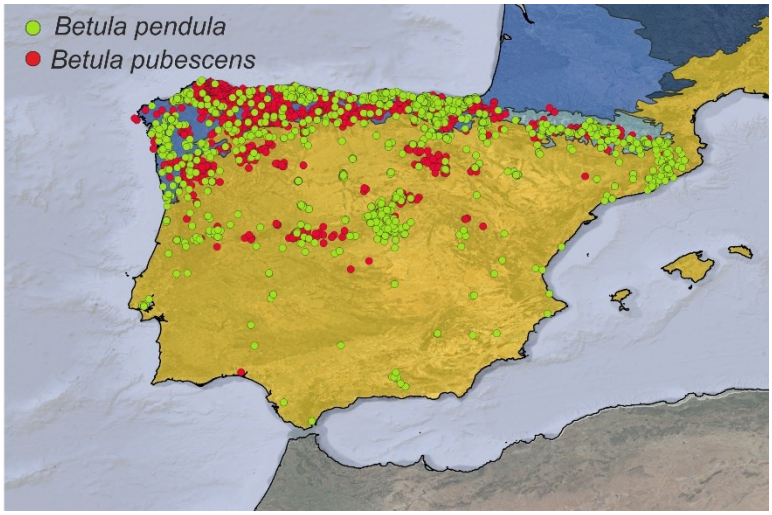


CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto o Arbolillo	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Dominante y secundario
Hábitat	Maquias y encinares litorales esclarecidos, bosques mediterráneos.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea y Atlántica	**Altitud msnm**	0 - 1.000
TMA (ºC)	12.9 – 17.3	**Orientación**	Solana, sudoeste
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	30 – 36.9 / 0.2 – 5.5	**PMA (mm)**	540 – 1.130
~~**Régimen Térmico**~~	~~Mesoterma~~	~~**Pluviometría**~~	~~Mesófila~~
Estratos	Silicios descalcificados y calizos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
Madera de color rojiza de tonos marrones cuando el arbusto es joven, que pasa a un color grisáceo al envejecer. Madera pesada, grano fino y elástica, que se ha empleado para la elaboración de mangos y postes. La madera de la raíz es de muy buena calidad para destinarla a leña y a la elaboración de carbón vegetal. La corteza se ha destinado, tradicionalmente, como curtiente y astringente en medicina popular. Su fruto es una baya de superficie granular, roja y comestible en su maduración durante el otoño. Las bayas han sido usadas para finalidades medicinales, ya que contiene compuestos antioxidantes, propiedades antimicrobianas, antiagregantes, antidiabéticas, antihipertensivas, antiinflamatorias y antitumorales (ver Morgado et al. 2018).
DESCRIPCIÓN
Arbusto que puede desarrollarse en pequeño árbol o arbolillo, perennifolio, de tronco torcido y muy ramificado. Puede alcanzar los 10 m. de altura, aunque frecuentemente suele llegar entre 1.5 y 3 m. Se desarrolla especialmente en las maquias litorales y en la media montaña. Suele acompañar a las formaciones de encinares litorales esclarecidos, muy enriquecidos con otras especies heliófilas. La especie se desarrolla en lugares soleados o en semisombra y zonas con clima invernal no excesivamente frío, por lo que prefiere ambientes frescos y moderados. Resiste sequías bastante acusadas y estíos largos y duros siempre bajo climas suaves. Muestran una rápida regeneración después de los incendios forestales (Arnan et al., 2013). Es una especie bien adaptada a la sequía y tolera altas radiaciones.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera difusa, los poros del leño temprano pueden ser de mayor tamaño que en el leño tardío. Los poros se distribuyen aislados o en pequeñas agrupaciones radiales.
Plano longitudinal Tangencial
Presenta radios bi y triseriados, raramente puede llegar a las 5 células de ancho y tiene radios uniseriados de forma dispersa. La altura de los radios es de 5 a 20 células.
Plano longitudinal radial
Se observan radios heterogéneos, engrosamientos en espiral en los vasos y perforaciones simples, aunque en vasos pequeños puede encontrarse una pequeña perforación escalariforme de 1 a 4 barras. Las punteaduras en los vasos son de tamaño medio y bastante abundantes.

4.3.3. *Betula* sp.

Nomenclatura	*Betula* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Betulaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Betula*
Especie/s	*Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Erth, *Betula nana* L.		
Nombre cat/cast/ing	Bedoll comú; Abedul común o blanco; Silver birch Bedoll blanc; Abedul pubescente: Pubescent birch Bedoll nan; Abedul enano; Dwarf birch		
Distribución actual			



Fotografía de especies



@*Flora Catalana – Betula pendula*

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árboles y arbustos	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques boreales abiertos, formaciones ribereñas		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina	**Altitud msnm**	400 – 1.800 (2.200)
TMA (ºC)	6 - 18	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	10 – 18 / -25 a 10	**PMA (mm)**	300 – 1.800
Régimen Térmico	Microterma	**Pluviometría**	Mesófila a Higrófila
Estratos	Arenosos o arcillosos especialmente ácidos		

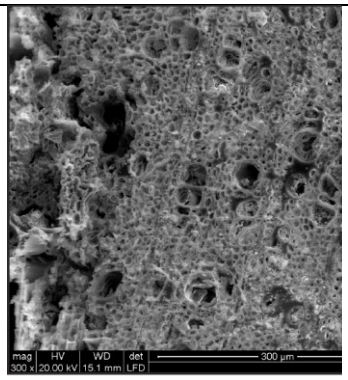
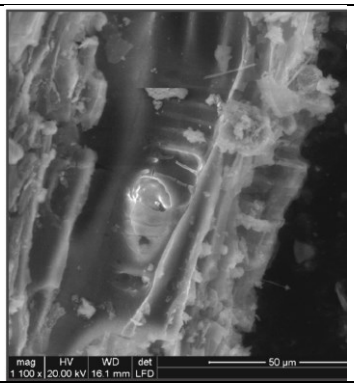
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

La madera de los abedules es ligera y fácil de trabajar, no se agrieta, es dura y muy resistente al desgaste. La madera ha sido usada para la obtención de resinas (Rageot et al., 2018) y es considerada de baja calidad, aunque puede usarse como leña de bajo coste. Actualmente, la madera se utiliza para la obtención de pulpa o pasta de madera. Tradicionalmente, se ha utilizado en la confección de útiles para el arado, en la cestería y en la fabricación de escobas, así como en la construcción de cercas y vallas para el ganado. Las hojas y ramas secas o semi-secas de los abedules han sido usadas para alimentar al ganado, especialmente en otoño. La corteza se ha usado para tratar la hipertensión arterial y afecciones biliares, y la savia para cicatrizar heridas, dada la abundancia de sus taninos (Blanco et al., 1997). Asimismo, la corteza se ha empleado para el encendido de la leña, ya que quema rápido, así como también para la elaboración de velas y antorchas con la finalidad de alumbrar.

DESCRIPCIÓN

El género *Betula* agrupa diversas especies de abedules, en forma de árboles y arbolillos. Crecen en espacios muy luminosos y húmedos, y se desarrollan bien en sustratos silíceos. Los abedules pueden soportar fríos intensos, aunque abundan en bosques frescos. También, crecen en formaciones ribereñas de climas mediterráneos. Tienen su origen en las zonas árticas y templadas de Eurasia, y actualmente están bien distribuidos en la zona boreal del norte de Europa. En la península ibérica, se extienden desde el extremo oriental de los Pirineos (montano y subalpino) hasta el noroeste, así como en las sierras de la mitad septentrional. Las especies de abedules no soportan bien las condiciones climáticas secas, especialmente *Betula Pendula*.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Radial
	

Plano Transversal

Madera difusa. Los poros pueden distribuirse de forma dispersa, solitarios o agrupados en filas radiales de entre 2 y 4 poros. Los limites de los anillos de crecimiento quedan marcados de 2 a 4 filas de celulas radialmente aplanadas. El parenquima es escaso y difuso.

Plano longitudinal Tangencial

Radios biseriados y multiseriados, generalmente de 2 a 4 células, aunque también pueden observarse radios uniseriados. La altura media del rayo se constituye por entre 10 y 25 células.

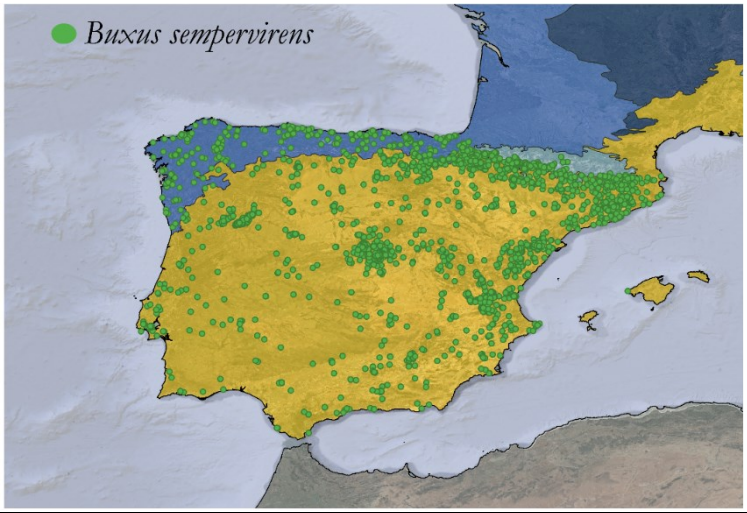
Plano longitudinal radial

Se observan radios homogéneos. Las perforaciones de los vasos son de morfología escalariforme, de entre 10 y 15 barras, aunque podrían llegar a las 25. Presencia de células marginales cuadradas en los radios. Las punteaduras de los campos de cruce radio-vaso son muy abundantes y extremadamente pequeñas.

4.3.4. *Buxus sempervirens*

Nomenclatura	*Buxus sempervirens*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Buxaceae
Orden	Buxales	**Género**	*Buxus*
Especie/s	*Buxus sempervirens* L.		
Nombre cat/cast/ing	Boix; Boj; Common box		

Distribución actual *Buxus sempervirens* L.



Fotografía de especies







CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto o arbolillo	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	Dominante y secundario
Hábitat	Dominante en bojedales que se desarrollan como matorrales en robledales alterados. Secundario en robledales frescos, asociado a bosques caducifolios y en pinares.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea y Atlántica	**Altitud msnm**	12 - 1.200 (2.430)
TMA (ºC)	6 - 12	**Orientación**	Umbría
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	600 – 1.200
Régimen Térmico	Termófila	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Ligeramente calizos en substratos básicos.		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

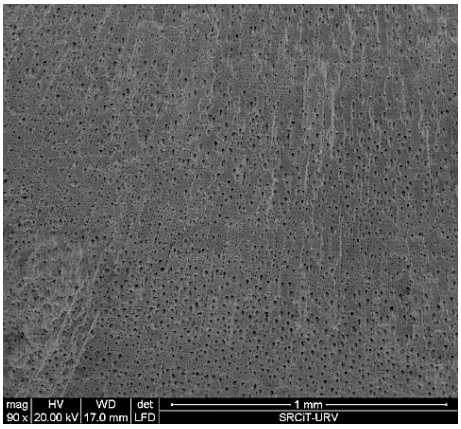
La madera es de color amarillenta, dura y compacta, de grano fino y fácil de pulir, gravar y tintar. Es adecuada para tornear y, tradicionalmente, se ha usado para la fabricación de pequeños objetos domésticos como cucharas, badajos, clavos, punzones y mangos. La energía calorífica de la madera es alta, desprende mucho calor y proporciona brasa muy viva. En la comarca del Montseny (Barcelona) el boj fue muy usado para la obtención de carbón vegetal cuando había escasez de otras plantas más indicadas. Asimismo, sus ramas han sido empleadas para cubrir los techos de las chozas de pastor construidas en las praderas de verano en la sierra de Cuenca. En las actividades de pastoreo no se considera una especie de ramoneo, dada la toxicidad de sus frutos (Bartolomé, 2014). Actualmente, en la comarca del Pallars (Lleida), se emplean tallos para el timpanismo gástrico, que limpia el hígado y ayuda a rebajar la bilis de ovicaprinos, así como para corregir la tricofagia (ingesta de pelos) en los corderos, obligándoles a comer las ramas.

DESCRIPCIÓN

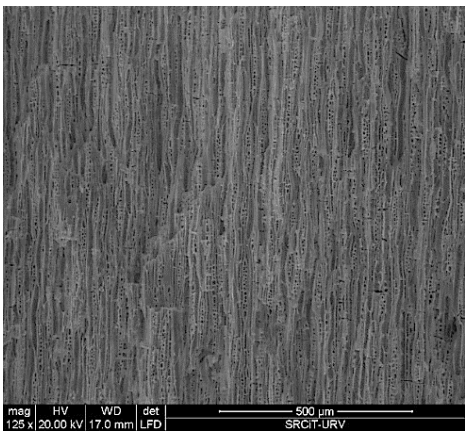
Árbol perennifolio de aspecto arbustivo y muy ramificado, que alcanza un máximo de 5 m. de altura. Crece en los robledales frescos y umbríos de media montaña, entre los 400 y 1.200 m. de altitud., en laderas y claros de bosque, así como en lugares de difícil acceso (barrancos). El boj ocupa espacios de condiciones ambientales suaves, y está directamente influenciado por la formación forestal dominante, generalmente de bosques caducifolios y pinares submediterráneos. Corresponde a una especie de polinización baja y la expansión por viento alcanza distancias cortas (Cañellas-Boltà et al., 2009). El desarrollo de los bojedales en la actualidad puede deberse como consecuencia de la degradación de bosques caducifolios o robledales, por una tala o un fuego previo, puesto que tiene un carácter expansivo o colonizador (Debussche y Lepart, 1992).

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

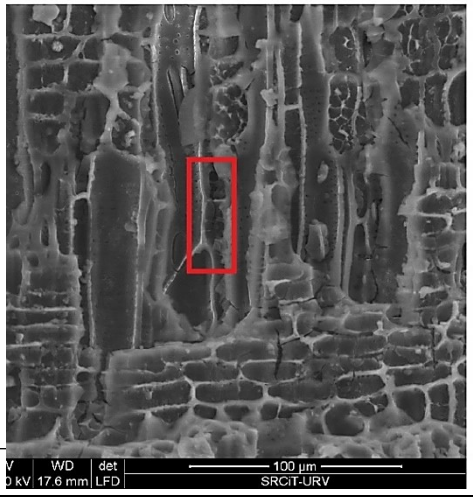
Transversal



Tangencial



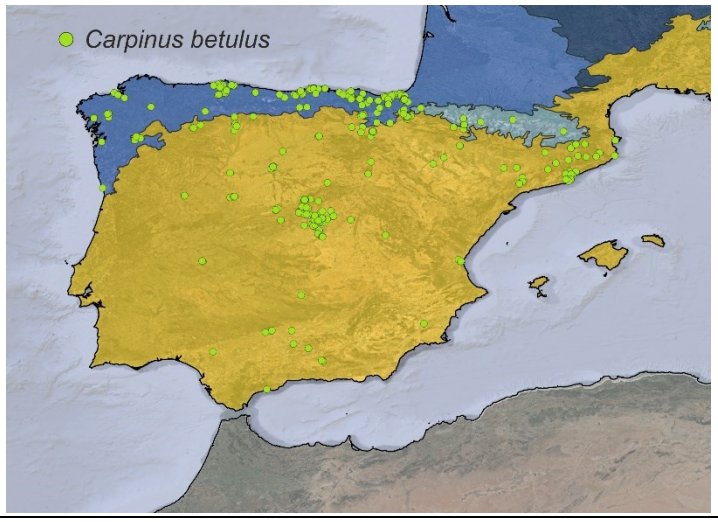
Radial



Plano Transversal
Madera difusa, los poros son de pequeño tamaño y cuantiosos. Se distribuyen aislados y de manera homogénea al largo de los anillos.
Plano longitudinal Tangencial
Presenta radios biseriados, aunque raramente pueden verse uni y triseriados. La altura de los radios es de entre 6 y 12 células. Las punteaduras de los vasos son abundantes, de morfología redondeada y de pequeño tamaño.
Plano longitudinal radial
Se observan radios heterogéneos y perforaciones escalarifomes de entre 5 y 10 barras.

4.3.5. cf. *Carpinus* sp.

Nomenclatura	cf. *Carpinus* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Betulaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Carpinus*
Especie/s	*		
Nombre cat/cast/ing	Carpí; Carpe; Hornbeam		
Distribución actual			



Fotografía de especies



CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques templados caducifolios		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica	**Altitud msnm**	0 - 600
TMA (ºC)	10 a 20	**Orientación**	Norte a noroeste
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	-
Régimen Térmico	Microterma	**Pluviometría**	Mesófilo
Estratos	Suelos calizos, de casi ácidos (nunca ácidos) a calizos y bien drenados		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

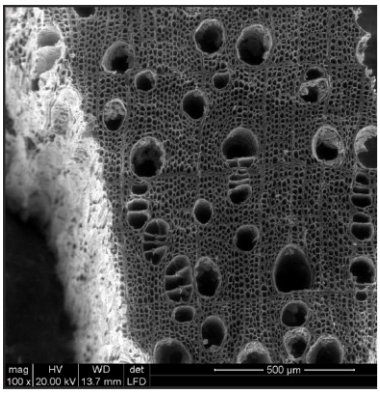
La madera de los carpes es de buena calidad, pesada, resistente y dura y difícil de trabajar, tradicionalmente apreciada para la tornería y la ebanistería. Debido a la resistencia al golpeo, la madera se ha usado para la elaboración de mazos, rodillos o bolos. El color de la madera es de tono blanquecino.

DESCRIPCIÓN

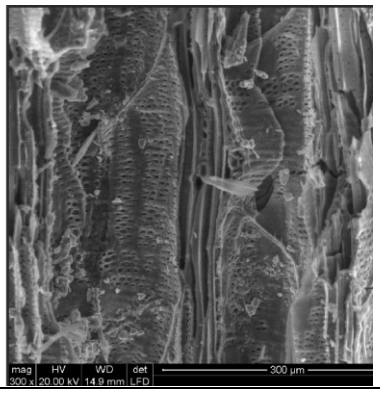
Carpinus sp. es un género que incluye varias especies de carpes, que suelen ser árboles de pequeño tamaño. *Carpinus betulus* corresponde a una especie mesófila que requiere climas templados, ambientes sombreados, húmedos y con frecuentes precipitaciones. Forma rodales de bosques caducifolios mixtos de *Quercus* caducifolios (*Q. rubur* y *Q. petraea*) y en hayedos (*F. sylvatica)*. No sobrevive en condiciones de aridez, así como tampoco en climas semiáridos mediterráneos (Magyari, 2002). Generalmente, vive en altitudes que no superan los 600 m. s.n.m.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

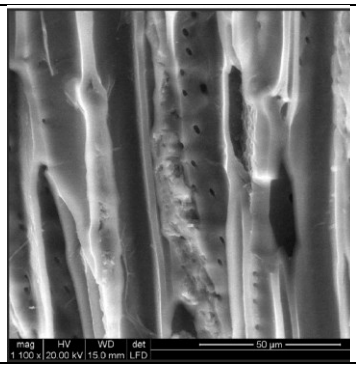
Transversal



Tangencial



Radial



Plano Transversal

Madera de porosidad difusa. El patrón de disposición de los vasos no es específico, aunque generalmente se agrupan en grupos radiales cortos, de 2 a 3 vasos. El diámetro de los vasos disminuye de manera continua desde el leño temprano hasta el leño tardío. El parénquima apotraqueal es difuso. Presencia de radios agregados, aunque no siempre son presentes. Los límites de los anillos de crecimiento son indistintos.

Plano longitudinal Tangencial

Radios generalmente uniseriados y biseriados, en radios agregados que algunas veces pueden agregarse en series de 4 células de ancho. Rara vez y, de manera ocasional, se documenta la presencia de cristales de morfología prismática en las células de los radios más largos.

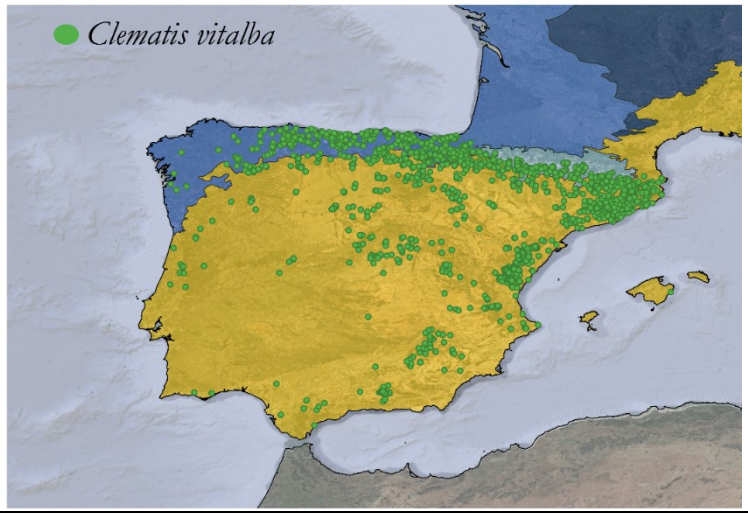
Plano longitudinal radial

Los radios son homogéneos y heterogéneos, con una o dos filas de células cuadradas marginales, que se distribuyen ligeramente en vertical. Los vasos tienen perforaciones simples.

*Debido a que solo se encontró un único fragmento de carbón de tamaño pequeño (<3 cm) en la muestra del nivel A de Molí del Salt, no fue posible examinar todos los caracteres anatómicos distintivos, lo que implica que la identificación puede carecer de precisión.

4.3.6. *Clematis vitalba*

Nomenclatura	*Clematis vitalba*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Ranunculaceae
Orden	Ranunculales	**Género**	*Clematis*
Especie/s	*Clematis vitalba* L.		
Nombre cat/cast/ing	Vidalba; Hierba de los pordioseros; Traveller's joy		
Distribución actual *Clematis vitalba* L.			



Fotografía de especies

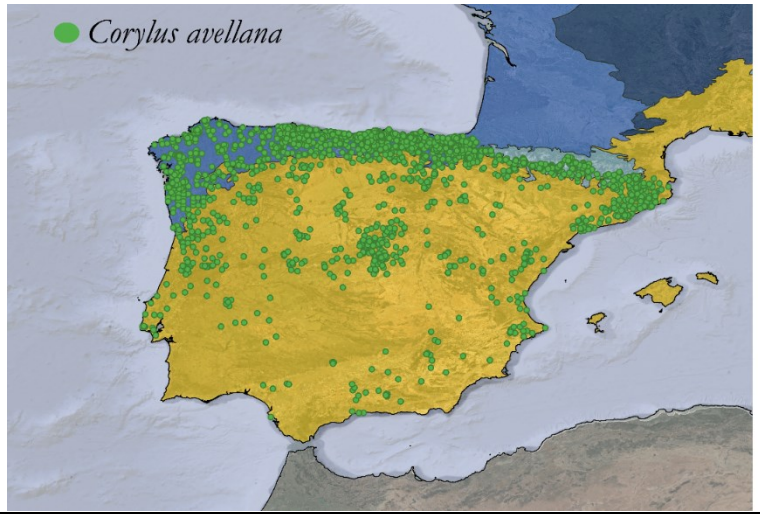


@Flora Catalana – *Clematis vitalba*

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Liana trepadora	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques caducifolios y matorrales, márgenes.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica y Mediterránea	**Altitud msnm**	0 - 1.500
TMA (ºC)	10 - 20	**Orientación**	Indiferente
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	>500
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Calizos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
Tallo leñoso en la base, macizo y sarmentoso. La raíz puede infusionarse y tomarse como analgésico, indicándose para inflamaciones osteoarticulares. Entrelazando varios tallos o ramas pueden confeccionarse cuerdas y ataduras vegetales. La toxina (protoanemonina) que contiene toda la planta puede producir intoxicación generalizada por su absorción mediante la vía cutánea, provoca irritaciones y manchas en la piel.
DESCRIPCIÓN
Liana sarmentosa que vive en bosques caducifolios y matorrales del piso montano, así como en lugares templados y húmedos. El tallo puede llegar a los 10 cm de diámetro y alcanzan un máximo de 25 m. de largo. El tallo se enrolla en los troncos de los árboles vecinos para alcanzar la luz, aunque puede sobrevivir bajo condiciones sombrías. Aunque *Clematis vitalba* es capaz de tolerar algunas condiciones de sequía y puede crecer en suelos pobres y secos, prefiere suelos ricos en nutrientes y bien drenados. Además, se adapta bien a climas suaves y templados.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera con zona porosa, los poros son de gran tamaño y se distribuyen solitarios. Los poros del leño tardío son de tamaño más pequeño y permanecen agrupados en bandas tangenciales. Tiene parénquima apotraqueal y paratraqueal.
Plano longitudinal Tangencial
Radios multiseriados de entre 5 y 15 células de ancho, en los que pueden observarse células marginales cuadradas. Los radios son largos, de más de 10 cm. de altura. Las punteaduras de los vasos tienen una morfología elíptica y son de medio tamaño.
Plano longitudinal radial
Radios heterogéneos. Perforaciones simples y engrosamientos en espiral en los vasos más estrechos. Presencia de traqueidas vasculares y fibras libriformes.

4.3.7. *Corylus avellana*

Nomenclatura	*Corylus avellana*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Betulaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Corylus*
Especie/s	*Corylus avellana* L.		
Nombre cat/cast/ing	Avellaner; Avellano; Common hazel		
Distribución actual *Corylus avellana* L.			
			
Fotografía de especies			
			
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques caducifolios de media montaña, en valles frescos y húmedos de alta montaña y en las riberas de la región Mediterránea.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	0 - 1.900
TMA (ºC)	12 - 16	**Orientación**	Indiferente
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	>500
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Calizos, arcillosos, silíceos		

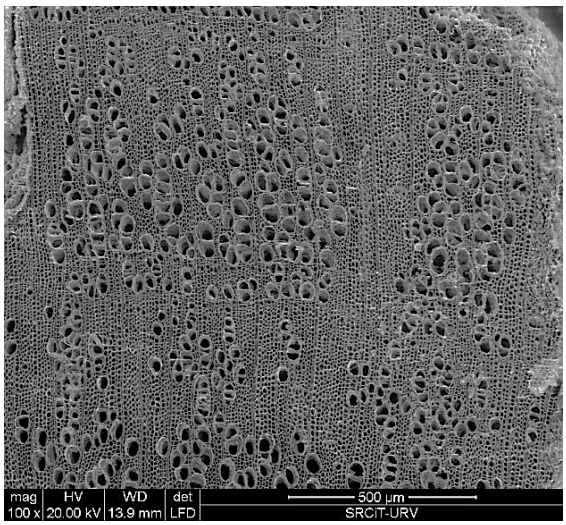
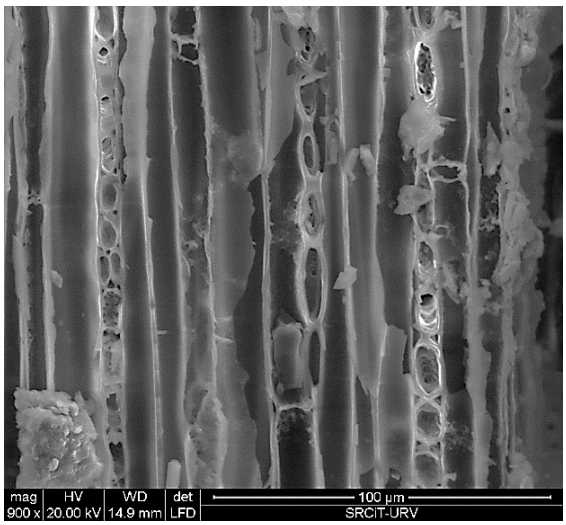
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

La madera del avellano es de grano fino y lisa, de color pardo rojizo, que al envejecer se torna grisáceo. Es de densidad semi-pesada, blanda y frágil que, al secarse, se rompe con facilidad. Las ramas se emplean en cestería, pues proporcionan listones, cintas o varillas que se entrelazan para elaborar cestas. Las ramas verdes también pueden usarse como cañas para peces de talla pequeña. Para la quema resulta un buen combustible y sirve como carbón vegetal. Sus semillas, las avellanas, son comestibles y aportan nutrientes, aceites y antioxidantes. Asimismo, en algunas localidades del norte peninsular, las hojas sirven como alimento para conejos y cabras.

DESCRIPCIÓN

Arbusto caducifolio que puede llegar a medir entre 8 y 10 m. en su forma silvestre, ramificado des de la base hasta la copa. Es una especie caducifolia, de hojas rugosas y anchas. Se desarrolla en orlas de bosques, en condiciones de sombría o en zonas soleadas de sustratos preferentemente calizos. También puede crecer en grietas de rocas o bordes de ríos. En la cornisa Cantábrica y en Cataluña todavía existen masas naturales de esta especie. *Corylus avellana* prefiere ambientes con humedad moderada y no tolera condiciones secas extremas. Aunque es capaz de tolerar algunas condiciones de sequía, prefiere suelos bien drenados y ricos en nutrientes

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	

Plano Transversal

Madera difusa, ligeramente semiporosa. Los poros se agrupan en largos grupos radiales, muy numerosos en el leño temprano. Los anillos de crecimiento son de morfología ondulada. Parénquima poco abundante y a menudo pueden observarse radios agregados.

Plano longitudinal Tangencial

Radios uniseriados y agregados, que pueden dar lugar a radios bi y triseriados. Las células de los radios varían en una altura de entre 10 y 25, aunque a veces puede llegar a las 40 células. Las punteaduras intravasculares son cuantiosas, grandes y de morfología elíptica.

Plano longitudinal radial

Las perforaciones de los vasos son escalariformes, de entre 5 y 10 barras. Los vasos tienen engrosamientos en espiral finos. Tiene fibras libriformes.

4.3.8. Fabaceae

Nomenclatura	Fabaceae		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Fabaceae = Leguminosae
Orden	Fabales	**Género**	*Genista* sp.; *Ulex* sp.; *Cytisus* sp.
Especie/s	-		
Nombre cat/cast/ing	Ginesta; Genísteas; Dyer's greenweed Argelaga; Aliaga; Spiny broom		

Fotografía de especies

@Flora Catalana – Genista hispanica



@Flora Catalana – Ulex europaeus



CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbustos espinosos	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Matorrales, prados, colinas, laderas y terrenos abandonados		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea	**Altitud msnm**	-
TMA (ºC)	-	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	-
Régimen Térmico	-	**Pluviometría**	-
Estratos	Pobres en nutrientes, ácidos, calizos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

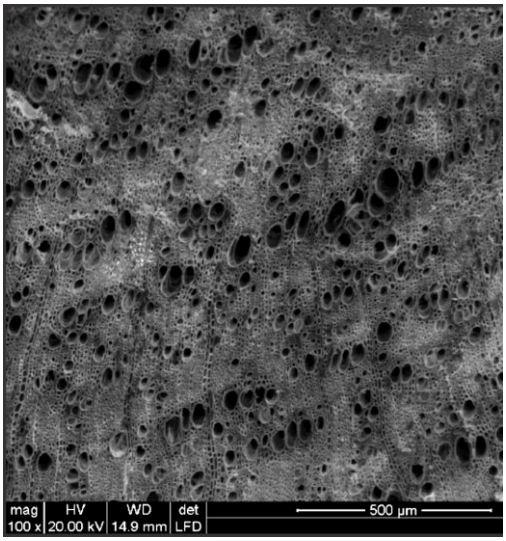
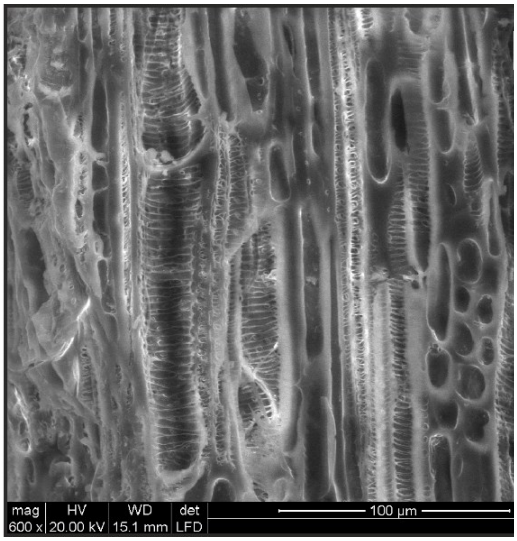
En la comarca de Campoo (Cantabria), se ha usado el humo de la quema de *Genista hispánica* para tintar de negro varas de avellano a modo decorativo. También, la infusión de las flores de *Ulex europaeus* se ha empleado en Triacastela (Lugo) como diurético para los animales. Como leña, las ramas de *Cytisus multiflorus* se han empleado en Zamora, Salamanca y León para hornos de panadero, puesto que arden rápidamente cuando están secas. *Cytisus escoparius* se ha introducido en la alimentación de conejos en la Coruña, aunque se considera tóxica para los animales. También, se ha usado tradicionalmente para elaborar escobas. Finalmente, en el Montseny, los tallos y hojas de *Cytisus stratus* se consideran un buen alimento para corderos y conejos.

DESCRIPCIÓN

Las leguminosas son un grupo grande y diverso de plantas que incluye especies con diferentes preferencias climáticas. En general, algunas especies de leguminosas pueden ser xerófilas, mesófilas o incluso higrófilas, dependiendo de sus características y del ambiente donde se desarrollan. Con el paso del tiempo, las plantas leguminosas han sido clasificadas en la familia Fabaceae. Inicialmente, se les conocía como Leguminosae, y este nombre se ha mantenido hasta hoy como un término conservado y ampliamente utilizado. Las fabáceas (Fabaceae) o leguminosas (Leguminosae) engloban alrededor de 10.000 especies de árboles, arbustos, hierbas, enredaderas y lianas, agrupadas en más de 700 géneros. Son plantas tanto caducifolias como perennifolias. De entre los géneros de plantas leñosas, destacamos *Genista* sp., *Ulex* sp. y *Cytisus* sp., como las más representativos de los matorrales de sotobosque en el área de estudio. Los tres géneros comparten especies arbustivas y perennes, con flores amarillas o amarillas y rojas.

El género *Genista* comprende arbustos espinosos, de hojas pequeñas y flores amarillas brillantes en forma de racimos. Estos arbustos se adaptan a diferentes climas y tipos de suelo, aunque tienen preferencia por los suelos bien drenados, y crecen desde en áreas costeras hasta en zonas montañosas. Por su parte, el género *Ulex* incluye arbustos espinosos con flores amarillas, y se consideran generalmente como maleza debido a su carácter invasivo. Particularmente, estos arbustos crecen en áreas abiertas y a lo largo de los márgenes de los caminos. Finalmente, el género *Cytisus* incluye plantas arbustivas conocidas como escobas debido a la forma de sus ramas y su apariencia en general. Estas plantas prefieren suelos bien drenados y espacios soleados, y viven preferentemente en suelos pobres y ácidos. De manera general, las especies de estos tres géneros son resistentes a la sequía y suelen vivir en áreas abiertas, como matorrales, prados y terrenos baldíos o abandonados.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	

Plano Transversal

Madera de porosidad difusa a semi-porosa. En el leño temprano los poros son de tamaño medio, y se asocian en pequeñas agrupaciones. En el leño tardío los poros son muy pequeños. Los anillos de crecimiento son visibles. El parénquima apotraqueal es difuso, y se distribuye en bandas tangenciales reticulares, asociadas a los vasos y a las traqueidas vasculares.

Plano longitudinal Tangencial

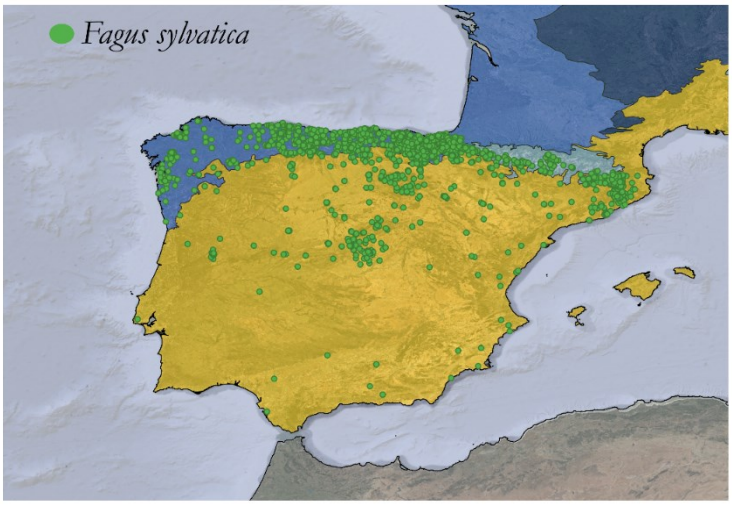
Radios desde uniseriados hasta numerosas series dependiendo de la especie, aunque generalmente contienen de 3 a 7 células de ancho y entre 30 y 50 células de altura. El parénquima es estratificado y de morfología fusiforme. La similitud entre los diferentes géneros de esta familia, así como la variabilidad de caracteres anatómicos dentro de la misma especie son muy altas (Baretta-Kuipers, 1981; Schweingruber, 1990), por lo que se ha optado por mantener la identificación taxonómica bajo la determinación de la familia Fabaceae.

Plano longitudinal radial

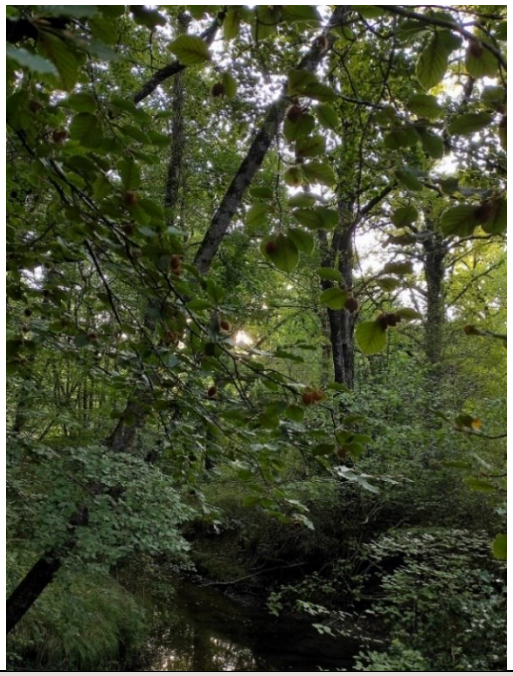
Se observan radios homogéneos que generalmente no presentan células marginales cuadradas. Los vasos tienen perforaciones simples y gruesos engrosamientos en espiral. El tejido se compone por fibras de morfología libriforme y traqueidas vasculares.

4.3.9. *Fagus sylvatica*

Nomenclatura	*Fagus sylvatica*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Fagaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Fagus*
Especie/s	*Fagus sylvatica* L.		
Nombre cat/cast/ing	Faig; Haya; Common beech		
Distribución actual *Fagus sylvatica* L.			



Fotografía de especies





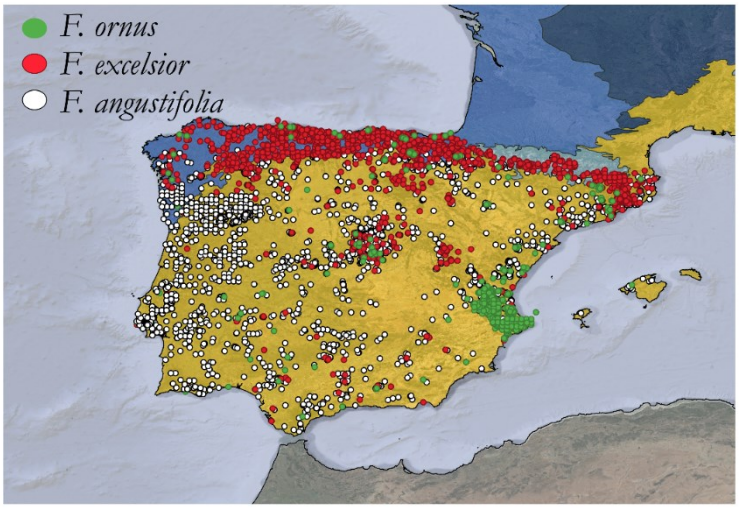
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Bosques mixtos con abetos, formación de hayedos		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	(0) 900-1.600 (2.000)
TMA (ºC)	7.3 - 10	**Orientación**	Umbría
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	18 / 0	**PMA (mm)**	600-900
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Calizos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
La madera es frondosa, semidura y pesada, de tonalidad clara y nerviosa. Su uso como combustible es habitual en las regiones donde abunda la especie. La madera de las ramas, tronco y raíces fueron, tradicionalmente, empleadas como una de las principales fuentes de carbón vegetal. Como material constructivo, la madera se ha usado para la elaboración de sillas de embarcaciones y para la fabricación de carros y aperos de transporte. Su fruto es comestible, aunque si se consume en crudo tiene cierto grado de toxicidad. Tradicionalmente, su hoja es recogida a finales de verano hasta principio de otoño para alimentar a rebaños ovicaprinos, y los frutos se han aprovechado para la alimentación de porcinos en el monte. El aceite de sus frutos se ha usado tradicionalmente para la iluminación de candiles.
DESCRIPCIÓN
Árbol caducifolio que se desarrolla bajo climas templados y suaves, en laderas umbrías de montaña y en valles, aunque soporta la radiación solar incidente. Es la especie dominante de los hayedos. Aunque también pueda encontrase en bosques mixtos con abetos, esta especie no soporta el frío intenso. Prefiere suelos profundos y calizos. En el noreste de la península ibérica se localiza especialmente en zonas de montaña.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera porosa a semiporosa. Los poros son numerosos en el leño temprano, que se distribuyen agrupados, y decrecen en el leño tardío, con distribución aislada. Las fibras son de paredes gruesas y los radios muy anchos.
Plano longitudinal Tangencial
Radios uni a multiseriados, de hasta 20-30 células de ancho. La altura de los radios varía entre 2-20 células en los radios uniseriados, mientras que los radios multiseriados contienen entre 30-80 células de altura.
Plano longitudinal radial
Presenta radios homogéneos, aunque algunas veces contienen células cuadradas marginales y pueden detectarse heterogéneos. Las perforaciones de los vasos son simples.

4.3.10. *Fraxinus* sp.

Nomenclatura	*Fraxinus* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Oleaceae
Orden	Lamiales	**Género**	*Fraxinus*
Especie/s	*Fraxinus excelsior; Fraxinus angustifolia; Fraxinus ornus*		
Nombre cat/cast/ing	Freixe de fulla grossa; Fresno; Common ash Freixe de fulla petita; Fresno de hoja estrecha; Narrow-leaved ash Freixe de flor; Fresno de flor		

Distribución actual *Fraxinus* sp.



Fotografía de especies

Fraxinus angustifolia





Fraxinus excelsior

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Bosques de ribera, formaciones de caducifolios húmedos y bosques mixtos en zonas sombrías		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Aplina y Mediterránea	**Altitud msnm**	500 - 1.000 (1.800)
TMA (ºC)	7 - 13	**Orientación**	Umbría
~~**Tmc (ºC) / Tmf (ºC)**~~	~~20 – 30 / -5 - 6~~	~~**PMA (mm)**~~	~~500-600~~
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Limos y arcillas		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

Fraxinus angustifolia produce buena madera, de color claro y amarillento, flexible y resistente. El tronco es marcadamente torcido. Se utiliza para piezas de ebanistería y para elementos que requieren elasticidad. Muy apreciada para la fabricación de bastones, mangos y herramientas que deben resistir los impactos. No es considerado un buen combustible, aunque las ramas suelen usarse como leña fina para el encendido de hogares. *Fraxinus excelsior* produce una madera semidura, de tonalidades claras amarillentas o rosadas, y la forma natural de su tronco es ligeramente torcido. Tiene propiedades mecánicas similares a las de la especie anterior y prácticamente los mismos usos. También se utiliza para ramoneo de ganado y para ahumar carnes, pues quema con facilidad y proporciona buenas brasas. *Fraxinus ornus* produce una madera similar a la de las especies anteriores, dura y de color rosado.

Las hojas, corteza y, en menor medida, el fruto de *F. angustifolia* y *F. excelsior* se han usado ampliamente en medicina popular, como tratamiento del reuma o la artrosis, para favorecer la circulación y como antidiarreico (D'Ambrosio et al., 2020: 79. La infusión de hojas de *F. angustifolia* se ha usado tradicionalmente contra la brucelosis en los animales domésticos, enfermedad infecciosa y contagiosa que provoca abortos (D'Ambrosio et al., 2020: 81).

DESCRIPCIÓN

Al género *Fraxinus* pertenecen especies mesotermas, que viven en un régimen térmico intermedio a fresco y requieren mucha humedad para su desarrollo. Las especies tienen un temperamento de media luz y soportan el frío, aunque es un género muy sensible a las heladas. *F. excelsior* se desarrolla en bosques caducifolios húmedos de media montaña hasta los climas frescos de alta montaña, entre los 500 y 1.800 m., siendo propio de la región Atlántica. Puede llegar a los 40 m. de altura. *F. angustifolia* es más típico del clima mediterráneo o atlántico con sequía estival y no exige tanta agua como la especie anterior, pues soporta mejor la aridez siempre que exista una cierta humedad ambiental. Se desarrolla en bosques de ribera y puede alcanzar los 20 m. de altura. Se observa en ambas especies cierto carácter pionero o colonizador en terrenos alterados. *F. ornus* es una especie introducida, que suele verse en espacios urbanos, sobre todo en las sierras del Levante peninsular.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Plano Transversal

Anillo poroso, el tamaño de los poros varía según la zona de crecimiento. Los poros se distribuyen solitarios o en múltiples radiales cortos de uno o dos poros. Paredes gruesas en los vasos del leño tardío. El parénquima es vasicéntrico (parénquima paratraqueal) que, formando a modo de una vaina, envuelve completamente los vasos conductores.

Plano longitudinal Tangencial

Radios bi y triseriados, de una altura que puede llegar a las 20 células.

Plano longitudinal radial

Radios homogéneos y rara vez heterogéneos con una fila de células marginales cuadrangulares. Perforaciones simples en los vasos. En los campos de cruce hay numerosos hoyos pequeños. Parénquima axial con células cortas, cuadradas y rectangulares próximas al leño tardío, y células más alargadas próximas a los vasos. Fibras libriformes presentes.

4.3.11. *Hedera helix* ssp.

Nomenclatura	*Hedera helix* ssp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Araliaceae
Orden	Apiales	**Género**	*Hedera*
Especie/s	*Hedera helix* L.		
Nombre cat/cast/ing	Eura; Hiedra; Ivy		
Distribución actual *Hedera helix* L.			



Fotografía de especies

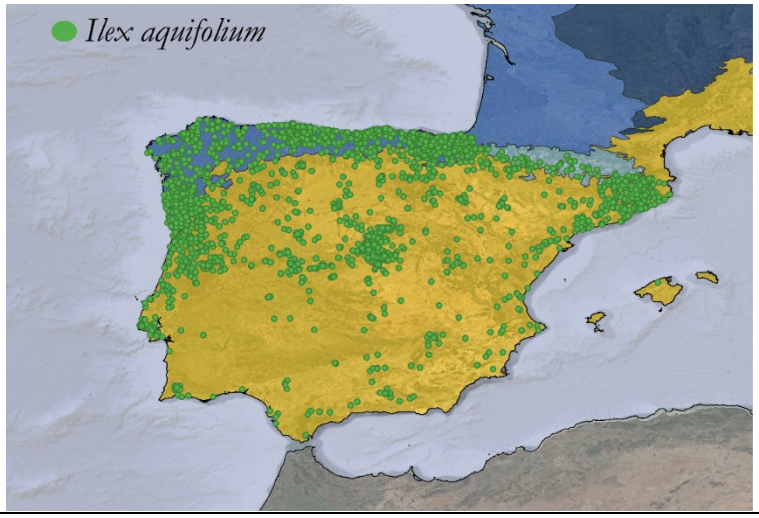




CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Liana trepadora	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Encinares, bosques de ribera (alisedas, olmedas) y zarzales		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica y Mediterránea	**Altitud msnm**	0 - 1.500
TMA (ºC)	-	**Orientación**	Umbría
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	>500 mm.
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Calizos		

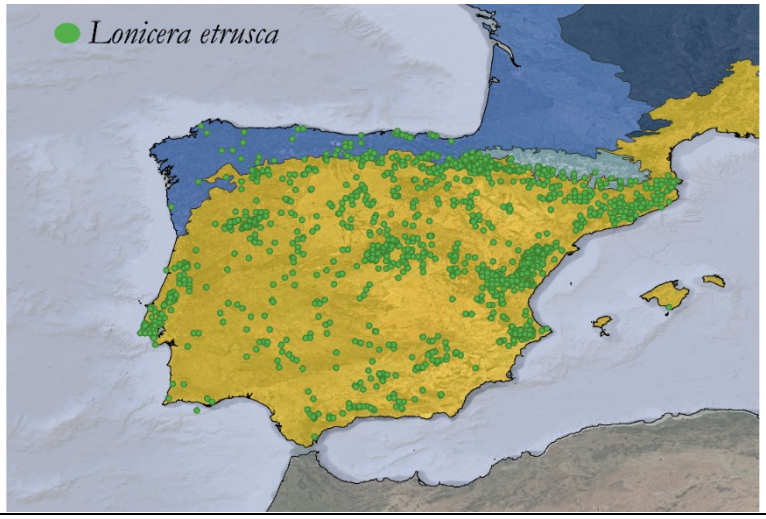
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
Madera blanda y muy porosa. En estado seco puede utilizarse como escoba. Los tallos jóvenes proporcionan tinte amarillo y marrón si se llevan a ebullición. El fruto es una baya negra y es venenoso, por lo que se considera una planta tóxica que produce vómitos y diarreas. El contacto repetido con las hojas puede provocar dermatitis con inflamaciones y heridas. Dada su toxicidad, se ha usado la planta fresca para favorecer la expulsión de la placenta en ovicaprinos.
DESCRIPCIÓN
Liana trepadora con ramas jóvenes rectas, que crece en lugares de ambiente húmedo y fresco en bosques, barrancos, desfiladeros y en rocas, se enrolla en los troncos de los árboles. Los tallos son gruesos y pueden llegar a los 30 m. de largo. Es una planta muy común y de distribución muy amplia en la península ibérica. Es característica del estrato arbustivo y arbóreo bajo de encinares y bosques de ribera, aunque puede llegar al piso montano y convivir en robledales y hayedos. La hiedra prefiere ambientes frescos y húmedos, aunque también puede tolerar algunas condiciones más cálidas y secas.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera difusa a semi-difusa, los poros del leño temprano tienden a ser de mayor tamaño y son menos abundantes. Poros agrupados tangencialmente, separados por filas de radios multiseriados. Tiene parénquima apotraqueal y paratraqueal
Plano longitudinal Tangencial
Radios multiseriados, de 4 a 8 células de ancho. Los radios más anchos presentan espacios intercelulares de morfología circular.
Plano longitudinal radial
Radios homogéneos con tendencia a la heterogeneidad, pues puede tener hasta tres filas de células marginales cuadradas o verticales, radios con paredes gruesas. Las punteaduras de los vasos son de tamaño grande y las perforaciones de los vasos son simples.

4.3.12. *Ilex aquifolium*

Nomenclatura	*Ilex aquifolium*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Aquifoliaceae
Orden	Aquifoliales	**Género**	*Ilex*
Especie/s	*Ilex aquifolium* L.		
Nombre cat/cast/ing	Grèvol; Acebo; Holly		
Distribución actual *Ilex aquifolium* L.			
			
Fotografía de especies			
			
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Bosques y landas o matorrales de la degradación del bosque mixto atlántico		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Mediterránea	**Altitud msnm**	300 – 1.850
TMA (ºC)	5.6 – 11.3	**Orientación**	Umbría
~~**Tmc (ºC) / Tmf (ºC)**~~	~~-~~	~~**PMA (mm)**~~	~~810 – 2.150~~
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófilo
Estratos	Silíceos o descarbonatados		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
La madera es de color blanco o grisáceo, de textura fina y uniforme. Carece de dibujos o vetas y es muy dura, pesada y compacta, preciada en ebanistería, marquetería y tornería. No flota en el agua. Tiene un poder calorífico alto y quema también cuando está verde. Tradicionalmente la madera de acebo se ha usado para fabricar baquetas de fusiles y mangos de herramientas agrícolas. Sus frutos tienen propiedades eméticas y purgantes que causan intoxicaciones, especialmente en los niños.
DESCRIPCIÓN
Arbolillo perennifolio siempreverde, que alcanza entre los 2 y 15 m. de altura, a menudo de porte arbustivo de tronco derecho y copa densa y ramificada. Se desarrolla en bosques de media montaña, prácticamente en todo el nordeste peninsular. Forma parte del sotobosque de hayedos, abetales, pinares-quejigares e incluso de encinares costero, pues requiere una humedad ambiental elevada y abundantes precipitaciones. También forma poblaciones muy densas y extensas (acebedas o acebales), sobre todo al norte de la península ibérica. En general, el acebo prefiere climas frescos y húmedos, y se puede encontrar en bosques y zonas boscosas en regiones templadas y subtropicales.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Los poros del anillo se distribuyen de manera difusa. Son de pequeño tamaño, y se agrupan en filas radiales de 4 o más poros. Parénquima difuso, apotraqueal y paratraqueal.
Plano longitudinal Tangencial
Presenta dos tipos de radios: uniseriados con células ovaladas axiales y radios multiseriados de 4 a 8 células de morfología redonda.
Plano longitudinal radial
Radios heterogéneos. Engrosamientos de los vasos en espiral y en fibro-traquéida. Perforaciones escalariformes de 12 a 20 barras, rara vez hasta 30.

4.3.13. *Lonicera* sp.

Nomenclatura	*Lonicera* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Caprifoliaceae
Orden	Dipsacales	**Género**	*Lonicera*
Especie/s	*Lonicera etrusca* Santi.*; Lonicera implexa* Ainton.*; Lonicera periclymenum* L.		
Nombre cat/cast/ing	Lligabosc etrusc; Madreserlva; Honeysuckle Lligabosc mediterrani; Zapaticos Lligabosc atlàntic; Zapatillas de la Vrigen		
Distribución actual *Lonicera etrusca* Santi.			
			
Fotografía de especies			
  @*Flora Catalana – Lonicera etrusca*			
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbustos y lianas	**Follaje**	Caducifolio, Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Regiones templadas y subtropicales del hemisferio norte		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea y Atlántica	**Altitud msnm**	50-1.800
TMA (ºC)	-	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	-
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Indistintos		
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA			
Lonicera etrusca se recolecta para alimentar al ganado caprino, pues se describe que la planta puede mejorar la calidad de la leche. *Lonicera implexa* tiene un tallo fistuloso, que se ha usado para la elaboración de bebidas alcohólicas. Las ramas de *L. implexa y Lonicera periclymenum* también se han aprovechado para alimentar a caprinos, aunque sus flores y frutos, en cambio, son toxicas para el			

consumo. Los troncos añosos de *L. periclymenum* han sido usados como leña, y su tallo para fabricar empuñaduras y mangos de herramientas.

DESCRIPCIÓN

Lonicera sp. es un género con especies arbustivas y lianas trepadoras, sarmentosas y ramificadas, que pueden distribuirse hasta los 1.800 m. de altitud. Las especies que incluye el género se denominan comúnmente madreselvas. En el NE de la Península ibérica se distribuyen por ambientes mediterráneos lluviosos y en el piso montano sub-mediterráneo. *L. implexa* es de follaje caducifolio y aguanta las condiciones de sequía. Se distribuye en bosques esclerófilos mediterráneos de encinar. *L. etrusca* es de follaje perennifolio, y convive con robledales o comunidades vegetales de tendencia continental, aunque también convive a menor altitud con los encinares mediterráneos. *L. periclymenum* es de follaje caducifolio y puede encontrarse entre las zarzas de los bosques de ribera, también conviviendo en robledales y hayedos, pues necesita unas condiciones ambientales más húmedas.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Plano Transversal

Madera semi-difusa. Los poros se distribuyen solitarios, rara vez en pequeños grupos o grupos. Una transición brusca entre el leño temprano y el leño tardío se observa por el tamaño de los poros, más anchos en el leño tardío.

Plano longitudinal Tangencial

Radios uni a triseriados, rara vez con 4 o multiseriados. La altura de los radios es de 8 a 15 células. En los radios multiseriados las células marginales son de forma rectangular.

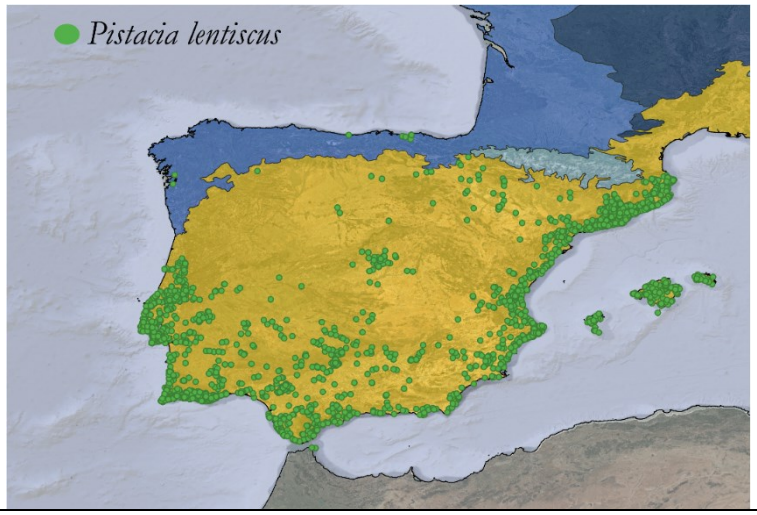
Plano longitudinal radial

Radios heterogéneos. Perforaciones normalmente simples en los vasos, aunque de manera ocasional pueden ser escalariformes. Presenta engrosamientos en espiral muy finas en los vasos y células ligeramente agrandadas y cuadradas en los radios multiseriados.

4.3.14. *Pistacia lentiscus*

Nomenclatura	*Pistacia lentiscus*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Anacardiaceae
Orden	Sapindales	**Género**	*Pistacia*
Especie/s	*Pistacia lentiscus* L.		
Nombre cat/cast/ing	Llentiscle; Lentisco; Lentisk		

Distribución actual *Pistacia lentiscus*



Fotografía de especies





CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Matorrales termófilos mediterráneos		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea	**Altitud msnm**	0–1.000 (1.200)
TMA (ºC)	35 - 40	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	25 - 30 / 5 - 10	**PMA (mm)**	300-800
Régimen Térmico	Termófila	**Pluviometría**	Xerófila
Estratos	Pobres y calizos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

La madera es de buena calidad, de color rojiza y resinosa. El lentisco ha sido utilizado como leña para el alumbre, dar calor y cocinar. De la madera se obtiene carbón de baja calidad. Las ramas se ~~han empleado para la construcción de cabañas de pastores y los tallos para la fabricación de cestas~~ y paneras, cucharas, agujas de coser y garrotes. También se ha usado como atrayente y trampa para

moscas, mosquitos y piojos. Los frutos son comúnmente comidos por animales salvajes, aves y cabras. La resina de las ramas es aromática y puede masticarse como un chicle.

DESCRIPCIÓN

Arbusto perennifolio esclerófilo muy ramificado, que a veces puede desarrollarse como pequeño árbol (de 1 a 4 m de altura), aunque suele desarrollarse como un matorral de mucha espesura. Es una especie común muy extendida en la región Mediterránea, incluidas las islas baleares. Se desarrolla en las maquias litorales, garrigas o maquias muy soleadas, donde suele ser muy abundante junto a bosques abiertos de bajo pinar o coscojales. En general, el lentisco prefiere climas cálidos y secos, y se adapta bien a suelos pobres y rocosos en zonas costeras y de montaña. Aunque puede tolerar altas temperaturas en verano, su crecimiento y desarrollo óptimo ocurre en climas cálidos y suaves. Además, el lentisco es resistente a la sequía, por lo que tolera períodos de baja precipitación. Asimismo, es una especie con alta capacidad para rebrotar tras el fuego o la tala (Paula et al., 2009).

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Plano Transversal

Madera porosa. En los anillos de crecimiento de la madera tardía los poros se agrupan en filas radiales, y a veces puede observarse un patrón de agrupación dendrítico.

Plano longitudinal Tangencial

Radios generalmente bi a triseriados, aunque también uniseriados. En los radios uniseriados se observan de entre 3 y 10 células de alto, y en los multiseriados hasta 25 células. En alguno de los radios pueden observarse canales resiníferos.

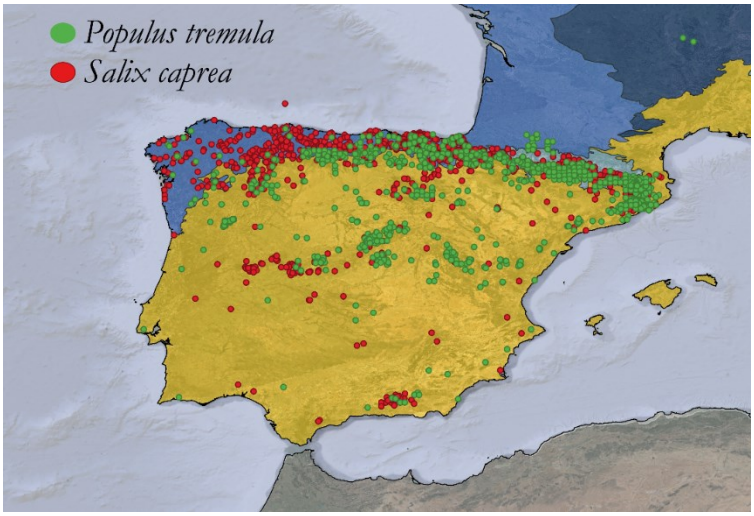
Plano longitudinal radial

Los radios son heterogéneos y las perforaciones de los vasos son simples. Los vasos contienen pequeñas punteaduras y, con excepción de los del leño temprano, se observan engrosamientos en espiral bien definidos. Fibras libiformes presentes.

4.3.15. *Populus/Salix*

Nomenclatura	*Populus/Salix*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Salicaceae
Orden	Malpighiales	**Género**	*Populus; Salix*
Especie/s	*Populus tremula* L. *Salix caprea* L.*; Salix fragilis* L.; *Salix alba* L.		
Nombre cat/cast/ing	Trèmol; Temblón; Aspen Salze; Sauce; Willow		

Distribución actual *Populus tremula* L. *y Salix caprea* L.



Fotografía de especies



Populus tremula





Salix alba

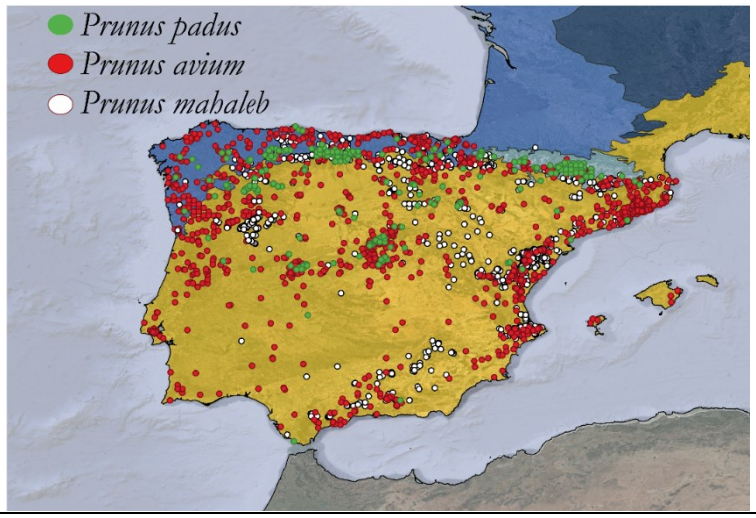
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Bosques riparios mediterráneos y zonas montañosas.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	(0)300-1.400 (2.000)
TMA (ºC)	17 - 15	**Orientación**	Umbría
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	16 - 28 / -7 - 10	**PMA (mm)**	300 - 1.000
Régimen Térmico	Microterma	**Pluviometría**	Higrófila
Estratos	Variabilidad		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
La madera de *Populus tremula* es ligera y blanda. Ha sido usada tradicionalmente para la construcción, como vigas y andamios. Sus ramas han sido usadas para el ramoneo de caprinos. La madera de *Salix fragilis* es de textura fina, blanda y ligera, por lo que resulta fácil de trabajar, resiste al golpeo repetido y a la fricción. De las raíces se pueden obtener tintes y las ramas se han usado como mimbres y para el ramoneo del ganado caprino. La madera de *Salix caprea* es fina y flexible, y se ha usado para tejer diferentes objetos de cestería y para la elaboración de empalizadas. De su carbón se ha producido pólvora.
DESCRIPCIÓN
Categoría que incluye a especies arbóreas del género *Populus* y árboles y arbustos del género *Salix,* de la familia de las Salicaceae. En el noreste de la Península ibérica pueden encontrarse también las especies de álamos y chopos como *Populus alba, Populus nigra,* y *Salix alba*, que fueron introducidas y, posiblemente, fueron resultado de hibridaciones naturales e intencionales, así como la explotación maderera. Muchas especies del género *Populus* se multiplican, hibridan y crecen rápidamente. El género *Salix* presenta serios problemas taxonómicos como consecuencia de la variabilidad morfológica de las especies. *P. tremula* es un árbol que puede alcanzar los 30 m. de altura, que se desarrolla en laderas umbrías de bosques caducifolios esclarecidos en sistemas montañosos, entre 300-1.000 m. de altitud, así como en fondos de valle y en los márgenes de torrentes, arroyos y manantiales. A veces forma bosquetes en laderas húmedas. Esta especie vive en un régimen térmico frío y es más higrófila que el resto de las especies, aunque su carácter ripícola le permite nutrirse de agua freática por lo que es más o menos independiente del régimen de precipitaciones. *S. fragilis* es un árbol que crece entre 8 y 20 m. de altura. Se desarrolla en humedales, sotos y en las orillas de los ríos, especialmente sobre suelos inundados, y se extiende desde 0-1.900 m. de altitud. *S. caprea* se desarrolla en bordes y claros en los hayedos, abetales y otros bosques, sobre suelos bien drenados.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera porosa a semiporosa. Los poros se distribuyen aislados o en cortas filas radiales, a veces agrupados.
Plano longitudinal Tangencial
Radios uniseriados. La altura de los radios es de 10 a 15 células. Las punteaduras intravasculares son numerosas y grandes, con morfología poligonal.
Plano longitudinal radial
Los radios del género *Populus* son homogéneos y los del género *Salix* son heterogéneos. Perforaciones simples de los vasos. Fibras libriformes presentes. Los radios de *Salix* pueden contener células marginales. Las distintas especies de ambos géneros presentan varias similitudes en los caracteres anatómicos, que dificultan la adscripción taxonómica de las especies. Asimismo, se ha optado en esta tesis doctoral por unir ambos géneros, ya que la distinción entre ambos géneros resulta arriesgada si no se observan los caracteres anatómicos que las distinguen.

4.3.16. *Prunus* sp.

Nomenclatura	*Prunus* sp.		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia** **Subfamilia**	Rosaceae Prunoideae
Orden	Rosales	**Género**	*Prunus*
Especie/s	*Prunus spinosa* L.; *Prunus mahaleb* L.; *Prunus padus* L.; *Prunus avium* L.; *Prunus amygdalus*		
Nombre cat/cast/ing	Aranyoner; Cirerer bord; Gatzerí; Cirerer; Ametller Endrino; Cerezo de Santa Lucía; Cerezo aliso; Albaruco; Almendral Blackthorn; Mahaleb cherry; Bird cherry; Wild cherry; Almond		

Distribución actual *Prunus* sp.



Fotografía de especies

@*Flora Catalana – Prunus spinosa*





@*Flora Catalana – Prunus amygdalus*



Prunus dulcis



@*Flora Catalana – Prunus avium*

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol, Arbusto	**Follaje**	Perennifolia, Caducifolia
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Secundario
Hábitat	Claros de los bosques húmedos caducifolios.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Alpina y Mediterránea	**Altitud msnm**	400 - 1.500 (2.000)
TMA (ºC)	4 – 14.1	**Orientación**	Solana
Tmc (º) / Tmf (º)	25 – 26 / -20 – -1	**PMA (mm)**	750 – 1.550
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Suelos profundos de limos y arcillas		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

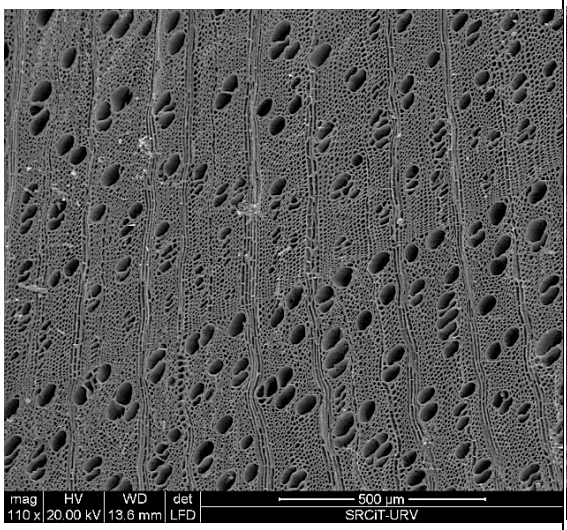
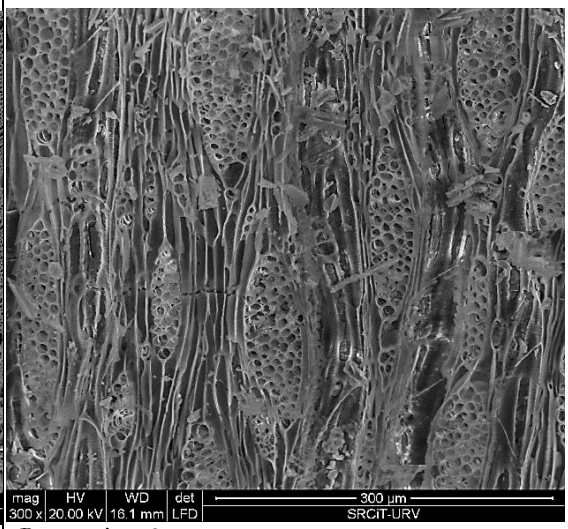
La madera de *Prunus avium* es semidura, muy apreciada actualmente para los trabajos de ebanistería y confecciones de parque. Los frutos son las cerezas silvestres, dulces y ampliamente consumidas por los seres humanos y por distintas aves. La madera de *Prunus mahaleb* también es dura, pesada y aromática, apreciada actualmente para la talla de pequeños objetos. Los frutos de este cerezo son amargos y pequeños. De las semillas de los frutos se produce una especie aromática, similar al sabor de las almendras. La madera de *Prunus amygdalus* es dura, y se utiliza actualmente para la fabricación de contrachapados y también como combustible, al igual que las cascaras de las almendras. Asimismo, la resina o gomas exudadas por los almendros han sido empleadas popularmente como astringente. La madera de *Prunus padus* no es muy apreciada, dada su poca elasticidad y su tendencia a resquebrajarse fácilmente (Johnson, 1978). Sus frutos son amargos, y generalmente se utilizan en la elaboración de mermeladas o para aromatizar bebidas alcohólicas. Los frutos también forman una parte importante en la dieta de algunas especies de aves. La madera de *Prunus spinosa* prácticamente no tiene un uso habitual en el ámbito productivo ni comercial. No obstante, sus ramas, densas y espinosas, proporcionan protección a las aves y a pequeños mamíferos, y suelen dificultar el paso de animales y humanos. Su fruto, la endrina, es usado principalmente para la elaboración de mermeladas, jaleas, conservas avinagradas y en la elaboración de bebidas alcohólicas destiladas, o como ingredientes en diversos tipos de pastas. Las flores y los pétalos tienen propiedades medicinales para combatir diarreas y anemias, puesto que tienen un gran contenido de vitamina C.

DESCRIPCIÓN

Las especies del género *Prunus* son arbustivas y arbóreas, de carácter tanto caducifolio como perennifolio. Se caracterizan por ser especies pioneras, que se distribuyen por zonas templadas, entre los 400 y 1.500 m. de altitud, y en zonas secas subtropicales del hemisferio norte. Suelen crecer en los claros de los bosques húmedos caducifolios, generalmente cerca de los cursos de agua y resisten bien temperaturas hasta los -10 ºC. Son especies sensibles a las heladas primaverales. *P. avium*, no obstante, no resiste las bajas temperaturas ni el estrés climático, y muchas veces es susceptible a las plagas bacterianas. *P. padus* es de crecimiento rápido y tiene tendencia a formar matorrales, lo que lo hace muy efectivo como cortavientos. *P. amygdalus*, en cambio, es característico en ambientes templados y secos (Polunin, 1980). *P. spinosa* es un matorral o arbusto espinoso, que suele crecer en los márgenes y aberturas de los bosques, en laderas soleadas y rocosas, en barrancos, valles fluviales o en cinturones adyacentes entre prados y pastizales. *P. mahaleb* crece en unas condiciones similares a *P. spinosa* aunque precisa de suelos calcáreos y rocosos. Aunque menos abundante, se distribuyen actualmente en el centro y sur de Europa hasta el norte de la Península ibérica. Es una especie propia de orlas arbustivas, comunidades dinámicas de montaña y mayoritariamente espinosas. Desde una perspectiva ecológica, *P. mahaleb* garantiza la regeneración natural del bosque. La subfamilia de las prunoideas se caracteriza por sus frutos drupáceos, los cuales son muy apreciados como alimento tanto para los humanos, pequeños mamíferos y pájaros (Evans y Dickinson, 1999). Asimismo, algunas especies de estos árboles frutales, como *P. mahaleb y P. amygdalu*s, son susceptibles actualmente al ataque fúngico, especialmente al hongo *Phytophtora* (Mircetich y Matheron, 1976). Este hongo se introduce en su

interior a través de heridas o zonas sensibles, produciendo una materia gelatinosa o gomosa de un color oscuro, que resuda a través de cualquier orificio que se encuentre tanto en ramas como en el tronco de los árboles.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	
	Prunus tipo 2

Plano Transversal

Madera semi-porosa, aunque dependiendo la especie esta puede ser difusa, como en *P. spinosa*, o porosa como se observa en *P. amygdalus*. Los poros se distribuyen de manera aislada en el leño temprano, y los del leño tardío pueden agruparse en grupos de 2 a 6 poros, en orientación radial u oblicua. Los anillos de crecimiento son visibles. El parénquima es apotraqueal y difuso.

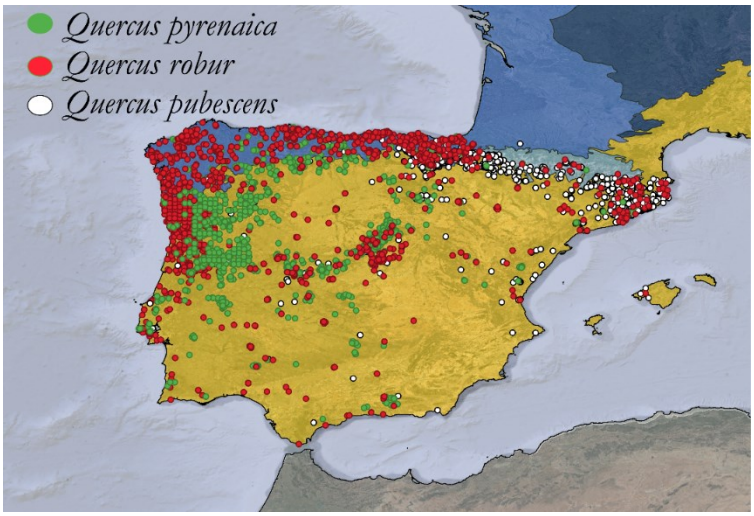
Plano longitudinal Tangencial

Los radios pueden ser uni hasta multiseriados. Es característico del género que los radios tengan células marginales verticales en todo el contorno externo. La anatomía del género *Prunus* es muy similar en todas las especies. Para resolver esta limitación se ha optado por seguir la clasificación propuesta por Hienz y Barbaza (1998), que categorizaron el género *Prunus* en 3 categorías diferentes, según la cantidad de células presentes en el ancho de los radios. En primer lugar, *Prunus* tipo 1, cuando los radios no contienen más de 2 células de ancho; *Prunus* tipo 2, cuando los radios contienen entre 3 y 5 células de ancho y, finalmente, *Prunus* tipo 3, cuando los radios contienen más de 5 células de ancho. así, se incluye en la categoría *Prunus* tipo 1 a las especies *P. avium/padus*, *Prunus* tipo 2 a las especies *P. spinosa/mahaleb* y *Prunus* tipo 3 a las especies correspondientes a *P. spinosa/amygdalus* (Allue et al., 2018b). La nomenclatura *Prunus* sp. se ha utilizado en los casos en que no ha sido posible la cuantificación de las células en el ancho de los radios.

Plano longitudinal radial

Se observan radios heterogéneos en los radios multiseriados. La perforación de los vasos es simple, y las punteaduras son de pequeño a medio tamaño, dependiendo la especie, de morfología redondeada. Los vasos presentan engrosamientos en espiral, muy finos pero densos.

4.3.17. *Quercus* sp. caducifolio

Nomenclatura	*Quercus* sp. caducifolio		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Fagaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Quercus*
Especie/s	*Quercus faginea* Lamk.; *Quercus pubescens* Willd.; *Quercus pyrenaica* Willd.; *Quercus robur* L.		
Nombre cat/cast/ing	Roure de fulla petita; Roble carrasqueño; Portuguese oak Roure martinenc; Roble pubescente; White oak Roure reboll; Rebollo; Pyrenean oak Roure penol; Rebollo; Common oak		
Distribución actual *Quercus* sp. caducifolio			
			
Fotografía de especies			
Quercus pubescens 		*Quercus robur* 	
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Laderas de montaña y valles interiores.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea, Atlántica y Alpina	**Altitud msnm**	740 – 1.300 (1.900)
TMA (ºC)	8.6 – 12.5	**Orientación**	Umbría
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	15 – 26 / -3 – 5	**PMA (mm)**	350 – 1.500
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Silicios y calizos, terrenos pedregosos y en sedimentos arenosos a limo-arcillosos		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

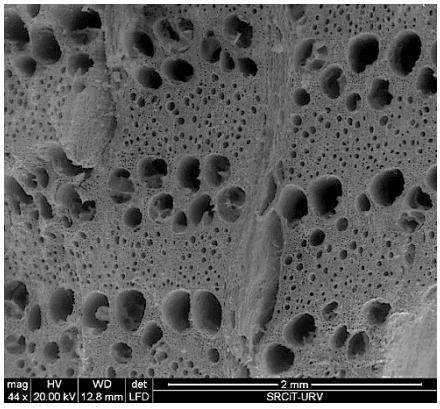
La madera de los robles es considerada de gran calidad. Es de tonalidades marrón a amarillo claro, densa, pesada, con cierta elasticidad, resistente a la compresión y de grano grueso. Es muy apreciada para material constructivo y la elaboración de herramientas y útiles. Asimismo, es una madera que se seca muy lentamente. La leña es muy apreciada para su uso como combustible, dado su alto poder calorífico. Las llamas que se desprenden de la combustión se usan para la iluminación o el calentamiento rápido de hornos.

DESCRIPCIÓN

*Quercu*s es un género complejo dada la cantidad de especies, subespecies e hibridaciones que conviven actualmente en el NE de la Península ibérica. La caracterización taxonómica de los taxones caducifolios resulta problemática o poco precisa, motivo por el cual comúnmente se utiliza la categoría *Quercus* sp. caducifolio en los estudios antracológicos. Esta categoría engloba especies mesófilas y meso-termófilas caducifolias. Los robles de carácter atlántico, como *Quercus petraea* y *Quercus robur*, constituyen bosques caducifolios de montaña en condiciones climáticas húmedas o más lluviosas, entre los 500 y 1.800 msnm Actualmente *Q. petraea* se hibrida con *Quercus faginea*, formando individuos intermedios de difícil determinación, entre los 100 y los 1.200 msnm Los robles submediterranios, más pequeños y de copa menos densa, son los *Quercus pyrenaica, Quercus pubescens* y *Q. faginea*, que se desarrollan en territorios bajo condiciones climáticas temperadas, húmedas y de carácter mediterráneo. Estas especies son simpátricas, por lo que actualmente es común la hibridación. *Q. pubescens* representa el árbol dominante bastante común en el sur de Europa, mientras que en el noreste de la Península ibérica se encuentra, frecuentemente, con formaciones de boj en el piso supramediterráneo (*Buxo-Quercetum pubescentis*).

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal



Plano Transversal

Madera porosa. En el leño temprano se distribuyen una o varias filas de poros de mayor tamaño, mientras que en el leño tardío éstos son más pequeños, que se distribuyen solitarios o formando agrupaciones dendríticas orientadas radialmente, en forma de llama. La organización porosa se interrumpe por radios multiseriados.

Plano longitudinal Tangencial

Dos tipos de radios, uniseriados con células cuadradas y radios multiseriados. A veces las fibras se mezclan en el tejido de los radios. Los radios uniseriados pueden alcanzar las 10 células de altura, mientras que los multiseriados pueden contener más de 40 células de anchura en los radios.

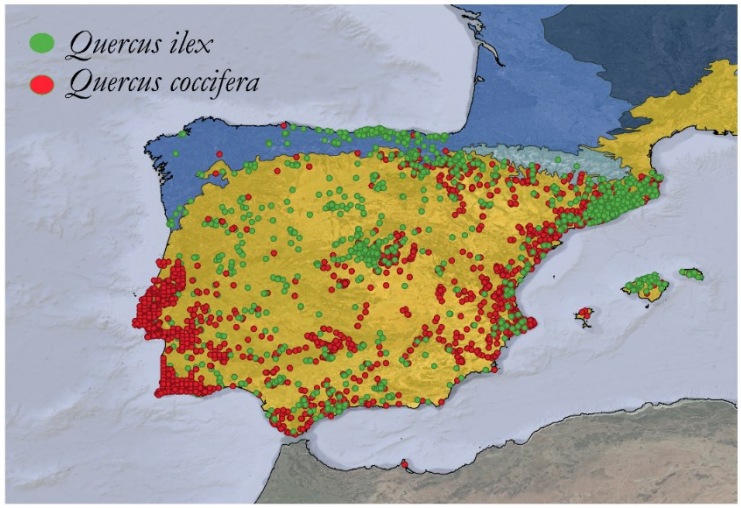
Plano longitudinal radial

Radios homogéneos. Perforaciones simples en los vasos. En los radios uniseriados pueden observarse células de morfología cuadrangular.

4.3.18. *Quercus* sp. perennifolio

Nomenclatura	*Quercus* sp. perennifolio		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Fagaceae
Orden	Fagales	**Género**	*Quercus*
Especie/s	*Quercus ilex* subsp. *ilex*.; *Quercus coccifera* L.; *Quercus suber* L.		
Nombre cat/cast/ing	Alzina; Encina; Holly oak Garric; Carrasca; Kermes oak Alzina surera; Alcornoque; Cork oak		

Distribución actual *Quercus ilex/coccifera*



Fotografía de especies



Quercus suber





Quercus ilex

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol, arbusto	**Follaje**	Perennifolia
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	Dominante
Hábitat	Litoral, piedemonte		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea	**Altitud msnm**	0 – 1.000 (1.600)
TMA (ºC)	11.4 – 18.1	**Orientación**	Indiferente
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	<25 / >10	**PMA (mm)**	460 - 860
Régimen Térmico	Moderadamente termófila	**Pluviometría**	Xerófila
Estratos	Calcáreos o silíceos y arenosos.		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

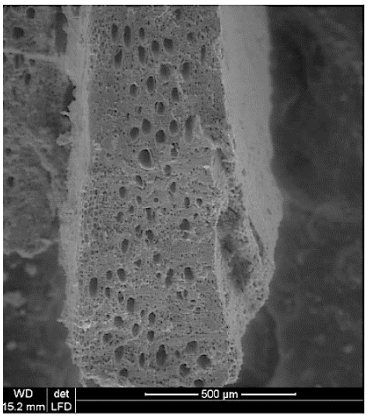
La madera de estas tres especies es dura y resistente, por lo que tradicionalmente se ha utilizado para elaborar herramientas, objetos de ebanistería y fines constructivos. La leña y el carbón son de excelente calidad como combustible, pues el poder calorífico es alto y se obtiene una combustión lenta. El aprovechamiento de hojas y ramas de encina como forraje verde o seco para el ramoneo de ganado, especialmente el caprino, es un uso tradicional generalizado que se reserva principalmente para el invierno. Las bellotas se han recolectado para alimentar al ganado, especialmente al porcino.

DESCRIPCIÓN

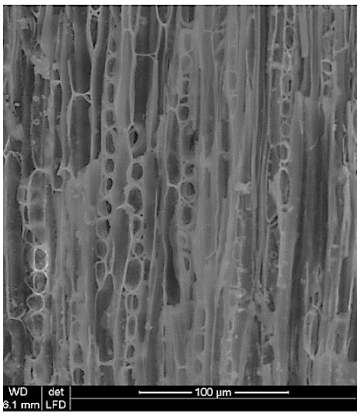
Quercus ilex es un taxón arbóreo, perennifolio, que puede medir entre los 5 y 15 m. de altura. Es muy recurrente de la vegetación circunmediterránea, que puede desarrollarse hasta los 1.400 msnm Aunque *Quercus ilex* es una especie xerófila, prefiere ambientes con humedad moderada y su crecimiento puede verse limitado en ambientes muy secos. Asimismo, es una especie estructural en numerosos bosques de la península ibérica, e incluye dos subespecies, *Q. ilex* subsp. *ilex* y subsp. *rotundifolia* (=*ballota*). Como dominante, la primera subespecie ocurre en el bosque esclerófilo mediterráneo del encinar, de condiciones subhúmedas y en suelos básicos, y puede acompañarse de pinares mediterráneos y vegetación mesófila en áreas costeras degradadas (Reille y Pons, 1992; Terradas, 1997). En cambio, la subespecie *rotundifolia* (=*ballota*) ocurre en lugares más secos y cálidos del interior. *Quercus coccifera* es un arbusto ramificado, perennifolio, que se desarrolla en encinares, robledales quemados y en formaciones abiertas de matorrales, que crece entre los 400 y 900 msnm En general, no supera los 6 m. de altura. Necesita unas condiciones secas y soleadas, puesto que resiste bien los climas secos y semiáridos. Soporta condiciones del clima mediterráneo continental, con temperaturas extremas y escasas precipitaciones (Baquedano y Castillo, 2007). *Q. coccifera* puede substituir al taxón dominante *Q. ilex* en las zonas más secas. *Quercus suber* es un taxón arbóreo, de corteza suberosa agrietada y muy gruesa formada por corcho. Se extiende por substratos silíceos, en lugares frescos y abrigados.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

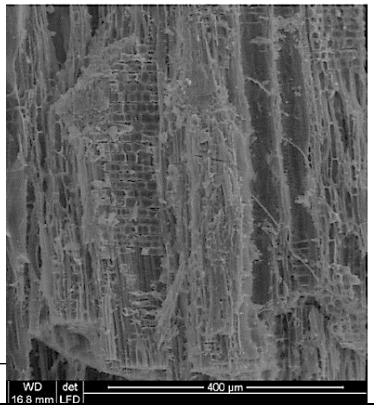
Transversal



Tangencial



Radial

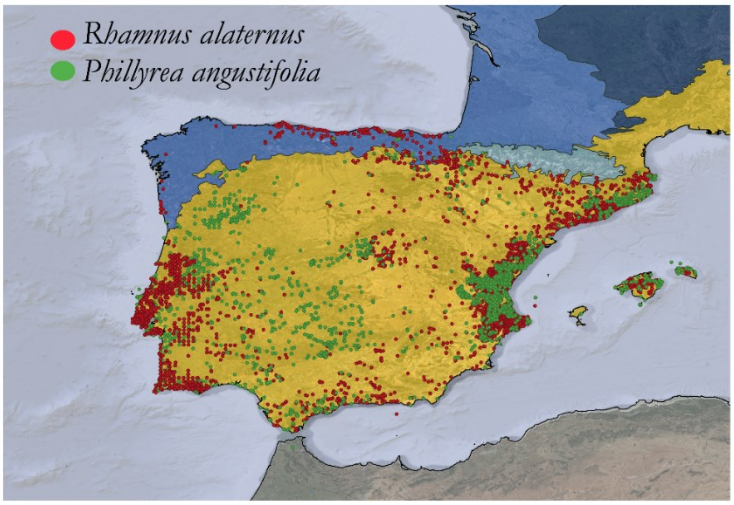


Plano Transversal
Madera de porosidad difusa. Los poros se distribuyen aislados, siendo de mayor tamaño los organizados en el leño temprano. Los poros más pequeños se distribuyen en forma de llama alargada. Esta disposición se interrumpe intermitentemente por la presencia de radios multiseriados.
Plano longitudinal Tangencial
Según la cantidad de células los radios pueden dividirse en uniseriados, que pueden alcanzar las 10 células de altura, y en radios multiseriados, de hasta 30 células de ancho.
Plano longitudinal radial
Radios homogéneos. Vasos con perforaciones simples. Las punteaduras de los campos de cruce radio-vaso son pequeñas y medianas, de morfología elíptica.
OBSERVACIONES
La identificación de los fragmentos de carbón pertenecientes al Género *Quercus* suele clasificarse en dos grupos, según si son especies caducifolias o perennifolias. En términos ecológicos, las especies caducifolias presentan una mayor eficiencia de reabsorción de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, en comparación a las especies perennifolias (Cavender-Bares et al., 2004). Se ha determinado la categoría *Quercus* sp. perennifolio y *Quercus ilex/coccifera* para los taxones perennifolios identificados del género *Quercus*, puesto que los caracteres anatómicos de las tres especies no hacen posible su distinción.

4.3.19. *Rhamnus alaternus/Phillyrea*

Nomenclatura	*Rhamnus alaternus/Phillyrea*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Rhamnaceae Oleaceae
Orden	Rosales Lamiales	**Género**	*Rhamnus* *Phillyrea*
Especie/s	*Rhamnus alaternus* Mill.*; Phillyrea angustifolia* L.		
Nombre cat/cast/ing	Sanguinyol; Aladierno; Italian buckthom Lladern; Labiérnago; Mediterranean buckthorn		

Distribución actual *Rhamnus alaternus* y *Phillyrea angustifolia*



Fotografía de especies



@ *Flora Catalana - Rhamnus alaternus*



Phillyrea angustifolia

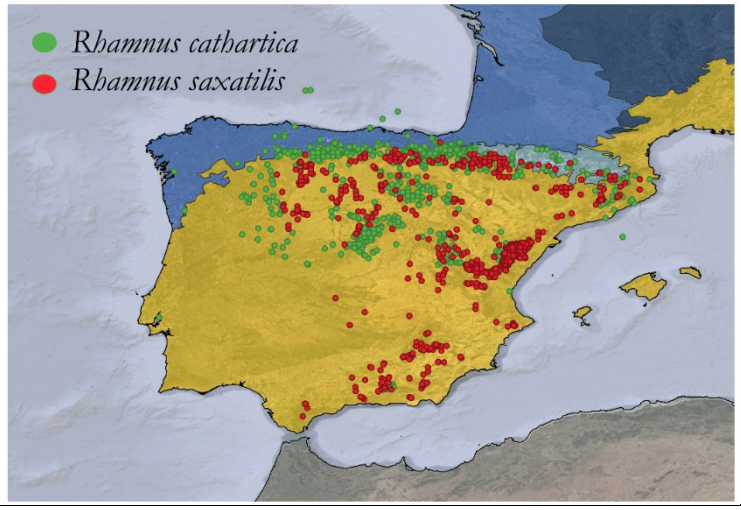
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto	**Follaje**	Perennifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Encinares, carrascales y alcornocales, también en maquias y garrigas con otras comunidades esclerófilas.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Mediterránea	**Altitud msnm**	0 - 1.300 (1.600)
TMA (ºC)	20 - 30	**Orientación**	Luz y media sombra
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	400 - 800
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Termófila
Estratos	Calizos o silíceos indistintamente		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA
La madera del aladierno es dura, pesada y homogénea, con buenas características para la tornería y ebanistería. La corteza del aladierno se ha usado como purgante ya que contiene antracénicos como la alaterina. En las ramas y hojas contiene taninos y, por lo tanto, son astringentes, lo que se ha usado en medicina popular contra los procesos inflamatorios bucales y faríngeos. De la raíz, corteza y frutos se extraen colorantes de tonalidades amarillas o rojas, en función del grado de madurez.
DESCRIPCIÓN
Arbustos que pueden llegar a desarrollarse como un pequeño árbol. Ambas especies son perennifolias y mediterráneas. Son especies características del sotobosque del encinar esclerófilo de la costa y del encinar de montaña. Se forman en orlas y claros del encinar, quejigar, coscojar y del pinar xerófilo, especialmente en repisas y fisuras de roquedos, pedregales, fondos de barranco y arenales costeros. *Rhamnus alaternus* y *Phillyrea angustifolia* se adaptadan a condiciones de humedad y temperatura moderadas. Aunque son capaces de tolerar períodos de sequía, no se consideran plantas especializadas en ambientes muy secos, por lo que no soportan la sequía estival. Las dos especies no pueden distinguirse a partir de la anatomía de la madera dada la similitud de los caracteres anatómicos. *Rhamnus alaternus* puede establecerse bajo una sombra ligera, aunque también a pleno sol. Es una especie que rebrota vigorosamente tras los incendios o la tala, dado su rápido crecimiento. *Phillyrea angustifolia* tolera temperaturas altas y no soporta condiciones climáticas muy frías, por lo que su área de distribución se reduce a altitudes medias y bajas.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera difusa a semi-difusa. Los poros se distribuyen, generalmente, solitarios o en pequeños grupos. Los poros rodeados de traqueidas vasculares y parénquima forman bandas dendríticas (forma de llama).
Plano longitudinal Tangencial
Los radios son heterogéneos en ambas especies. Los radios de *Rhamnus alaternus* son generalmente biseriados, que pueden llegar a las 12 células de altura. *Phillyrea angustifolia*, que en base a la anatomía de la madera no puede distinguirse de *Phillyrea latifolia*, tiene los radios uni- y biseriados, raramente triseriados, que pueden contener de entre 10 y 15 células de altura.
Plano longitudinal radial
Engrosamientos de los vasos en espiral y perforaciones simples.

4.3.20. *Rhamnus cathartica/saxatilis*

Nomenclatura	*Rhamnus cathartica/saxatilis*		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Rhamnaceae
Orden	Rosales	**Género**	*Rhamnus*
Especie/s	*Rhamnus cathartica* L. (=*Rhamnus catharticus* L.)*; Rhamnus saxatilis* Jacq.		
Nombre cat/cast/ing	Espina cervina; Espino cerval; Common buckthorn Espina cervina de fulla petita; Espino; Rock buckthorn		

Distribución actual *Rhamnus cathartica* y *Rhamnus saxatilis*



Fotografía de especies



Rhamnus cathartica



Rhamnus saxatilis

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Arbusto	**Follaje**	Caducifolio
Frutos comestibles	No	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Matorral de robledal con maleza mesófila, roquedos, orlas espinosas y claros de hayedos, pinares y encinares.		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica Mediterránea	**Altitud msnm**	(60) 100 – 1.850
TMA (ºC)	30 - 35	**Orientación**	Media sombra
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	-
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Suelos calizos, básicos y ácidos.		

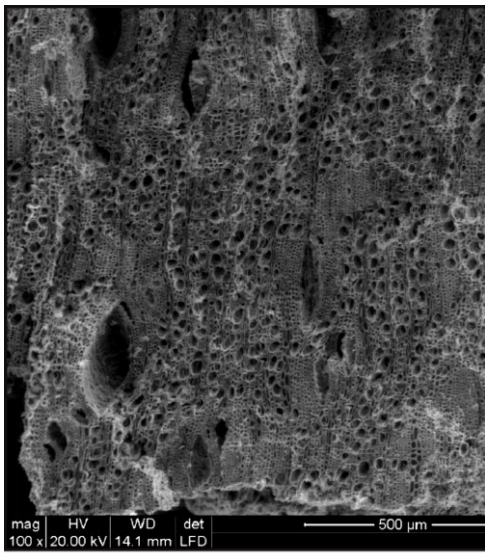
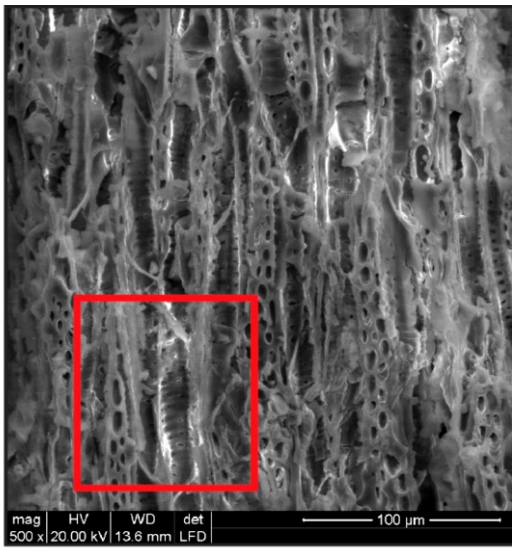
USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

La madera de ambos taxones es pesada y fibrosa, empleada antiguamente para producir carbón de alta calidad y para usar mangos de herramientas. De la raíz, corteza y frutos de *Rhamnus cathartica* se extraen tintes de tonalidades rojizas, en función del grado de madurez. Los tintes que pueden extraerse de *Rhamnus saxatilis* son de tonalidades amarillas.

DESCRIPCIÓN

Ambas especies corresponden a arbustos espinosos y ramificados, que no suelen sobrepasar los 4 m. de altura. Suelen ocurrir en el piso mesomediterráneo, como sotobosque de formaciones abiertas de pinos y carrascales, de carácter continental o localizaciones húmedas. Aunque pueden tolerar algunos períodos de sequía, en general, estas especies prefieren climas más frescos y húmedos. Actualmente, ocupan hábitats alterados por la acción antrópica, como los márgenes de bosques, prados y campos. *R. saxatilis* es parecido en aspecto a *Prunus spinosa*, aunque las ramas son más o menos opuestas y la corteza más reluciente. Se distribuye por la media montaña en lugares rocosos bien drenados, húmedos y frescos, y puede mezclarse entre robledales y encinares. No suele crecer por debajo de los 900 m. de altitud. *R. cathartica* puede desarrollarse en altitudes más bajas, aunque dentro de formaciones boscosas húmedas y de condiciones más umbrías. Ambas especies no se encuentran en las Islas Baleares.

DESCRIPCIÓN ANATÓMICA

Transversal	Tangencial
	

Plano Transversal

Madera de porosidad difusa. Los poros se distribuyen aislados o en pequeños grupos, y por el parénquima, formando bandas dendríticas o en forma de llama, muy distintas de las fibras. Los poros son más grandes y están más agrupados en el leño temprano. Tiene parénquima paratraqueal y se agrupa en bandas estrechas y unidireccionales al inicio del leño tardío.

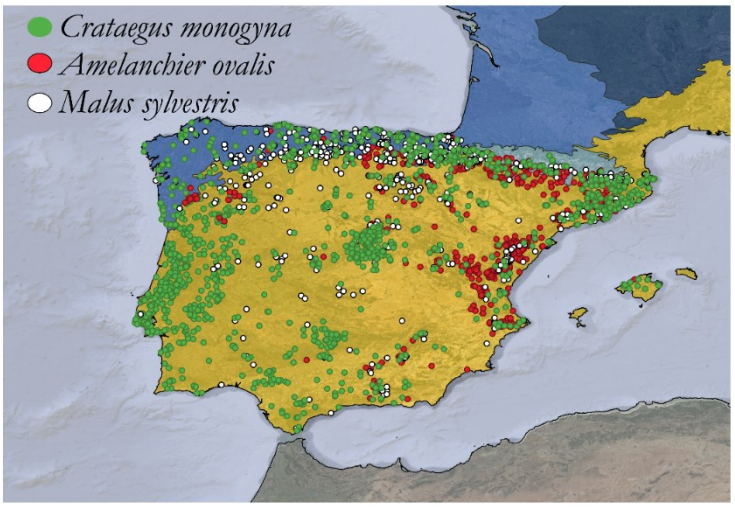
Plano longitudinal Tangencial

Predominan los radios biseriados y rara vez hay presencia de radios multiseriados o uniseriados. Los radios multiseriados pueden tener entre 8 y 20 células de altura, de forma estrecha y alargadas. Estas dos especies son de difícil distinción a partir de la anatomía de la madera. En este aspecto, *R. saxatilis* presenta hasta 10 células de altura en los radios biseriados y *R. cathartica* hasta 15 células. Dada la similitud y la no distinción del máximo de células de alto de los radios, se ha empleado la categoría *Rhamnus cathartica/saxatilis* para incluir ambas especies.

Plano longitudinal radial

Los radios son heterogéneos. La perforación de los vasos es simple y contienen engrosamientos en espiral.

4.3.21. Rosaceae/Maloideae

Nomenclatura	Rosaceae/Maloideae		
Subdivisión	Angiosperma	**Familia**	Rosaceae
Orden	Rosales	**Subfamilia**	Maloideae
Especie/s	*Amelanchier ovalis; Crataegus monogyna.*; *Malus sylvestris* Mill.; *Sorbus domestica* L.; *Sorbus aria* L.		
Nombre cat/cast/ing	Corner; Carrasquilla; Service berry Cirerer de pastor; Majuelo; Howthorn Pomer bord; Manzano silvestre; Crab apple Server; Serbal; Service tree Moixera; Mostajo; Whitebeam		
Distribución actual *C. monogyna, A. ovalis* y *M. sylvestris*			
			
Fotografía de especies			
			
CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS			
Tipo	Árbol, arbusto, hierbas, trepadoras y espinos	**Follaje**	Caducifolio, Perennifolio
Frutos comestibles	Sí	**Categoría**	No dominante
Hábitat	Bosques principalmente caducifolios		
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES			
Región biogeográfica	Atlántica, Mediterránea	**Altitud msnm**	0 – 2.500
TMA (ºC)	-	**Orientación**	-
Tmc (ºC) / Tmf (ºC)	-	**PMA (mm)**	-
Régimen Térmico	Mesoterma	**Pluviometría**	Mesófila
Estratos	Indistinto		

USOS TRADICIONALES DE LA MADERA

La madera de *Amelanchier ovalis* es dura, nudosa y resistente a la putrefacción. Se ha usado tradicionalmente para elaborar astiles y utensilios agrícolas, así como para fabricar garrotes y escobas. La madera de *Sorbus aria* ha sido empleada tradicionalmente como combustible y para obtener carbón, aunque su poder calorífico es bajo. Dada su dureza, se ha empleado como material constructivo: vigas, dinteles y ventanas; y para elaborar utensilios domésticos, como cucharas, cucharones, recipientes y tenedores, así como albarcas o zapatos. *Sorbus aucuparia* se ha usado como leña para quemar en cocinas, aunque no es una práctica muy frecuente. Las ramas han sido usadas, tradicionalmente, para hacer tranqueras de prados o vallas, así como varas para manejar burros. Asimismo, retorciendo las ramas se consiguen cuerdas. Los frutos verdes son ligeramente tóxicos, aunque si maduran pueden consumirse. Las hojas, ramas y los frutos sirven de alimento para el ganado, especialmente para el caprino, que consumen el árbol directamente en el pasto, por lo que no es necesaria su recolección. La madera de *Sorbus domestica* es blanquecina, muy compacta y resistente, por lo que no se astilla. Ha sido empleada para la fabricación de piezas de molino y husos. Con las ramas se han elaborado varas y escobas. Los frutos madurados son comestibles para humanos y tradicionalmente se ha empleado como alimento para cerdos y aves de corral. De la savia se extrae un tinte muy persistente. La madera de *Crataegus monogyna* es dura, pesada y resiste a la fricción, y ha sido empleada tradicionalmente para la fabricación de pequeños útiles y para tornear. Sus ramas se emplearon para la fabricación de ribetes, vallas y cercas de corrales, así como para elaborar camas para el ganado. El humo que se desprende de la quema resulta apreciado para ahumar quesos y embutidos en los Picos de Europa. Sus brotes y hojas son comestibles, mientras que los frutos resultan levemente nocivos para los humanos. No obstante, tanto los frutos como los tallos se emplean como ramoneo para el ganado, especialmente vacuno y porcino, mientras que las hojas se destinan a alimento de caprinos. Asimismo, sus frutos en estado silvestre alimentan a conejos, aves y corzos. La madera de *Malus sylvestris* es compacta y de textura fina, a veces usada para trabajos de torneado. El fruto del manzano silvestre es comestible, aunque las semillas son levemente tóxicas para los humanos. Su fruto también es usado para el engorde de ganado porcino, mientras que en la alimentación de caprinos se emplea como reconstituyente después de los partos.

DESCRIPCIÓN

Esta categoría describe un conjunto amplio de especies de la familia de las rosáceas, que son especies que se comprenden en árboles, arbustos, espinos y trepadoras de follajes caducifolios y perennifolios. También se incluyen especies de la subfamilia de las maloideas, principalmente especies leñosas y arbóreas de follaje caducifolio. Esta subfamilia incluye especies que producen frutos de tipo drupa, como manzanas, peras, ciruelas, membrillo, cerezas, etc. Estas especies se distribuyen mundialmente, aunque son más frecuentes en las regiones templadas y subtropicales del hemisferio norte. La caracterización taxonómica a partir de la madera carbonizada resulta problemática entre estas especies. *Amelanchier ovalis* es un arbusto caducifolio de apariencia rupícola, que vive formando matorrales en roquedos calizos u otras formaciones poco densas de matorral, así como en claros de bojedales. Se desarrolla a 300-2.500 m. de altitud. Los frutos son comestibles. Las hojas y tallos de han sido usadas en medicina popular como hipotensoras para mejorar la circulación de la sangre. *S. aria* es un árbol caducifolio, que vive en bosques montanos caducifolios, generalmente formando matorrales en vertientes rocosas y sobre cualquier tipo de sustrato. Se distribuye hasta los 2.200 m. de altitud. Sus frutos son comestibles para humanos y ganado, especialmente el porcino. Las hojas, como forraje verde o seco, se recogían en algunos pueblos durante el otoño para alimentar a caprinos durante las nevadas. *S. aucuparia* es un árbol caducifolio que se desarrolla en bosques húmedos subalpinos y en bosques montanos más húmedos y frescos, con preferencia de sustratos ácidos. Se distribuye entre los 600-2.300 m. de altitud. *S. domestica* vive en bosques mediterráneos y submediterráneos de encinares o alcornocales, aunque a veces se desarrolla en barrancos húmedos y en todo tipo de sustratos. Se encuentra hasta los 1.700 m. de altitud. *Cotoneaster integerrimus* es un arbusto caducifolio que forma parte de matorrales de enebrales, así como en bosques submediterráneos y entre bojedales en el piso montano, que crece en grietas y roquedos. Se distribuye entre 975-2.700 m. de altitud. Se desarrolla en sustratos calizos, silíceos y arenosos. Aguanta las condiciones de sequía y es resistente a las heladas. *Crataegus monogyna* es un arbusto o pequeño arbol espinoso de follaje caducifolio. Se distribuye en zarzas y entre bosques caducifolios del piso montano. En altitudes más bajas se

localiza en bosques de ribera. *Malus sylvestris* es un árbol caducifolio que se adapta a los climas fríos y templados, y no tolera la aridez ni las heladas. En su estado silvestre se establece en los claros de los bosques caducifolios y termófilos. Se desarrolla en sustratos profundos, bien drenados y neutros, especialmente en suelos arcillosos y arenosos. Se distribuye desde 0 a 800 (1.400) m. de altitud.
DESCRIPCIÓN ANATÓMICA
Plano Transversal
Madera difusa a semi-difusa. Los poros se distribuyen principalmente aislados y de manera regular, de tamaño relativamente pequeños y numerosos.
Plano longitudinal Tangencial
Los radios contienen entre 1 y 4 células de ancho, aunque generalmente suelen ser bi y triseriados. La altura de los radios es de 15 a 35 células, de morfología redonda o ligeramente ovalada.
Plano longitudinal radial
Radios homogéneos, aunque algunas especies tienen radios heterogéneos. Las perforaciones son simples y, en algunas especies, los vasos contienen finos engrosamientos en espiral.

PARTE I



CAPTHER V. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution[1]



[1]**Declaration**

The contents of this chapter have been submitted to the journal Archaeological and Anthropological Sciences. I am the lead author, and I confirm that the following text, figures and tables are own authorship.

Mas, B., Allué, E., Alonso, E.S., Vaquero, M., 2021. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and *intra-site* spatial distribution. Archaeological and Anthropological Sciences 13:12, 1-18. http://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2

ABSTRACT

This study aims to provide anthracological data on forest transformations on the north-eastern Iberian Peninsula during the transition from the last glacial GS-2a to the last isotopic event of interstadial GI-1. We present a complete anthracological sequence from Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Tarragona, NE Iberian Peninsula), a site assigned to the Late Upper Palaeolithic. Our results suggest a continuous forest cover transformation throughout the inter-GI-1. Forest opening was determined by the retreat of *Pinus sylvestris* type, which was dominant during the Late Pleistocene, in relation to the continuous expansion of *Juniperus* sp. Likewise, our results suggest a progressive increase in the diversity of cold and drought-resistant mesophilic taxa, which would have begun with the more temperate climatic conditions occasioned by the positive isotopic oscillations of GI-1. A comparison with other paleoecological data from the Iberian Peninsula suggests the presence of different biogeographic regions, as evidenced by different frequencies of certain montane and meso-thermophilic taxa.

Our research also made use of a new methodology based on the spatial distribution of the charcoal remains recovered from Late Magdalenian layer A of Molí del Salt. The results have provided data with which to evaluate the taphonomic alterations identified in the charcoal fragments, such as hyperfragmentation and the occurrence of postdepositional processes. This analysis has increased the temporal resolution of the archaeological fieldwork, allowing us to identify unique events of human activity in a context of cumulative palimpsests. Finally, the Kernel distributions according to the standard deviation of the tree taxa, projected both in plan (X-Y) and in section (X-Z1), indicate human strategies in fuel selection, that differentiated between *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp.

RESUMEN

El presente capítulo se contextualiza cronológicamente en la transición del Último Glacial (GS-2) al último evento isotópico interestadial (GI-1), enmarcándose en el noreste de la Península Ibérica. En primer lugar, se presenta la secuencia antracológica completa de Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Tarragona), yacimiento arqueológico contextualizado al Paleolítico superior final. Los resultados antracológicos sugieren una transformación continua de la cubierta forestal a lo largo del interestadial GI-1. La apertura del paisaje vegetal estuvo determinada, principalmente, por el retroceso de los bosques de *Pinus* tipo *sylvestris*, coníferas que fueron dominantes hasta el final del Pleistoceno, en concordancia con la continua expansión del taxón arbustivo *Juniperus* sp. Asimismo, se identifica un augmento progresivo en la diversidad de taxones mesófilos resistentes al frío y a la sequía, fenómeno que se habría iniciado con el establecimiento de unas condiciones climáticas más templadas, relacionadas a las oscilaciones isotópicas positivas del interestadial GI-1. La comparación con otros datos paleoecológicos disponibles en la península ibérica sugiere la presencia de diferentes regiones biogeográficas, como demuestran las frecuencias y la ubiquidad de ciertos taxones montanos y meso-termófilos.

Asimismo, presentamos una nueva metodología basada en la distribución intra-espacial (*intra-site*) de los fragmentos de carbón vegetal recuperados en el nivel arqueológico A de Molí del Salt, del período cultural del Magdaleniense superior final. Los resultados aportan datos para evaluar las alteraciones tafonómicas identificadas en los fragmentos de carbón, como la hiperfragmentación y la ocurrencia de procesos postdeposicionales. Este análisis ha incrementado la resolución temporal del trabajo de campo arqueológico, permitiendo identificar eventos singulares o únicos de actividad humana en un contexto de palimpsestos acumulativos. Finalmente, los test estadísticos que evalúan la ubiquidad de los taxones leñosos y el conteo de fragmentos de carbón, proyectados en planta (X-Y) y en sección (X-Z1), revelan distintos comportamientos o estrategias humanas entorno la selección y uso de combustibles, especialmente sobre los taxones más representativos del conjunto antracológico, como *Pinus* tipo *sylvestris*, *Juniperus* sp. y *Prunus* sp.

5.1. Introduction

The study of humans and plants has been approached by means of a variety of theoretical frameworks and disciplines that describe the range of different interactions between the two (e.g. Berihuete-Azorín, 2013; Ford, 1979; Madella and Zurro 2007; Mallol and Henry 2017; Pearsall, 1988; Popper and Hastorf, 1988; Antolín et al., 2016). Among these approaches, charcoal analyses provide a dual perspective into many aspects of human and plant interactions. In general, charcoal analyses under a palaeoenvironmental or palaeoecological approach study climate changes, vegetation transformation and diversification of ecological communities (e.g. Alcolea, 2017; Allué et al., 2018a; Carrión et al., 2008, 2010; González-Sampériz et al., 2010, 2017; Ruiz-Alonso et al., 2014; Vidal-Matutano and Pardo-Gordó 2020). Meanwhile, palaeoethnobotanical and palaeoconomic approaches address specific sociocultural aspects related to plant food, technology (fuel, plant technology and building materials) and different human behaviours in woodland management (Allué et al., 2017; Butzer 1989; Descola, 1988; Henry and Théry-Parisot, 2014; Henry et al., 2009; Mallol and Henry, 2017; Ntinou et al., 1999; Picornell-Gelabert et al., 2017; Rival, 1998; Smart and Hoffman 1988; Uzquiano, 2018a). The study of subsistence strategies practiced by hunter-gatherers generally focuses on lithic technology or hunting activities. Other subsistence strategies, such as the procurement of firewood and forest raw materials, have received less attention. However, over the last decades, several studies regarding firewood exploitation and its importance related to subsistence strategies have been developed in different areas (see Allué et al., 2017a; Herny et al., 2009; Picornell-Gelabert et al., 2017; Théry-Parisot, 2001; Théry-Parisot et al., 2010; Uzquiano, 1992b, 2014; Vidal-Matutano, 2018).

The north-eastern Iberian Peninsula contains a significant concentration of Magdalenian sites (Figure 5.1). The general vegetation cover dynamics in the area during the Late Pleistocene climatic phases have been established based on a low diversity of taxa. Charcoal analyses have identified the predominant variety as conifers, especially Scots pines (*Pinus sylvestris* type), which have been detected in most of the Late Upper

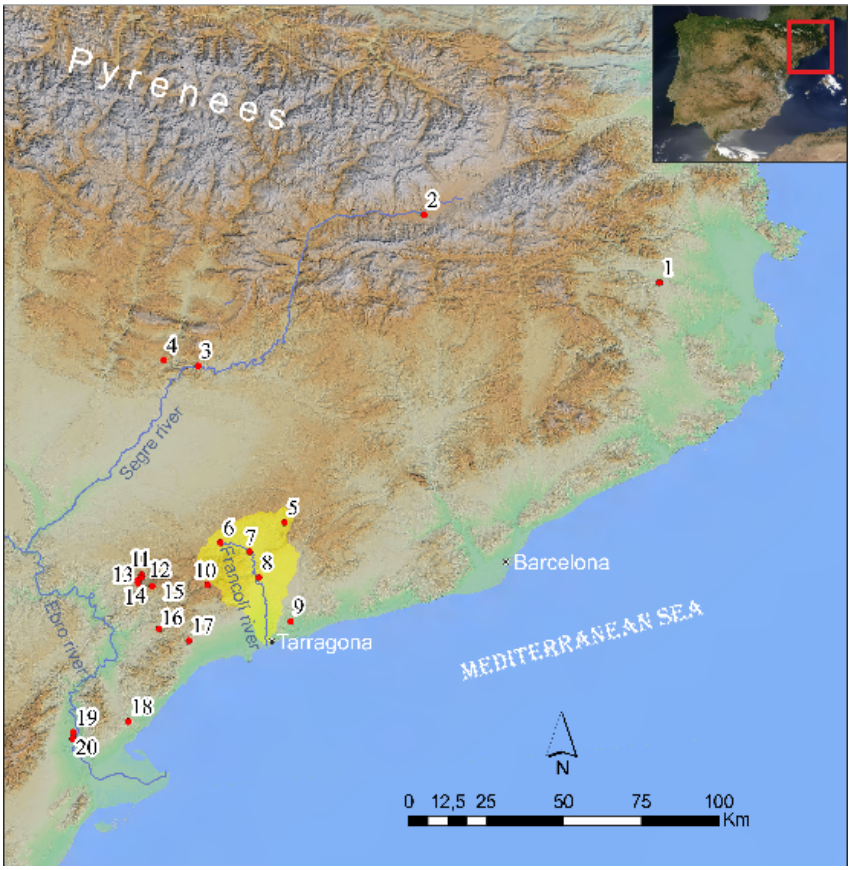


Figure 5.1. Relief map of northeastern Iberian Peninsula and the locations of Late Upper Palaeolithic archaeological sites: (1) Bora Gran d'en Carreres; (2) Montlleó; (3) Cova del Parco; (4) Cova Gran de Santa Linya; (5) La Font Voltada; (6) Molí del Salt; (7) Bauma de la Vall; (8) Picamoixons; (9) La Cativera; (10) Cova de les Borres; (11) Hort de la Boquera; (12) Balma de l'Auferí; (13) Abric dels Colls; (14) Cova del Boix; (15) Abric del Filador; (16) Abric de Sant Gregori; (17) Cova de l'Areny; (18) Cova de la Mallada; (19) Cova del Vidre; (20) Cova del Clot de l'Hospital.

Palaeolithic anthracological sequences (Allué et al., 2000, 2007a, 2010, 2012a, 2012b, 2013a, 2017, 2018a; Allué and Mas 2020). At both mountain and lowland flats, tree vegetation and meso-thermophilic forests did not begin to expand noticeably until the first positive pulse of GI-1c (13900-13150 cal. BP) (Allué et al., 2012; Burjachs, 2009).

Molí del Salt is an archaeological site with a well-dated stratigraphy and at which clear provenance of the bioarchaeological remains has been established (especially the mesofauna and charcoal assemblages) (Allué et al., 2010; Rufà et al., 2018). The aim of this paper is to present the anthracological results from layer A (13800-12680 cal. BP), which contribute to completing the dataset previously obtained by Allué et al., (2010). By integrating the complete anthracological sequence with other records we can better discern changes in vegetation cover over the course of the Late Upper Palaeolithic on the NE Iberian Peninsula. In

order to understand the assemblage beyond the traditional anthracological approach, we conducted an intra-site spatial distribution analysis using statistical methods. These new data constitute an approach to unravelling the selection and use of fuel strategies, space organization, plant diet and wood technology among human groups during this period.

5.1.1. Geographical area and landscapes

The Francolí basin is characterized by a range of physiographic and ecological features. It is located in the southern-central Conca de Barberà valley, on the eastern slopes of the Prades mountains and in the central part of Tarragona province, near the coast at the point where the Francolí river flows into the sea (Figure 5.2a). Today, the climate is predominantly mediterranean, with hot and dry summers and relatively mild winters. Areas at higher elevations (881 m.a.s.l.) are colder and wetter, influenced by the continental climate. Most of the rain falls during the month of May, and from September to October, with an average total accumulation of 75 mm (Figure 5.2b). The landscape within 3 km around Molí del Salt is covered with farmland and dry land cultivation (61%) as well as sclerophyllous and continental pine forests (35%).

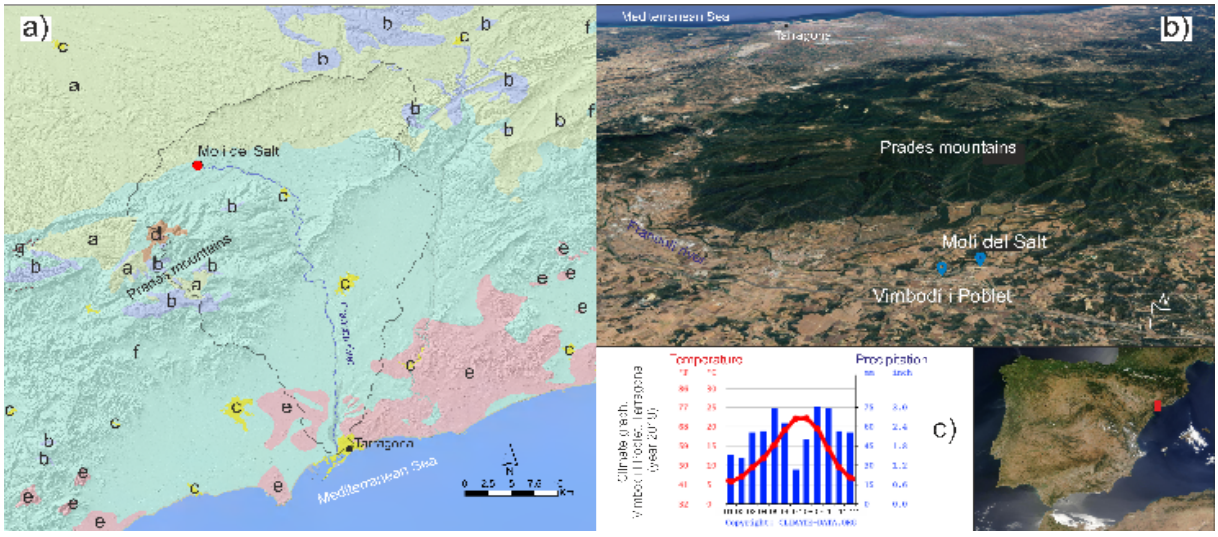


Figure 5.2a. In (a): Territory and landscapes around Molí del Salt. In (a): vegetation cover in the Francolí basin (a: sclerophyllous forests and continental pine forests—*Quercus ilex* and *Pinus halepensis*; b: calcicolous oak, dried—*Quercus faginea*; c: artificial environments; d: acidophilus oaks—*Quercus pubescens*; e: Maquis of the maritime regions—*Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* and *Olea europaea* var. *sylvestris*; f: sclerophyllous forests of the maritime regions— *Vibruno-Quercetum ilicis* subass. *quercetosum ballotae*; g: Scots pine, acidophilus pine—*Pinus sylvestris*). In (b): Francolí basin and site location on current 3D map. In (c): Annual climate graph of Vimbodí i Poblet (year 2019).

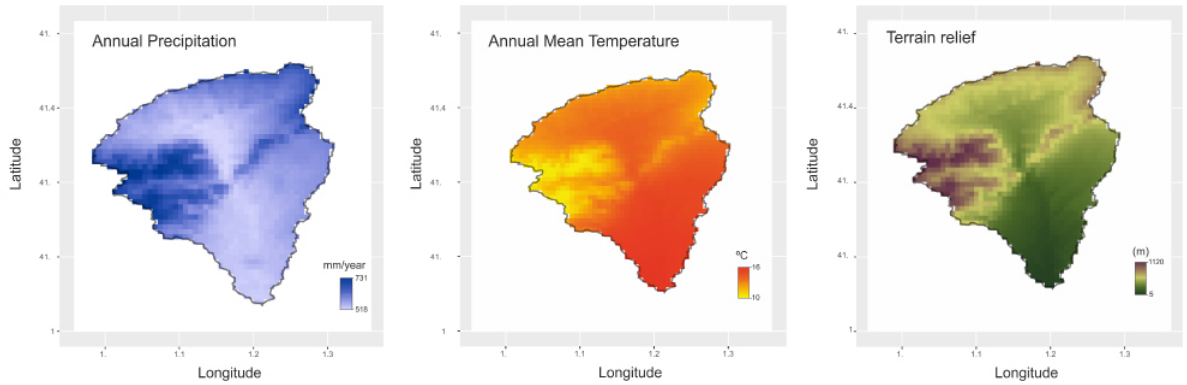


Figure 5.2b. Biogeographic parameters of Francolí basin that affects climate and vegetation. Bioclimatic variables (Annual precipitation and Annual Mean Temperature) have been downloaded in raster format from WorldClim 2.1 (Fick and Hijmans 2017) and geographic relief has been processed by QGIS in DEM downloaded from Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICC). Longitude (east) and latitude (north) parameters are referred to the Greenwich meridian.

Most commonly, mediterranean-type species coexist with typical high-mountain Euro-Siberian species (Domingo and Borau 1998). A small redoubt of *Pinus sylvestris* type survives in the Prades mountains, on the Tossal de la Baltasana summit (1203 m.a.s.l.), together with undergrowth species such as *Taxus baccata* (English yew) and shrubs such as *Ilex aquifolium* (holly) and *Sorbus latifolia* (broad-leaved whitebeam). *Pinus halepensis* forests (Aleppo pine) and, to a lesser extent, *Pinus nigra* (Austrian pine), *Pinus pinaster* (maritime pine) and *Pinus pinea* (stone pine) forests occupy lower elevations. *Castanea sativa* (chestnut) is also relevant. In the sunniest areas there are shrub species of a Mediterranean nature such as *Salvia rosmarinus* (rosemary), *Pistacia lentiscus* (mastic tree), *Quercus coccifera* (kermes oak), *Lavandula latifolia* (lavender) and *Arbutus unedo* (strawberry tree). Atlantic species such as *Quercus pyrenaica* (Pyrenean oak) are also found. Riverside species, such as *Fraxinus* (ash), occur on the other bank of the Milans River, a tributary of the Francolí River.

5.1.2. Site description

Molí del Salt is a rock-shelter located at Vimbodí i Poblet, in the Francolí basin (Tarragona, NE Iberian Peninsula), 50 km west of Barcelona, at 490 m above sea level on the left bank of the Milans River, a small tributary of the Francolí River.

The first excavations were carried out in 1999 and consisted of a test pit of 3 m^2 that allowed the entire stratigraphic sequence

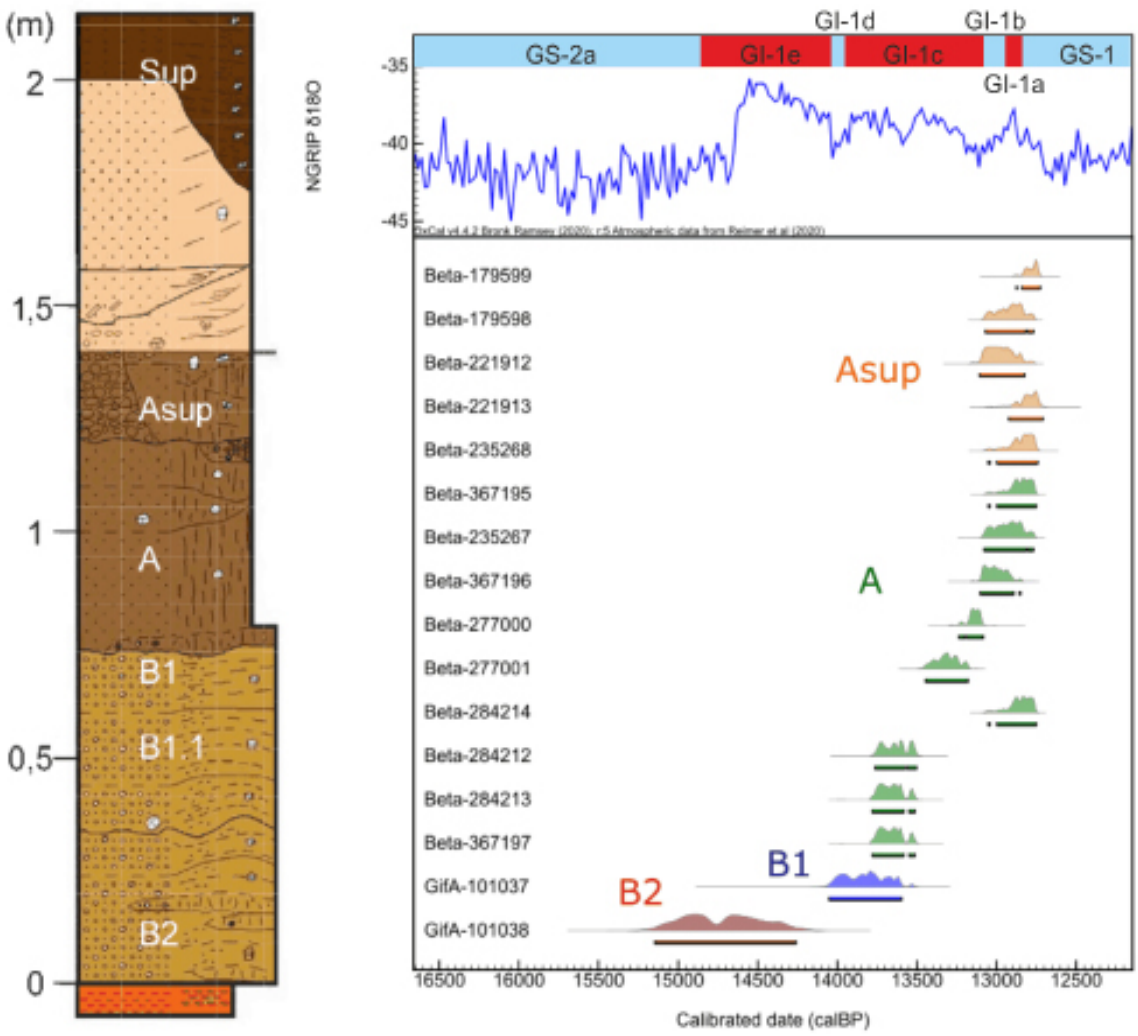


Figure 5.3. Left: stratigraphic sequence of Molí del Salt (Rufà et al., 2018). Right: IntCal20 calibration graph (Reimer et al., 2020) of 14C-AMS radiocarbon dates (García-Diez and Vaquero, 2015) with NGRIP climate curve (Rasmussen et al., 2014). Layer B2 in red, layer B1 in blue, layer A in green, layer ASup in orange.

to be documented. The positive results of the exploratory work led to the launch of a research project in 2001, which is still ongoing to date. The stratigraphic sequence is 2.5 m thick and contains Mesolithic (layer Sup) and Late Upper Palaeolithic (Late Magdalenian) units (A and B) (Figure 5.3). In unit A, two main layers have been distinguished (Asup and A). Unit B also comprises two sub-units (layers B1 and B2). Twenty-two ^{14}C AMS are currently available for this sequence. Taking into account these dates, the most reliable chronology for these units would be as follows: 15486–13442 years cal. BP for unit B, 13800–12680 years cal. BP for layer A, 13163–12670 years cal. BP for layer Asup, and 9110–8710 years cal. BP for layer Sup.

Several human activities have been documented in Molí del Salt that reflect mobility strategies around the territory (Soto, 2015; Soto et al., 2011; Vaquero, 2004). In general, researchers have established a regional flint catchment area resulting from a strategy predicated on short trips (Soto et al., 2011). Specialized stone knapping activities, such as core reduction and tool manufacture, have been widely documented (Martínez-Molina, 2005; García-Catalán, 2007; García-Catalán et al., 2013; Vaquero et al., 2012). Pigment processing activities also seem to have been important (Gómez-Merino et al., 2007). Eighteen portable art objects with engravings have been recovered to date. Thirteen of them are schist slabs, but representations have also been identified on four limestone cobbles and one bone fragment. Most of these objects were found in unit A and depict animal figures and schematic motifs (García-Diez and Vaquero 2006, 2015). Documented strategies for gathering biotic resources correspond to hunting, processing and consuming animals, especially focused on the consumption of rabbits and the possible processing of skins (Rufà, 2017). The limited macrofauna record (*Capra pyrenaica*, *Cervus elaphus*, *Sus scropha, Capreolus capreolus* and *Bos primigenius*) bears evidence of defleshing and the fracturing of bones for the extraction of marrow (Allué et al., 2010; Ibáñez and Saladié, 2004). The consumption of animals is also associated with cooking, as many remains are burned (Rufà, 2017). In addition, the published anthracological results from unit B and ASup layer reveal a large group of edible-fruit-producing woody species, like those from the genus *Prunus* (Allué et al., 2010).

5.2. Materials and methods

5.2.1. Anthracological analysis

Systematic archaeobotanical sampling was performed using bucket flotation with all the excavated sediments from layer A. A total of 6,620 litres of sediment were stored in bags, according to the depth intervals of the archaeological sequence (Z-Z_1). Between 2006 and 2011, the samples were recovered in 10 cm height intervals, which was reduced to 5 cm from 2012 until 2017. The study of the anthracological assemblage has been based on well-established anthracological methods (Chabal et al., 1999).

The anthracological sample was not sorted by size, since almost all the fragments were less than 5 mm. Charcoal fragments were hand-fractured to obtain the three anatomical sections that would permit examination of the wood cell structure. Anthracological analysis observations were performed using an optical reflected-light microscope (Olympus BX41) with magnifications of x50, x100, x200 and x500. For the purpose of uniform observation, each charcoal fragment was placed on a support with small seeds, which allowed it to be affixed and immobilized. The Schweingruber (1990) wood anatomy atlas was used to assist in taxonomic identification. The assemblage was systematically observed in order of depth stratigraphic recovery (Z-Z_1), from shallower to deeper.

Anthracological analysis requires identification at the most accurate taxonomic level possible. The unidentifiable fragments were assigned to broader categories based on their anatomical characteristics. Taxa regrouping is usually accepted by anthracological researchers, allowing us to express results in terms of types, cf., genera or species that are not distinguishable at the anatomical level (Chabal, 1997). The specific taxa identified in the anthracological sample were regrouped, including *Pinus sylvestris* type (*Pinus sylvestris/nigra*), *Quercus ilex/coccifera*, and *Rhamnus cathartica/saxatilis*, since the anatomical distinction between two or more species is almost impossible (Schweingruber, 1990). Some genera, such as *Acer*, *Prunus* and *Juniperus*, only occasionally display differences in specific anatomical criteria. Some of the characters allow certain species to be regrouped into different types (Allué et al., 2018b; Alcolea, 2017; Heinz and Barbaza, 1998). Based on Heinz and Barbaza (1998), *Prunus* was classified as *Prunus* type 1 including *Prunus* species *avium/padus*, *Prunus* type 2 including *Prunus spinosa/mahaleb* and *Prunus* type 3 corresponding to *Prunus spinosa/amygdalus*. Finally, some families or subfamilies, including Lamiaceae, Rosaceae/Prunoideae and Fabaceae, correspond to a few species that do not always share the same ecological adscription.

Taphonomic alterations were recorded during the anthracological analysis. The taphonomic alterations of charcoal remains correspond to successive processes and natural agents that affect the wood and the anthracological remains, from plant

growth to its recovery during archaeological excavation (Allué et al., 2009; Théry-Parisot et al., 2010; Vidal-Matutano et al., 2020). Some taphonomic processes occur before the biological death of the plant and can modify the anatomical structure of the plant during its life (Théry-Parisot et al., 2010; Vidal-Matutano et al., 2020). The human selection of these plants may respond to specific characteristics, such as the quality of the wood for the manufacture of tools or calorific value (Allué et al., 2009; Carrión and Badal, 2004; Dufraisse and García-Martínez, 2011; Théry-Parisot, 2001; Théry-Parisot and Henry, 2012). Also, mechanical, natural and flotation processes can affect the fragmentation and dispersion of charcoal in archaeological contexts (Arranz-Otaegui, 2017; Chrzavzez et al., 2014; Lancelotti, 2010; Piqué, 1999; Théry-Parisot et al., 2010; Vidal-Matutano et al., 2017). We established three categories to define the taphonomic alterations observed among the anthracological remains from layer A of Molí del Salt: *Biological processes*: the growth of the plant is affected by various biological agents that depend on the environmental and climatic conditions (Schweingruber et al., 2006; Théry-Parisot et al., 2010), including knots, size modification, compression, cell collapse and insect activity; *Combustion processes*: alterations are conditioned by the mechanisms that characterize wood carbonization, including cracks and vitrification (Schweingruber et al., 2006; Théry-Parisot and Henry, 2012); *Fossildiagenetic processes*: alterations caused by physicochemical and natural agents, due to mechanisms such freezing-thawing, trampling and sediment pressure, as well as other factors that affect the formation of the archaeological deposit.

5.2.2. Intra-site spatial distribution analysis of anthracological remains

For the intra-site spatial distribution analysis, a vector file (.shp) was created from the database generated during the anthracological analysis. The record was analysed using free GIS software (Quantum Gis vs. 10.4.1. Girona, CA: Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc). QGIS software makes it possible to perform an integration analysis for information associated with a specific location and area (the archaeological grid) and to establish relationships between different variables (Wheatley and Gillings, 2002). A random coordinate was assigned to

each 3D-located charcoal fragment (X-Y-Z_1) according to its archaeological square and depth range designation. Using the absolute frequencies of the charcoal fragments analysed in each archaeological square (1 m^2), we used the K-means algorithm to generate standardized horizontal and vertical density distributions of the areas with the highest concentrations of charcoals (Kintigh and Ammerman 1982). Standardized density map patterns of two variables, *number of taxa concentrated* and *charcoal absolute frequencies*, were generated using statistical measures based on proximity and area calculations, including the Kernel density estimation (Rosenblatt, 1956) and the multivariate neighbour spatial correlation algorithm (Clarke and Evans, 1955) with Moran's I (see Getis and Ord, 1992). The geostatistical tool *Correlation with Moran's I* from QGIS provides a value (z and p.value) with which the significance of the index can be evaluated through a numerical approximation of the area under the curve of a known distribution. So, depending on the p.value of z, different distribution patterns can be identified, including: a) dispersed distribution (p.value is close to -1); b) random distribution (p.value is close to 0) and c) clustered distribution (p.value is close to 1).

5.3. Results

5.3.1. Anthracological analysis

The anthracological assemblage from layer A yielded 505 charcoal fragments. The results show 12 different taxa of trees and shrubs and 426 charcoal fragments have been identified (Table 5.1).

Table 5.1. Anthracological analysis results of layer A expressed in absolute (n) and relative (%) frequencies(%).

Taxa	**n**	**%**
Acer sp.	1	0.20
Betula sp.	1	0.20
cf. *Carpinus* sp.	1	0.20
Fabaceae	1	0.20
Juniperus sp.	92	18.22
Lamiaceae	1	0.20
Pinus sylvestris type	172	34.06
Prunus sp.	17	3.37
Prunus type 2	3	0.59
Prunus type 3	93	18.42
Quercus ilex/coccifera	4	0.79
Rhamnus cathartica/saxatilis	24	4.75
Total taxa	**12**	
cf. *Rhamnus*	3	0.59
cf. *Juniperus*	9	1.78
Pinus sp.	3	0.59
Rosaceae/Prunoideae	1	0.20
Total determined	**426**	
Undetermined	8	1.58
Undetermined angiosperm	48	9.50
Undetermined conifer	23	4.55
Total charcoal fragments	**505**	**100**

The layer is dominated by conifers (59.21%), mainly *Pinus sylvestris* type (Scots pine) (34.06%) followed by *Juniperus* sp. (junipers) (18.22%). Angiosperms are present in low values (39.21%) and are dominated by *Prunus* sp. (22.38%) and *Rhamnus cathartica/saxatilis* (buckthorns) (4.75%). Sporadic taxa such as *Acer* sp. (maple), *Betula* sp. (birch), cf. *Carpinus* sp., Fabaceae (legume family), Lamiaceae and *Quercus* sp. evergreen (oak) are associated with fewer than five charcoal fragments.

The charcoal fragments analysed from layer A are highly fragmented (293 fragments are smaller than 0.5 cm and 19 exceed one centimetre in size). From a taphonomic perspective, alterations affect 61.19% of the anthracological assemblage (Table 5.2).

Some charcoals are affected by two or more processes. Biological processes are the most common (46.93%), especially compression or deformation of the conifer tracheids. Fossil-diagenetic processes were observed in 27.52% of the sample. Twenty-seven charcoal fragments (5.35%) displayed anatomical modifications due to the combustion process, in which cracks and vitrified cells were documented.

5.3.2. Intra-site spatial distribution

Density calculations were performed on the total number of charcoal fragments recovered from layer A (505). The correlation with Moran's I exhibited a clustered pattern distribution (Z= 2.209857, p= 0.027115) (Figure 5.4). Density taxa was calculated using the total number of identified woody species in the archaeological

Table 5.2. Taphonomic alteration results of anthracological analysis.

Taphonomic alterations		n	%
Biological processes	Compression	157	31.09
	Cells Colapsed	33	6.53
	Knot	28	5.54
	Insects	19	3.76
Total biological processes		**237**	**46.93**
Combustion	Craks	14	2.77
	Vitrification	13	2.57
Total combustion processes		**27**	**5.35**
Fosildiagenetic processes		139	27.52
Total alterated fragments		**309**	**61.19**
Total analyzed fragments		**505**	**100**

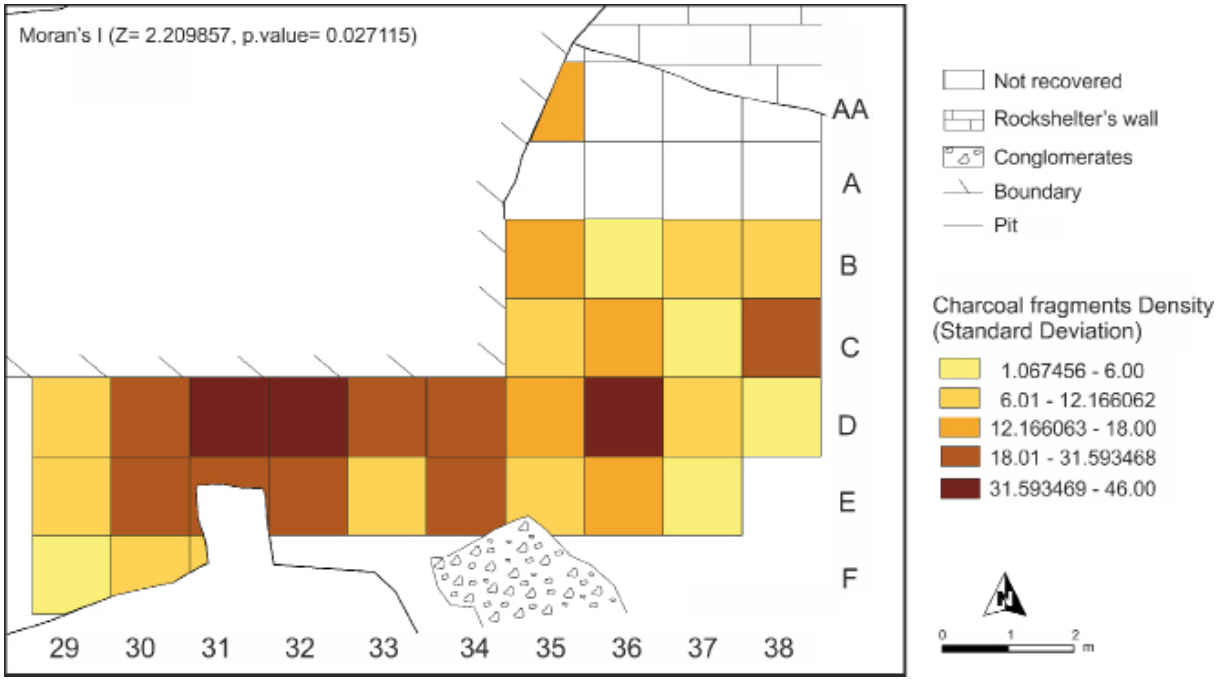


Figure 5.4. Standardized density map of charcoal fragments distributed in layer A by archaeological squares in grid. Charcoal concentrations are grouped into two remarkable areas: inside space, bounded by grid AA-E/35- 38 (square D36 with higher concentration) and outside space, bounded by grid D-F/29-34 (squares D31 and D32).

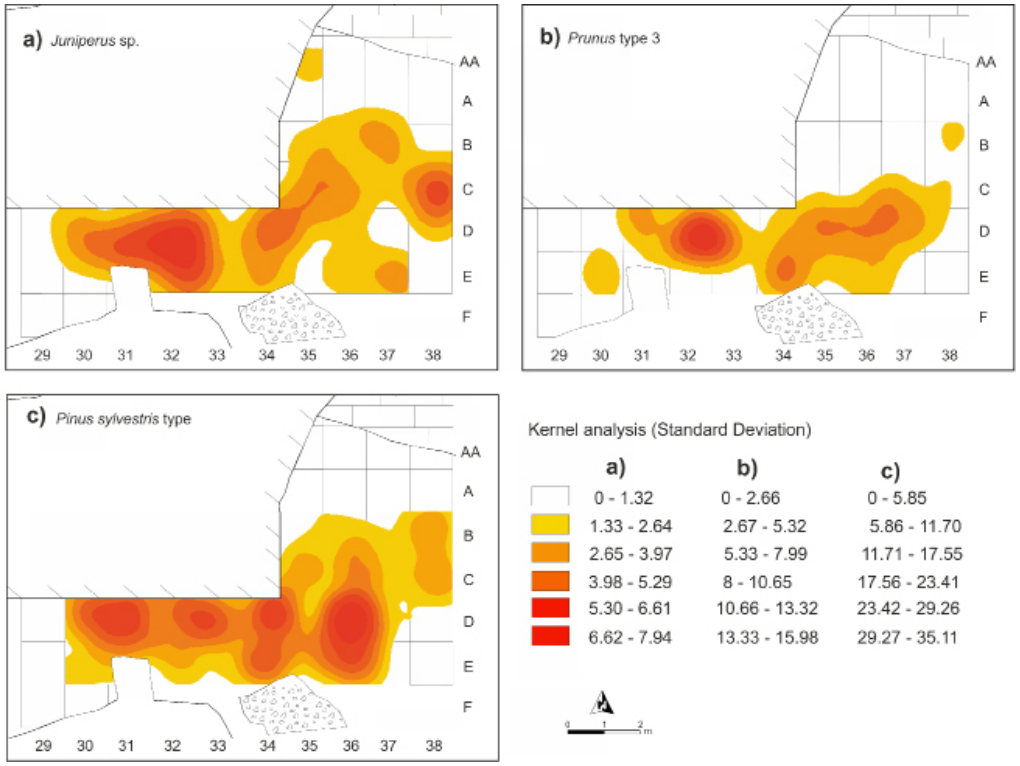


Figure 5.5. Distribution patterns of the most representative taxa (a: *Juniperus* sp., b: *Prunus* type 3 and c: *Pinus sylvestris* type) with Moran's I and Kernel analysis (XY).

squares. The Moran's I correlation showed a random pattern distribution for total taxa (z= 0.668989, p= 0.503502). However, the Kernel analysis with a Moran's I correlation revealed significant differences in distribution patterns, individualizing the most representative taxa, *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* type 3 (Figure 5.5).

Pinus sylvestris type showed a random pattern (Z= 0.217944, p= 0.827473), *Juniperus* sp. had a clustered pattern (Z= 1.009651, p= 0.312662) and *Prunu*s type 3 was found to have a dispersed distribution pattern (Z= -1.028378, p= 0.30772).

The highest values of charcoal concentrations were found in archaeological row D. We therefore performed a Kernel analysis for the three most representative taxa in row D according to recovery sample depth (Z_1) (Figure 5.6). The use of a polygonal vector file (.shp) to recreate the archaeological context and dispersal charcoals from layer A allowed us to visualize the vertical and horizontal relationships of the anthracological assemblage. Standardized density and statistical methods delimited two clustered spaces (Moran's I: Z= 2.209857) that show the reiterated use of wood combustions in some spaces in the rock shelter.

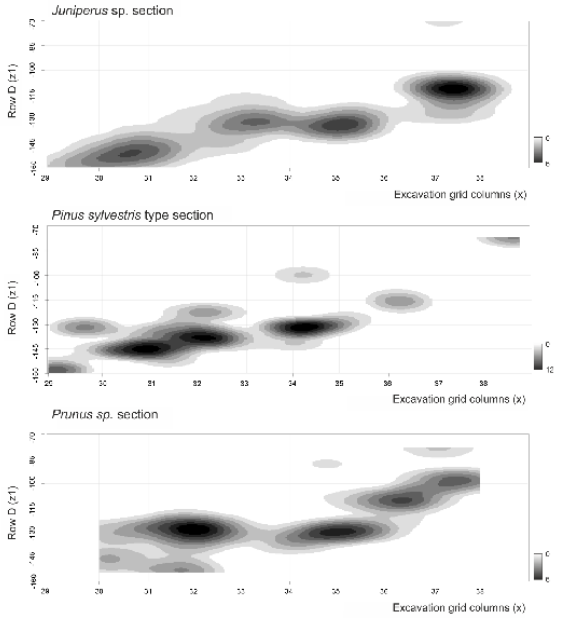


Figure 5.6. Distribution in X-Z with Kernel analysis of the most representative taxa identified in row D (*Juniperus* sp., *Pinus sylvestris* type and *Prunus* sp.). Row D is where most charcoal concentrations were identified.

The horizontal distribution patterns of the different taxa that make up the anthracological assemblage exhibited a random distribution pattern (Z= 2.209857, p = 0.027115), suggesting that the distributions of woody species are independent of one another. However, *Juniperus* sp. was found to have a clustered distribution pattern (Z= 1.009651, p= 0.312662), meaning that there is a correlation between the excavation area and the archaeological squares in which *Juniperus* sp. is concentrated. The vertical projection of row D revealed unique events or episodes in the selection of woody taxa

as fuel (Figure 5.7). Interestingly, the foci in which standardized charcoal density indices are higher do not coincide in either Z (time) or X (space). *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. foci are distributed separately from each other. However, *Prunus* type 3 is distributed very close to both taxa.

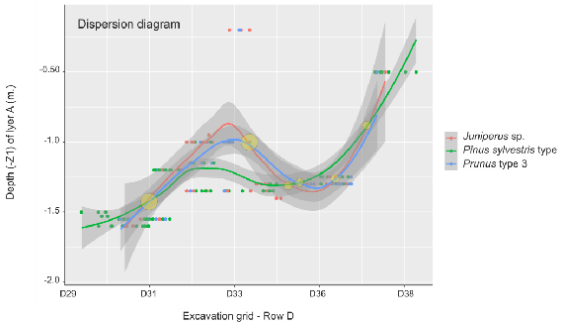


Figure 5.7. Vertical dispersion diagram of the three more representative taxa at row D (grid excavation), with regression line and confidence intervals with non-parametric methods (loess) (*sensu* Wickham 2016, Cleveland 1979). Recognizing the main focus concentration and correlations of the most representative taxa (see in Supp. Material 1).

5.4. Discussion

5.4.1. Wood plant diversity, landscapes and environmental setting around Molí del Salt during the Late Upper Palaeolithic

The diversity documented in the anthracological records from the Palaeolithic depends on different factors, including the sampling method, the number of charcoal fragments analysed, the type and duration of settlement and the type of sample – either taken from hearths or dispersed in the sediment (Badal-García 1992; Chabal, 1991, 1997; Chabal et al., 1999; Henry et al., 2020; Théry-Parisot et al., 2010; Vidal-Matutano, 2017). The Late Upper Palaeolithic anthracological sequences in the north-eastern Iberian Peninsula display low arboreal taxa diversity (Table 5.3). However, the number of identified taxa is not always a dependent variable of the number of charcoals analysed, since the correlation between these two variables is very low (p=0.52) (Figure 5.8). The anthracological record from Molí del Salt has provided key insight into taxa diversity and its interpretation in relation to the surrounding landscape and environmental setting. The analysis of 505 fragments from layer A has yielded 12 woody plant taxa. The diversity and changes in relative value representativeness throughout the sequence contribute to our understanding of the landscapes and environmental variations at the end of the GS-2 glacial stage and the beginning of the GI-1 interglacial stage (11690-11500 cal. BP) (Figure 5.9).

The anthracological diagram shows

Table 5.3. Late Upper Palaeolithic sites on the north-eastern Iberian Peninsula with anthracological sequences. Methods of sample recovery, total number of charcoal fragments analysed and number of taxa identified.

Site	Layer	cal BP	Recuperation metod	Fragments analyzed	Taxa	Reference
Abric Agut	4.7 a/b	11.161 - 10.819	Manually	50	6	Vaquero et al., 2006
Abric Agut	4.7 c	11.862 - 11.457	Manually	373	8	Vaquero et al., 2006
Balma del Gai	t. 141-150	12.317 - 11.807	Flotation/Manually	283	8	Allué et al., 2007a
Molí del Salt	Asup	12.990 - 12.710	Flotation/Manually	284	8	Allué et al., 2010
Cova del Parco	Ia(2)	12.993 - 12.776	Flotation	245	4	Allué et al., 2013a
Hort de la Boquera	II	13. 890 - 13.621	Manually	16	2	García-Argüelles et al., 2014
Balma del Gai	t. 151-base	13.247 - 12.891	Flotation/Manually	307	8	Allué et al., 2007a
Font Voltada	III	13.290 - 12.450	-	358	4	Mir y Freixas 1993
Cova del Parco	Ib	13.472 - 13.206	Flotation	167	3	Allué et al., 2013a
Cova del Parco	Ic	13.472 - 13.206	Flotation	54	4	Allué et al., 2013a
Molí del Salt	A	13.500 - 13.180	Flotation	505	12	In this chapter
Molí del Salt	B1	14.070 - 13.590	Flotation/Manually	231	8	Allué et al., 2010
Balma Guilanyà	Ej	14.650 - 13.850	Flotation	302	2	Allué et al., 2012a
Balma Guilanyà	K	14.850 - 14.09	Flotation	284	2	Allué et al., 2012a
Molí del Salt	B2	15.300 - 14.540	Flotation/Manually	379	8	Allué et al., 2010

that unit B (layers B2 and B1) contains a dominance of a *Pinus sylvestris* type with scarce values of *Juniperus* sp. (Allué et al., 2010), while in layer ASup, the expansion of meso-thermophilic taxa and the colonizing taxon *Juniperus* sp. increases. This phase has been identified in other sequences as pre-forest formations transitioning towards a deciduous woody vegetation forest during postglacial stages in the meso-mediterranean territories (Allué et al., 2012b, 2018a; Carrión, 2005; Carrión et al., 2010b; Henry, 2011; Henry et al., 2013). On the north-eastern Iberian Peninsula, forest transformation can

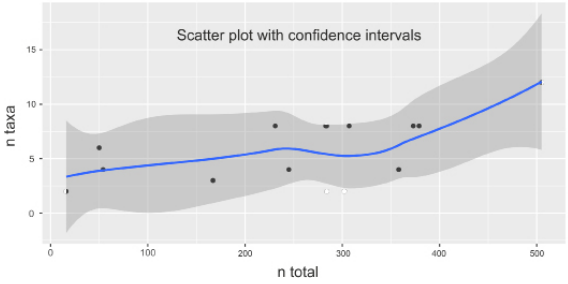


Figure 5.8. Scatter plot with confidence intervals of the two variables (total charcoal fragments analysed and number of taxa identified), according to Table 5.3.

be observed in the anthracological records. According to the anthracological evidence, during the last glacial phases from GS-2a to the Late-Glacial Interstadial (GI-1), montane pine forests dominated a large part of the

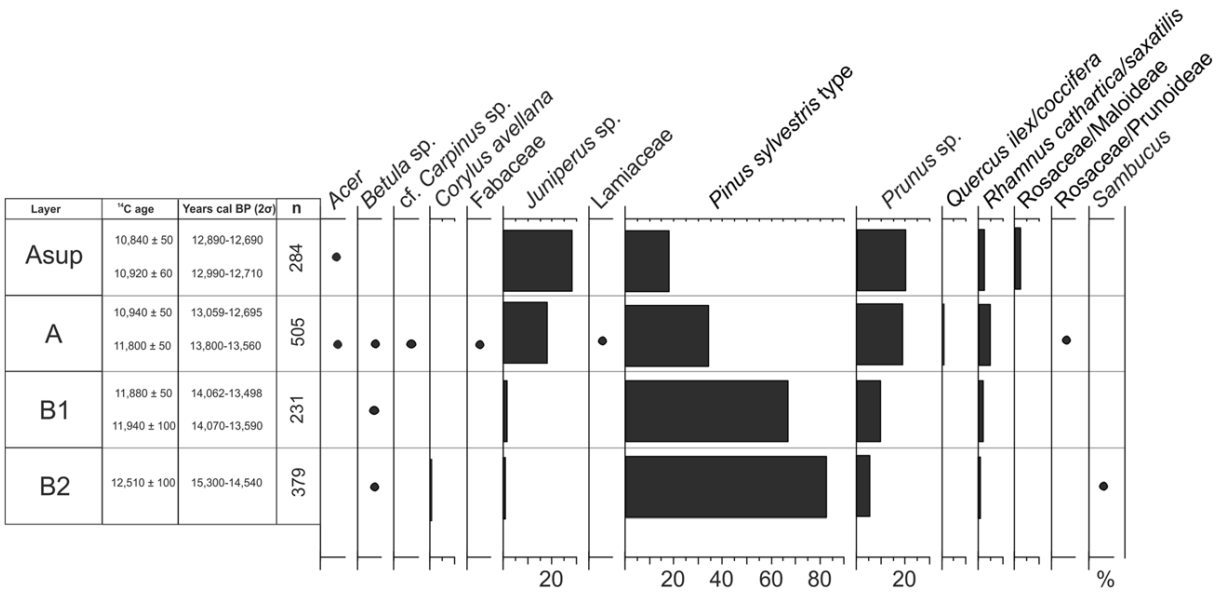


Figure 5.9. Anthracological sequence diagram of Molí del Salt. Results of Allué et al., 2010 are included.

territory (Allué et al., 2007, 2012b, 2012b, 2018a; Bergadà 1998; Heinz and Barbaza 1998; Mir and Freixas 1993). Meanwhile, on the south-eastern Iberian Peninsula, milder climatic conditions allowed the spread of oaks and Mediterranean pines (*Pinus pinea* and *Pinus halepensis*) also accompanied by *Juniperus* sp. (Aura et al., 2006, 2011; Carrión et al., 2008, 2010b).

Layer A reflects a relative decrease in *Pinus sylvestris* type and an increase in *Juniperus* sp. This change may indicate variations in the nearby forest cover. Climatic changes could have influenced the opening of coniferous forests, which dominated the landscape during the glacial stage GS-2a on the Iberian Peninsula (Allué, 2009; Allué et al., 2012a, 2018a; Badal et al., 2012; Uzquiano, 2018; Uzquiano et al., 2008). *Pinus sylvestris* type is a montane conifer that withstands extreme cold and dry weather conditions, although it also develops in Euro-Siberian and Mediterranean climates. *Juniperus* sp. forms part of the understory associated with forested areas and the open extension of pine forests under cold and arid conditions (Badal et al., 2012; Vidal-Matutano et al., 2017). Wood compression observed in *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. tracheids, understood as a physiological response to seasonal environmental changes during the life of the tree, usually suggests environmental characteristics typical of

temperate and boreal climates (Thomas and Cleal, 1999). *Prunus* type 3 (*Prunus spinosa/ amygdalus*) are two deciduous and colonizing taxa from open forest areas, which usually develop on rocky slopes in near river valleys (Blanco et al., 1998). *Prunus* require a wetter climatic condition, although they can also survive in semi-arid and cool environments in temperate regions (Henry et al., 2009, 2013). The increase in *Prunus sp.* as the anthracological sequence progresses at Molí del Salt is similar to other anthracological records in the Mediterranean Basin (Allué et al., 2012a, 2012b, 2018a; Henry et al., 2011, 2013; Starkovich and Ntinou, 2017). The high presence of *Prunus* might correspond to a natural decrease in pines, which would lead to a more open landscape, or it could be the result of a human selection preference. In addition, *Rhamnus cathartica/saxatilis*, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp. are three taxa frequently identified in the anthracological data collected from different areas of the north-eastern Iberian Peninsula in archaeological sites with chronologies like that of layer A of Molí del Salt (Allué, 2002; Allué et al., 2007a, 2012a, 2013a). *Prunus* is not well represented in local palynological sequences, because its entomophile character limits its pollination range is low (Allué et al., 2018b). Nevertheless, *Prunus* sp. is also associated with late glacial conifer formations in an area near Molí del Salt, as observed in other anthracological records in the same region of north-eastern Iberian Peninsula (Allué et al., 2007a, 2012b).

The GI-1c positive oscillation has been characterized by means of palynology as a phase in which meso-thermophilic taxa were more plentiful than conifers (Burjachs 2009). However, the anthracological results from layer A indicate that montane pine forests were well established in a close radius around the site during this climatic phase. *Pinus sylvestris* type values decrease by 32.54% in the transition from layer B1 to layer A. Also, the expansion of *Prunus* sp. and *Rhamnus cathartica /saxatilis*, as well as the high frequency of compressions in the conifer tracheids, is coherent with the climatic characteristics that were established on the north-eastern Iberian Peninsula during the GI-1c event, when rainfall rates increased and, therefore, water availability was greater (Bergadà, 1998; Burjachs, 2009; González-Sampériz et al., 2005, 2017). These changes are probably

related to the climatic variations at the end of the GS-2 glacial stage and the beginning of the GI-1 interglacial stage (11690-11500 cal. BP).

Finally, the presence of *Betula* sp. and cf. *Carpinus* sp. is worth discussing. These are mesophyll deciduous trees which grow in boreal or temperate climates. In a chronological range like layer A, *Carpinus* sp. grew in refuge areas on the north-western Iberian Peninsula, in southern Italy and in the Balkans (Grivet and Petit, 2003; Muñoz-Sobrino et al., 2017). This is also the case in the refuge area, with its temperate trees that could be from the Cantabrian mountain range, which is highly influenced by the north Atlantic climate. Anthracological studies of several sites in the Cantabrian region and Asturias (northern Iberian Peninsula) have recorded the presence of *Betula* sp. in low values (Muñoz-Sobrino et al., 2017; Uzquiano, 2014). In the Cantabrian region, *Betula* was slightly more common in the Late Magdalenian (12.5 kyr BP) as a consequence of climatic improvement, although it did not become a characteristic taxon until between 11 and 10 kyr BP (Uzquiano, 2014). In the Pyrenees, the palynological sequences suggest an increase in *Betula* around 15 kyr BP (Jalut et al., 1992). The pollen data show that *Carpinus* was a common taxon on the Iberian Peninsula during the Middle and Late Pleistocene (Magri et al., 2017), although it became very scarce later in the transition to the Holocene (González-Sampériz et al., 2010; Magyari, 2002). If confirmed, the presence of *Carpinus* sp. at layer A from Molí del Salt might be attributed to aspects related to the mobility of human groups, since, for the time being, no evidence has been found in the local landscape. It might be suggested that these taxa were used as a raw material for manufactured objects, which could have been gathered in other regional areas.

In summary, the Molí del Salt charcoal assemblage reflects changes in the presence or absence of certain taxa related to climatic dynamics during the GS-2a to GI-1 transition (Lowe et al., 2008). These climatic dynamics could have influenced the opening of the conifer forests which dominated the landscape during the GS-2a glacial stage on the northern and north-eastern Iberian Peninsula (Allué, 2009; Allué et al., 2012b, 2018a; Uzquiano, 2018; Uzquiano et al., 2008). Finally, the presence of *Quercus* sp. evergreen

(*Quercus ilex/coccifera*) may be explained by the percolation of charcoal fragments by localized bioturbation on site.

5.4.2. The GIS contribution in firewood management and uses of woody taxa

The anthracological results from layer A show 12 woody plant taxa that recur throughout the entire archaeological sequence. Taxa abundance in anthracological records is most likely related to the abundance of vegetation around a settlement (Allué et al., 2010; Asouti, 2003; Henry, 2011; Scholtz, 1986; Tusenius, 1986). However, taxa diversity in site can be influenced by cultural factors in which groups avoid the selection of certain woody plants or favour others among those available in the landscape (Dufraisse et al., 2011; Dufraisse et al., 2018; Henry and Théry-Parisot, 2014; Henry et al., 2009; Picornell-Gelabert et al., 2011; Théry-Parisot and Henry, 2012).

Charcoals are the residues of repeated combustion in the same space. Two main factors can disperse the *in-situ* position of the charcoal fragments: anthropic processes, such as the cleaning and removal of hearths, or processes caused by natural agents (Théry-Parisot et al., 2010). The standardized density foci of charcoal fragments in horizontal projections indicate the recurring use of the same locations for combustions. Thus, two recurring hearth areas have been documented in Molí del Salt.

The delimitation and characterization of combustion structures during archaeological fieldwork was difficult due to the low and slow sedimentation dynamics at the site. However, we have ruled out the possibility of the post-depositional accumulation of charcoals remains. Post-depositional processes, especially those related to hydrological activity, tend to result in specific distributions, such as the concentration of remains in certain locations, preferential orientations or a classification of archaeological remains by size (Behrensmeyer, 1990; Domínguez-Rodrigo et al., 2014; Hanson, 1980; Schick, 1987). According to Behrensmeyer (1990) and Schick (1987), the orientation of archaeological remains can be affected by both low- and high-energy processes. There are no preferential orientations in recovered archaeological materials that can be associated with the dispersion of remains by high-energy processes, such as catastrophic natural events

or waterspouts (Figure 5.10).

Taphonomic alterations have been detected in 61.19% of the anthracological assemblage, and most of them are related to biological causes (46.93%). These affectations are caused by the natural and environmental conditions that the tree was exposed to as a living organism, such as cold stress or insect activity (Schweingruber et al., 2006; Théry-Parisot et al., 2010). 27.52% of the taphonomic alterations observed correspond to physical-chemical and natural processes, such as continuous trampling, compression of the sediment, solifluction and the activity of current roots. Likewise, the types of distribution patterns for woody plant taxa should reflect other factors corresponding to human behaviour. The post-depositional taphonomic alterations identified in the bone remains of small prey also suggest a low resolution (Rufà et al., 2018). In any case, it is possible that the remains were affected by low-energy water circulation, such as superficial water courses or the action of moderate rainfall. According to Binford (1983: 165), the variability of archaeological remains and their distribution is related to the number of individuals in an occupation and the tasks they perform during their time at the site. In this sense, the context of cumulative palimpsests (Bailey, 2007), or the recurrence in the use of same space for different activities, is reflected in Molí del Salt by means of the low resolution evidenced by the horizontal and vertical distribution of the archaeological remains. However, the vertical distribution of the most representative taxa (*Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp.) in the anthracological assemblage suggests the selective use of fuel for combustion related to the most abundant species in the surroundings. Woody plant formations were abundant at the mid latitudes and obtaining fuel was a relatively easy endeavour (Allué et al., 2010; Badal, 2004). Furthermore, other

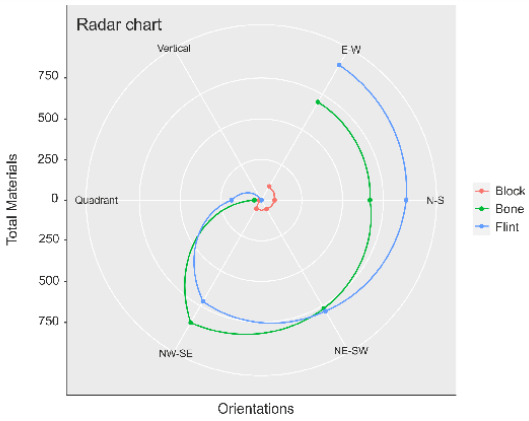


Figure 5.10. Fig. 10 Radar chart with orientations of archaeological remains recovered of layer A during fieldworks (rock blocks, faunal bones and flint) (see in Supp. Material 1).

characteristics related to the size and the state (decayed, dried, wet) of the wood may have influenced combustion properties and, therefore, selection strategies (Allué et al., 2017b; Badal, 2004; Théry-Parisot et al., 2010; Vidal-Matutano, 2016). Thus, a large fallen trunk or fallen branches would have been a good choice for firewood, while smaller branches and herbaceous plants may have been used as kindling to start combustions (Allué et al., 2017a; Solé et al., 2013). However, some researchers refer to the use of small calibre branches as evidence of the opportunistic use of wood, since they are easy to collect (Henry, 2011). Vertical projections obtained in row D indicate that *Pinus* type *sylvestris* concentrations are not mixed with *Juniperus* sp. concentrations. Nevertheless, *Prunus* type 3 seems to mix in both foci indistinctly. Its presence in the different foci may be because the genus *Prunus* constitutes a good fuel source and may therefore be related to a specific use. In this sense, Rosaceae belonging to the genus *Prunus* make good fuel and *Prunus spinosa* (blackthorn) is especially considered a very good fuel for maintaining embers (Zapata, 2001). Also, the combustion of *Juniperus* wood produces sparks and could also have been used to smoke meat (Allué et al., 2010; Ruiz-Alonso et al., 2014). However, the zooarchaeological evidence at Molí del Salt does not confirm the presence of meat processing related to smoking (Rufà et al., 2018).

The high quantity of pine wood at the site would not have been solely a result of its abundance in plant formations (Allué 2017a; Théry-Parisot and Thiébault, 2005). The natural production of branches yields prodigious quantities of firewood, so it would be an immediate and functional resource for use by a nomadic human group. Likewise, the pine wood resin would favour combustion (Théry-Parisot and Thiébault, 2005). At this point, we might speculate whether the reiterated combustions may have corresponded to specialized activities for which a certain type of fuel was needed.

Cultural and environmental factors affecting wood gathering strategies can also be suggested due to the absence of riverine woody plant taxa in our identifications. For example, riparian taxa, like *Populus*/*Salix* and *Sambucus,* and riverine taxa are documented in other paleoecological studies from sites close to Molí del Salt (Allué et al., 2007a; Bergadà, 1998; Mir and Freixas, 1993; Vaquero et al.,

2006). These taxa are always represented in low values when other more abundant and better fuel, such as pine or juniper, is present. Riverine species would have been disregarded unless there was no other wood available. Moreover, the scarcity of *Betula* sp., and *Acer* sp. is remarkable. These woody species have good quality proprieties for combustion, although the data obtained suggest that the use of these species as fuel was not recurrent in Molí del Salt. When these taxa are found in the environment, they tend to be well represented in the paleoenvironmental records (Allué et al., 2007a, Uzquiano, 2014). *Betula* sp. and *Acer* sp. have, however, been identified at low frequencies in layer 7 of Abric del Filador, corresponding to the transition to the Holocene (García-Argüelles et al., 2005).

Furthermore, the presence of fruits and seeds at the archaeological site may have resulted from gathered branches. A total of five carbonized seeds (*Prunus spinosa*, *Crataegus* and cf. *Rosa*) were recovered from layer Asup and one seed from layer A (Allué et al., 2010). We suggest an intentional behaviour in the selection, gathering and consumption of fruit may have taken place in the local environment of Molí del Salt.

Rhamnus cathartica/saxatilis are thorny shrubs, so the selective gathering of it as firewood would have been awkward and bulky. Like *Prunus* wood, buckthorn wood could also have been used as fuel, although its low frequency (4.75%) does not suggest its recurrent selection as firewood. However, its fruits and roots, like those of the blackthorn, can be used to obtain natural colorants, especially reddish and ochre tones. Natural colorants can be used for symbolic purposes or to dye skins, for example. Rufà (2017) documents the dominant and recurrent representation of Leporidae in the Molí del Salt faunal assemblage, in which he identifies humans as the main accumulating agents (Rufà 2017: 349). But, the purpose of processing of leporids should not be interpreted solely as a means for obtaining nutrients. The processing of rabbit skins to obtain secondary products seems to be evidenced in techno-typological and traceological studies of the lithic record of some Late Upper Palaeolithic sites (see Calvo et al., 2008), as well as in layer A of Molí del Salt (Luengo, 2017) and in anthropological observations of semi-nomadic groups, such as the Cahuilla Indians of southern California (Bean, 1974).

Finally, zooarchaeological studies of the macro and mesofaunal remains recovered at Molí del Salt have identified taxa related to human exploitation, such as the Iberian ibex (*Capra pyrenaica*), red deer (*Cervus elaphus*), wild boar (*Sus scrofa*), fox (Vulpes vulpes), lynx (*Lynx* sp.) and, in a higher percentage, the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) (Ibañez and Saladié, 2004; Rufâ, 2017). This evidence, combined with the anthracological results obtained from the entire archaeological sequence (from Allué et al., 2010 and the results presented in this paper), suggest the human exploitation of different landscapes in the immediate environment, combining montane pine forests, open landscapes and rocky areas.

5.5. Conclusions

On the north-eastern Iberian Peninsula, the dominance of *Pinus sylvestris* forest lasted until the GI-1c positive climatic oscillation (13900–13150 cal. BP). In the transition from interglacial stage GI-1 to the Holocene (12,650–11,500 cal. BP), the woody vegetation cover regressed to more open landscapes, and angiosperms expanded, adapted to more temperate climatic conditions. Likewise, rainfall and environmental humidity increased in this climatic phase, resulting in milder temperatures. The retreat of the montane coniferous forest and the expansion of the colonizing and mesophilic taxa began, and the plant diversity in the landscape's configuration increased.

The selection of wood used as fuel and the recurrent use of the same spaces for hearths over time is very evident in layer A of Molí del Salt. *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* type 3 were widespread throughout the north-eastern Iberian Peninsula and are very commonly documented in hearth combustions dating to the Late Pleistocene and early Holocene, especially *Pinus sylvestris* type. Therefore, fuel could very likely have been collected in areas nearby or very nearby the site. Likewise, the choice of wood as fuel seems to be specialized, since we have not detected possible hearths with a mixture of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. in the X-Z1 vertical distributions. The use of one or the other taxa points to specialized selection for firewood. The presence of *Prunus* wood, in its configuration of branches or small bushes, may be an indicator of hearth maintenance,

since it is often found in association with both taxa. However, we cannot discern whether the *Prunus* wood was transported to the site for the purpose of harvesting its fruit or whether it was selected as a specific fuel. However, the scarcity of fruits and seeds could be related to either immediate consumption or the complete combustion of these elements.

Acknowledgments

We would like to thank the fieldwork team that has been working in the excavation. We would like to thank the two anonymous reviewers whose comments helped to improving our manuscript.

Funding

The Molí del Salt excavations are also supported by the local government, Vimbodí i Poblet town council, and the Consell Comarcal de la Conca de Barberà. Bàrbara Mas is a beneficiary of a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) from the Generalitat de Catalunya integrated in the project Evolución litoral y modelación antrópica del paisaje durante el Holoceno en un llano litoral mediterráneo: Barcelona. Ministerio de Economia y Competitividad. HAR2016-77981-P (2016-2019). This research has been funded by Spanish Government MINECO/FEDER (MICINN-FEDER PGC2018-093925-B-C32), MICINN (PID2019-103987GB-C31), Generalitat de Catalunya (SGR2017-836, CLT009/18/00053). We would like to thank the fieldwork team that has been working in the excavation.

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at https://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2

CAPTHER VI. Late Paleolithic hunter-gatherers' resilience in the face of the transformation of the vegetation landscape and climate change in the Pre-Pyrenees [1]

[1]**Declaration**

The contents of this chapter have been submitted to the journal Quaternary Science Reviews and is currently under peer review. I am the lead author, and I confirm that the following text, figures and tables are own authorship.

Mas, B., Mangado, X., Sánchez de la Torre, M., Tejero, J.M., Fullola, J.M., Allué, E., under review.

ABSTRACT

Climate change since the Last Glacial Maximum has caused both plant communities and human behaviour to adapt. Humans relied heavily on wood as fuel to sustain their daily subsistence. Thanks to efficient fuel management, they were able to persist in a challenging environment. Cova del Parco (Iberian Pre-Pyrenees) was inhabited as a settlement in different periods of the Late Pleistocene (16.4 – 12.7 cal kyr BP). The site has one of the most comprehensive assemblages of Magdalenian hearths, allowing several specialized and daily activity areas to be reconstructed. This study aims to provide new anthracological data regarding the transformation of the forests in the Iberian Pre-Pyrenees, as well as showing how humans adapted their behaviour as regards fuel management and the use of space around the hearths. Furthermore, we present a spatial distribution analysis of the woody taxa from Magdalenian occupations that were identified during the anthracological study. A total of 1,993 charcoal fragments from Cova del Parco were identified at a taxonomic level. The anthracological results revealed the presence of 11 woody taxa, with the pine-juniper phase as a characteristic transformation of pre-forest formations in the cold climates of certain locations in the southwestern Mediterranean region. The results of our spatial analysis found that pinewood was the preferred fuel in the cave chamber, whereas juniper was most abundant in the rock shelter. However, the latest occupations revealed a shift in fuel use, with juniper becoming the primary fuel in the cave chamber. This change in behaviour is indicative of the changing needs of humans and their ability to adapt to new surroundings. It implies that strategies are contingent on context and dynamic, responding to changes in the environment. Overall, this study suggests that humans adapted to the changing environment by changing their fuel management strategies.

RESUMEN

El cambio climático desde el Último Máximo Glacial ha provocado que tanto las comunidades vegetales como el comportamiento humano se adapten. Los seres humanos dependían en gran medida de la madera como combustible para sustentar sus actividades diarias. Gracias a una gestión eficiente del combustible, pudieron persistir en un entorno desafiante. Cova del Parco (Prepirineo ibérico) fue habitada como asentamiento en diferentes períodos durante el final del Pleistoceno (16,4 - 12,7 kyr BP cal). El yacimiento cuenta con una de las colecciones más completas de hogares magdalenienses, lo que permite reconstruir varias áreas especializadas y de actividad diaria. Este capítulo tiene como objetivo proporcionar nuevos datos antrocológicos sobre la transformación de los bosques en el Prepirineo ibérico, así como mostrar cómo los humanos adaptaron su comportamiento en cuanto a la gestión del combustible y el uso del espacio alrededor de los hogares. Además, presentamos un análisis de distribución espacial de los principales taxones leñosos identificados en el estudio antrocológico. En total, presentamos los resultados del análisis de 1.993 fragmentos de carbón vegetal. Los resultados antrocológicos revelaron la presencia de 11 taxones leñosos, sugiriendo la fase de pino-enebro como una transformación característica de las formaciones preforestales en los climas fríos que se ha detectado también en ciertas ubicaciones de la región mediterránea suroccidental. Los resultados de nuestro análisis espacial muestran que la madera de pino montano sería el combustible más abundante y que se consumiría en la cámara de la cueva, mientras que el enebro se emplearía como madera en las combustiones localizadas en el abrigo rocoso. Sin embargo, las ocupaciones más recientes revelaron un cambio en el uso del combustible, con el enebro convirtiéndose en el combustible principal en las combustiones realizadas en la cámara de la cueva. Este cambio de comportamiento indica las cambiantes necesidades de los seres humanos y su capacidad para adaptarse a nuevos entornos. Además, sugiere que las estrategias dependen del contexto y son dinámicas, aunque parecen responder a los cambios en el entorno. En general, este estudio sugiere que los seres humanos se adaptaron al entorno cambiante cambiando sus estrategias de gestión del combustible.

6.1. Introduction

Climate change during the last deglaciation, a period from the end of the Last Glacial Maximum (LGM) in all its definitions (e.g., *sensu stricto*: 27.5–23.3 ka (Hughes and Gibbard, 2015) or 23–19 kyr BP (Mix et al., 2001); *sensu lato*: 30–16.5 ka (Lambeck et al., 2014) or 30–17 ka (Yokoyama et al., 2018) to the early Holocene (8.2 cal kyr BP), was characterized by brief episodes of cold, aridity and warm climate events in the North Atlantic region (Dansgaard et al., 1989; Walker et al., 1999; Andersen et al., 2006; Rasmussen et al., 2006, 2014, among others). However, there is no global picture of the variability of glacial-interglacial environments and their varying consequences (Rehfeld et al., 2018). These climatic changes had diverse consequences for the development of vegetation, especially the differential distribution of plant species (Sánchez-Goñi and Harrison, 2010; Valsecchi et al., 2012; Barton et al., 2018; González-Sampériz et al., 2020; Vidal-Matutano and Pardo-Gordó, 2020), and also altered the availability of many resources for Upper Paleolithic hunter-gatherer groups (Weniger et al., 2019). As a result, the climatic fluctuations had significant repercussions on human adaptations to diverse environments, specifically regarding the changes in wood availability and the implementation of sustainable fuelwood use practices. Moreover, these adaptations played a critical role in ensuring the survival of human communities by effectively meeting their energy requirements (Allué et al., 2010, 2017b; Uzquiano, 2014, 2018b; Mas et al., 2018, 2022; Ruiz and Sanz-Sánchez, 2020).

The Pyrenees is a mountain range that acts as a border between France and Iberia (southwestern Europe). This range, which is over 430 km in length, with peaks reaching as high as 3,404 m (Aneto), creates a physical barrier between the western Mediterranean region and the rest of western Europe, which is the cause of the massive contrast in climate between the northern and southern slopes and the inland of Iberia (Carreras and Ferré, 2014; Ninot et al., 2017). Iberia, for example, is a key area for the study of past climate variability, as the variability of the climate system, together with the geographical position of the region, makes it one of the areas most vulnerable to arid conditions (Araus et al., 1997; González-

Sampériz et al., 2005, 2010; Carrión et al., 2010a; Jalut et al., 2010). Furthermore, NE Iberia constitutes a good example of the way in which climate change has affected the distribution and diversity of plant species as well as the adaptations of hunter-gatherer groups over the course of the last deglaciation. Several palaeoecological records, such as the pollen (Carrión, 2005; Burjachs, 2009; Carrión et al., 2010a, 2010b; Jalut et al., 2010; González-Sampéritz et al., 2010, 2020; Revelles et al., 2022, among others) and small-mammal records (López-García et al., 2010, 2015), suggest the occurrence of cold periods interrupted by oscillations of semiarid and wet conditions during the last deglaciation, which affected the distribution and the structure of forests. Evidence from anthracological sequences shows that there were well-established, continuous communities of mountain pine forests (*Pinus sylvestris* type) until the MIS2 (LGM) / MIS1 (Holocene) transition (ca. 16 and 11.7 kyr BP) (Allué et al., 2007a, 2013a, 2018; Badal et al., 2013; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2021). During this period and up until the early Holocene, pioneer-colonizing shrubby vegetation such as *Juniperus* sp., *Prunus* sp., Rosaceae and *Rhamnus* sp. increased at the same time as the pine forests declined (Heinz and Barbaza, 1998; Allué et al., 2009a, 2017). The development and increase of deciduous forest formations with meso-thermophilous taxa at the beginning of the Holocene have been clearly identified (e.g., Allué et al., 2009a, 2012a, 2012b, 2017b; Mas et al., 2022). The contrast between temperature and precipitation, which is closely related to the orography of this territory, could explain the emergence of these kinds of pre-forest formation.

The climatic and landscape scenarios during the last deglaciation correspond with a gradual increase in human settlements, which began to occupy new areas (Straus et al., 2000; Fullola et al., 2012; Mas et al., 2018, Barbieri et al., 2022, among others). The last deglaciation period coincided with a cultural shift away from the Magdalenian archaeological culture and Epipaleolithic hunter-gatherer groups (Fortea, 1973; Vaquero et al., 2009; Aura et al., 2011; Fullola et al., 2012; García and Vaquero, 2015; Soto et al., 2016; Straus et al., 2018b). Magdalenian culture (ca. 18-14 cal kyr BP) is well known in Europe for its lithic technology and knapping strategies (Breuil, 1913; Soler et al., 2009; Utrilla and

Montes, 2009; Mora et al., 2011; Angevin, 2012; Aura et al., 2012; Fullola et al., 2012; Langlais et al., 2012; Bello et al., 2021), as well as its skill in making objects from bone and antler (Pétillon, 2008; Tejero and Fullola, 2008; Villaverde-Bonilla et al., 2012; Tejero et al., 2013; Erostarbe-Tome et al., 2022; among others). Additionally, the Magdalenian is associated with elaborate symbolic behaviours mainly expressed in mobile and rock art (e.g., Irish et al., 2008; Utrilla et al., 2009; Vega et al., 2013; García-Diez and Vaquero, 2015; Straus et al., 2015; Fuentes et al., 2019; among others) and its diversity of social organization (e.g., Schwendler, 2012; Langley and Street, 2013; Gutiérrez-Zugasti and Cuenca-Solana, 2015; Mas et al., 2018, 2021; Lefebvre et al., 2021; among others). Magdalenian culture was generally homogeneous across western Europe, although different local cultures began to emerge during the Epipaleolithic (ca. 13.5-11.6 cal kyr BP) (e.g., Martínez-Moreno and Mora, 2009; Barbaza, 2011; Vaquero et al., 2020).

Cova del Parco (southern Pre-Pyrenees of Iberia) has a continuous archaeological sequence from the Late Middle Magdalenian to the Epipaleolithic (geometric-Sauveterroid type and microlaminar type), spanning the period around 16.5-12.7 cal kyr BP (Mangado et al., 2007, 2014). More than 30 years of research have characterized the site as a settlement used by hunter-gatherer groups as a seasonal habitat on several occasions over time. A large number of hearths and a great deal of archaeological material attests to the complexity of the human occupations, which are characterized by the differential spatial occurrence of domestic and productive activities (i.e., lithic and bone tools production).

The purpose of this paper is to explain the importance of the anthracological data from Cova del Parco in relation to: 1) an overview of the last deglaciation in the Pre-Pyrenees of Iberia, with a discussion of the climatic conditions and the impact these had on the vegetation landscape; 2) an analysis of cultural behaviors, in particular how the organization of space around the hearths might have been structured according to an intra-site analysis of the charcoal remains; and 3) examine the practices of fuelwood resource management, emphasizing their adaptive and responsive characteristics in the face of dynamic environmental conditions.

6.2. Study area and site description

6.2.1. Geographical area and landscapes

Cova del Parco is located in Alòs de Balaguer (southern Pre-Pyrenees, NE Iberia) at an altitude of 420 m.a.s.l., on the southern slope of the Sant Mamet Dome and on the right bank of the river Segre, 120 m from the current course of the river, close to the marginal ranges of the Pre-Pyrenees (Calvo et al., 2008). The Sant Mamet Dome is a large limestone dome with craggy and abrupt reliefs (reaching up to 1,390 m.a.s.l.). The southern slope of this mountainous formation is structured by the river Segre, which leads to the Ebro Basin. The area is located at the confluence of the supra-Mediterranean and meso-Mediterranean bioclimatic stages (*sensu* Rivas-Martínez et al., 1987). In the studied area, summers are warm and mostly dry, whereas winters are cold, although the temperature does not usually drop below -4ºC, and the dry season persists throughout the year (Figure 6.1).

The landscape is included in the Iberian Sclerophyllous and Semi-Deciduous Forest Ecoregion (*sensu* Dinerstein et al., 2017) and is characterized by the occurrence of a particular kind of vegetation landscape (Figure 6.2). Around Cova del Parco, open ballota oak (*Quercus rotundifolia)* woodland occurs at altitudes of up to 1,200 m.a.s.l. (*Quercetum rotundifoliae ubs. Buxetosum, asplenietosum* and *violetosum willkommii*) (Carreras et al., 2015: 294). The dominant tree species is the ballota oak (*Quercus rotundifolia*), with some deciduous trees (*Acer monspessulanum*) and a few mountainous pines (*Pinus sylvestris*) as a secondary association. The undergrowth is dominated by evergreen shrubs (*Buxus sempervirens*, *Juniperus communis*, *Juniperus oxycedrus*) and some sub-Mediterranean deciduous shrubs (*Lonicera etrusca*, *Prunus spinosa*, *Pistacia terebinthus*), and herbaceous structure is scarcely developed. At the highest locations of the Sant Mamet Dome (up to 1,360 m.a.s.l.) and at southern locations of the river Segre (up to 400 m.a.s.l.), mixed forests of deciduous oak (*Quercus faginea* with hybrids) and pine forests (*Pinus nigra subsp. salzmannii* and *Pinus sylvestris*) occur (*Violo willkommii-Quercetum faginae*) (Carreras et al., 2015: 205). The river Segre has riparian vegetation growing along it (*Rubio tinctorum-Populetum albae*) (Carreras et al., 2015: 244), dominated by white poplar trees (*Populus alba*),

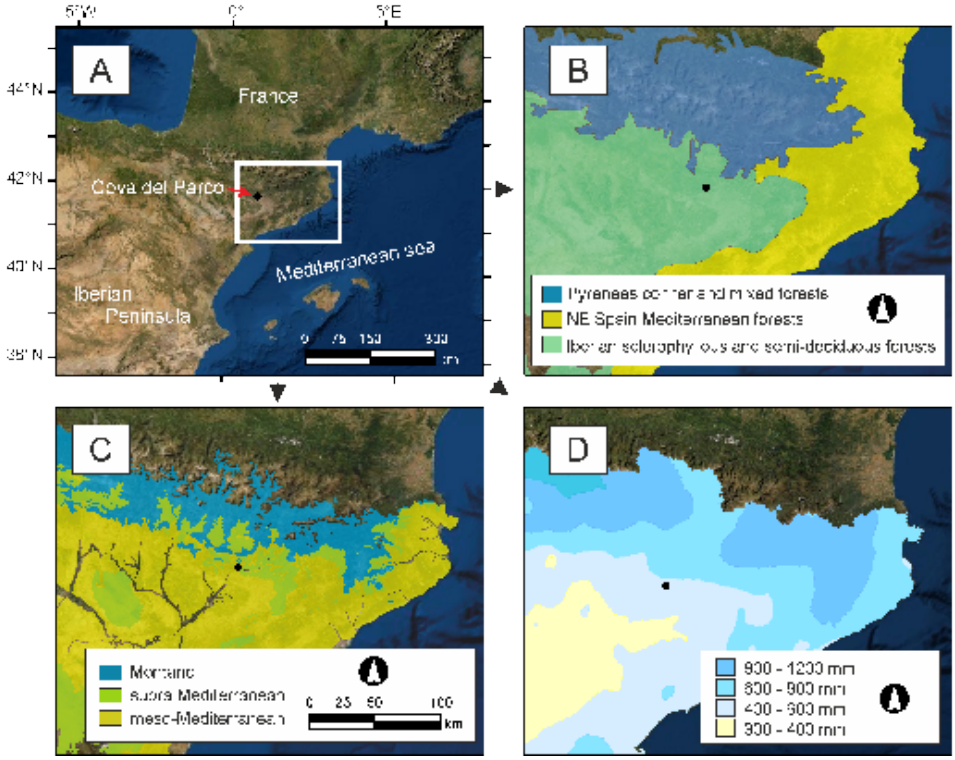


Figure 6.1. (A) Geographic location of Cova del Parco according to WGS84 UTM coordinates. (B) Ecoregions (Dinerstein et al., 2017). (C) Vegetation belts (Rivas-Martinez, 1987). (D) Average annual precipitation, which is influential in the area surrounding Cova del Parco. Captions B, C and D have the same scale.

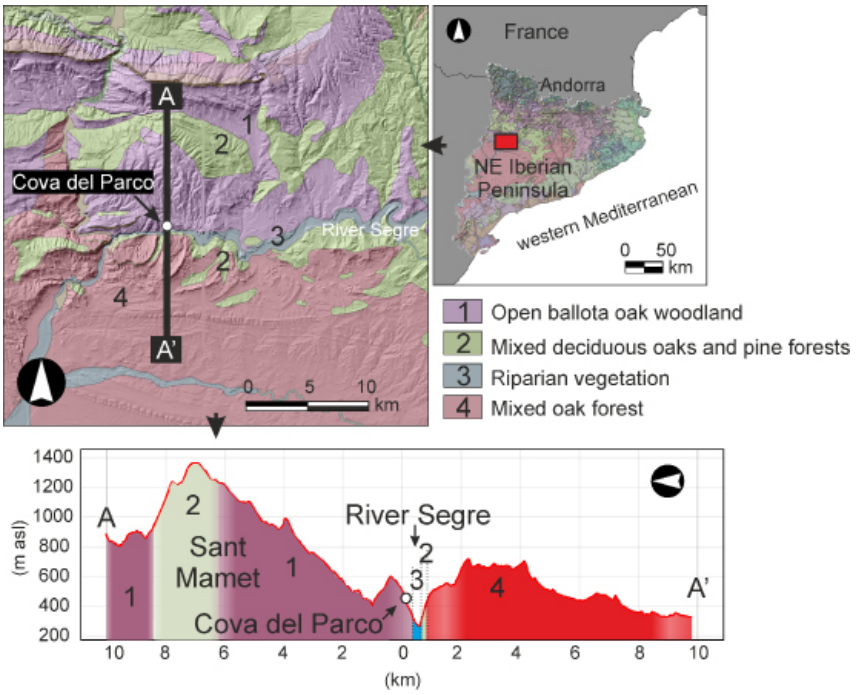


Figure 6.2. Vegetation map and terrain profile 20 km2 around Cova del Parco.

with other secondary deciduous trees (*Fraxinus angustifolia* and *Salix alba*), and the undergrowth is poorly developed. Finally, a mixed forest of oaks (*Quercus rotundifolia* and *Quercus pubescens* with hybrid oaks) is present at lower elevations (under 700 m.a.s.l.) in southern locations. This landscape has been degraded by human activity throughout historical times (Carreras et al., 2015: 297). In the undergrowth, there is a predominance of evergreen shrubs (*Juniperus communis*, *Buxus sempervirens*) and some sub-Mediterranean deciduous shrubs (*Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Prunus mahaleb*) (Carreras et al., 2015: 297).

6.2.2. Archaeological research at Cova del Parco

Cova del Parco is a rock-shelter. It comprises a cavity formed by a single triangular chamber (10.5 m long and 4.5 m wide), which communicates with a large rock-shelter (30 m long and 5.5 m wide) in a westerly direction (Figure 6.3). The first fieldworks conducted by J. Maluquer de Motes began in 1974 and were repeated in 1981 and 1984. The excavation method used was a test pit, called "Cala Maluquer", which documented human occupations from the Neolithic period, as well as from the 3rd millennium (Campaniform horizon and the early Bronze Age) (Petit, 1996; Mangado et al., 2015). Subsequently, the SERP research team (*Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques*) of the University of Barcelona (Spain) took over in 1987 and continues the fieldwork today.

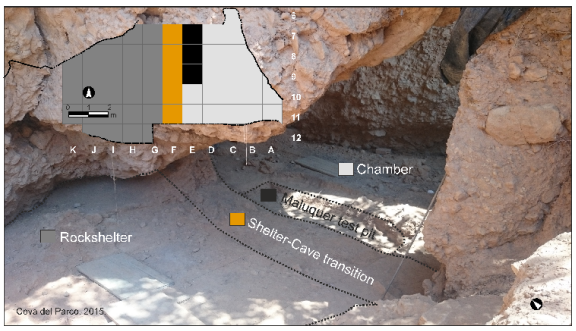


Figure 6.3. Plan-view map of the Cova del Parco site.

The archaeological sequence of the Epipaleolithic includes one geometric Sauveterroid-type layer (Ia2) and two microlaminar-type layers (Ib and Ic) (Mangado et al., 2014, 2015). The upper Paleolithic archaeological sequence corresponds to the Upper Magdalenian (layer II) and the Late Middle Magdalenian (layer III) (Table 6.1). Moreover, 15 sedimentological layers were obtained from the "Cala Maluquer" test pit in the western section, from a total sedimentary sequence of 2.38 m (Bergadà, 1998), although the radiocarbon dates correspond to the Late Upper Paleolithic (Fullola et al., 1990).

Table 6.1. Radiocarbon dates of Cova del Parco. The calendar ages have been calibrated by OxCal 4.4 (Bronk-Ramsey, 2009). IntCal20 curve: Northern Hemisphere (Reimer et al., 2020). Abbreviations: EP = Epipaleolithic; LUP = Late Upper Paleolithic; UP = Upper Paleolithic.

Sequence	Archaeological periods	Chrono-cultural periods	Layer	Lab. Ref.	Data (BP)	Dev.	Sample	Calendar 2σ cal BP	Calendar 2σ cal BC	Reference
Archaeological	EP	Geometric Sauvaterroid	Ia(2)	GifA-95562	10930	100	Charcoal	13073-12740	11124-10791	Fullola et al., 2004
	EP	Geometric Sauvaterroid	Ia(2)	GifA-95563	10770	110	Charcoal	12989-12489	11040-10540	Fullola et al., 2004
	EP	Microlaminar	Ic-Ib	OxA-8656	11430	60	Charcoal	13438-13176	11489-11227	Fullola et al., 2004
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-10796	12605	60	Charcoal	15224-14575	13275-12626	Fullola et al., 2012
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-10797	12460	60	Charcoal	14981-14296	13032-12347	Mangado et al., 2007
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-10835	12560	130	Charcoal	15282-14237	13333-12288	Mangado et al., 2007
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-13597	12995	50	Charcoal	15731-15336	13782-13387	Mangado et al., 2007
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-13596	13025	50	Charcoal	15775-15377	13826-13428	Mangado et al., 2007
	LUP	Upper Magdalenian	II	OxA-17730	13095	55	Charcoal	15899-15511	13950-13562	Mangado et al., 2010
	UP	Late Middle Magdalenian	III	OxA-29336	13255	50	Charcoal	16096-15739	14147-13790	Mangado et al., 2014
	UP	Late Middle Magdalenian	III	OxA-23650	13475	50	Charcoal	16405-16043	14456-14094	Mangado et al., 2014
Sedimentary	UP	-	IV	AA-8643	12900	130	Bone	15802-15060	13853-13111	Fullola et al., 1997
	UP	-	V	GifA-95565	13890	130	Charcoal	17291-16457	15342-14508	Fullola et al., 1997
	UP	-	VII	GifA-95547	13720	140	Charcoal	17035-16224	15086-14275	Fullola et al., 1997
	UP	-	XI	GifA-95552	14300	150	Charcoal	17895-17038	15946-15089	Fullola et al., 1997

The hearths of Cova del Parco are significant archaeological evidence of how humans used and organized the space around them. They are usually placed in central positions within the chamber and in the rock-shelter, and not in marginal locations or next to the cavity walls. The abundant archaeological material recovered has yielded highly interesting data on hunter-gatherer behaviours relating to technology (Calvo, 1997, 2004; Fullola et al., 2006; Mangado et al., 2007, 2014; Langlais, 2010; Tejero et al., 2009), ornamental objects and bone and antler tools (Tejero and Fullola, 2008; García-Argudo et al., 2020), mobility strategies and the procurement of raw materials (Estrada et al., 2010; Sánchez de la Torre, 2015, 2019; Mas et al., 2018), diet (Nadal, 1998; Mangado et al., 2007), the use of space around hearths and fuel consumption (Mangado et al., 2007; Fullola et al., 2012; Allué et al., 2013a), as well as environmental changes and taphonomic and sedimentary processes (Bergadà, 1998, Bergadà et al., 1999; Allué et al., 2013c; Driscoll et al., 2016).

6.3. Materials and methods

6.3.1. Anthracological analysis

The recent scientific advancements in the fieldwork have enabled us to reassess the stratigraphic assignment of the charcoal fragments that were previously analyzed. This reassessment has allowed us to rectify the erroneous archaeological context associated with the previously analysed anthracological sample. Thus, the charcoal fragments revised by M.T. Ros (1997) were recovered during the fieldworks of 1988 and 1993 and they were ascribed to layer I. We assigned these fragments to the Epipaleolithic layers Ib-Ic. Finally, we assigned the charcoal fragments that were ascribed between layers III to IV (Allué et al., 2013) to the Upper Magdalenian layer II. The charcoal fragments that do not preserve information about the location and depth have been excluded from this study.

This study is based on a sample of 1,715 charcoal fragments from previous studies (Ros, 1997; Allué et al., 2013) with the addition of 278 further charcoal fragments. Moreover, these new charcoal fragments were recovered during the fieldwork conducted between 2011

and 2019 and come from Magdalenian layers II and III. The complete anthracological assemblage included in this study, encompassing both the fragments obtained from previous fieldworks and those newly recovered, was recovered by hand-picking. Furthermore, charcoal fragments exceeding one centimeter in size were systematically hand-picked and were coordinated with Cartesian coordinates (X, Y and Z), ensuring accurate spatial documentation.

Identification and quantification were performed according to the most common methods used in anthracological studies (Badal-García, 1992; Chabal, 1997; Chabal et al., 1999; Kabukcu, 2018; Kabukcu and Chabal, 2021). Accordingly, data are expressed as absolute and relative frequencies (Chabal et al., 1999). The anthracological analysis was accomplished using reflected light microscopy, both light- and dark-field (Olympus BX41), with magnifications of x50, x100, x200 and x500. The identification was based on anatomical features described in specialized atlases of wood anatomy (Schweingruber, 1990; García-Esteban et al., 2003) and was supported by the reference collection of modern charcoals at IPHES-CERCA (Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social). Anthracological analysis does not always allow charcoal fragments to be distinguished to species level, but requires the identification of the most accurate taxonomic features possible (Chabal, 1997). In cases where taxonomic ascription to species level was not possible, therefore, other taxonomic groups such as type or genus were used. As such, *Pinus sylvestris* type includes P*inus sylvestris, Pinus nigra* ssp. *salzmannii* and *Pinus uncinata* (Allué et al., 2013; Allué and Mas, 2020). The wood anatomy of these three mountain pines does not allow for their differentiation, as they share the same anatomical features, including homoxylous wood, resin canals, uniseriated rays with height of up 8 to 15 cells in the tangential section, with occasional resin canals in tangential rays, fenestriform pits in the cross-fields and ray tracheids with distinctly dentate walls in the radial section (Schweingruber, 1990). We used the classification proposed by Heinz and Barbaza (1998) to categorize the genus Prunus into three types based on typical species from the southwestern Mediterranean region. This classification was based on the cell count of the ray width observed in the tangential section. Among these types, we

identified Prunus type 2, which includes species such as Prunus spinosa/mahaleb (between three and four cells per ray). In cases where the transverse section showed diffuse-porous characteristics and it was not possible to count cells across the width of the rays in the tangential section, we assigned the category Prunus sp.. Furthermore, Juniperus sp. was used since all the species belonging to this genus share the same anatomical characteristics. Finally, the category "Undeterminable" was assigned to charcoal fragments where no anatomical features supporting taxonomic identification could be observed. Additionally, the category "Undetermined" was used when recognizable anatomical features were present but insufficient for taxonomic identification.

6.3.2. Taphonomic and biological processes

During the anthracological analysis, taphonomic alterations of charcoal and biological processes that occur in plants were recorded (see references in Scott and Damblon, 2010; Théry-Parisot et al., 2010; Allué and Mas, 2020; Vidal-Matutano et al., 2020). Three categories were applied to classify the taphonomic features observed.

1) Biological processes: the growth of the plant is affected by various biological agents, such as insect and fungal attack on decaying wood (Toriti et al., 2021), and by the environmental and climatic conditions in which the plant grows until it is gathered. These include wind effects (Eklund and Säll, 2000), temperature factors and seasonal climatic changes (Gorczynski and Molki, 1969; Schweingruber et al., 2006), and wet conditions (Lucejko et al., 2021). Hence, within this category, we encompass the presence of anatomical deformities resulting from environmental conditions, growth patterns, natural processes and biomechanical factors (i.e., García-Esteban et al., 2003; Allué et al., 2009). Compression wood is a phenotypic adaptation observed in tracheids of coniferous species, characterized by the presence of helical thickenings in the cell walls (Schweingruber, 1988; Wloch et al., 2002; Donaldson et al., 2004; Allué and Mas, 2020). Insects mark refers to the presence of insect galleries within wood, resulting from infestation by insects (Schweingruber et al., 2006). Finally, a knot mark refers to the displacement or deformation of the ring boundaries and other anatomical elements observed in the tangential section (García-

Esteban et al., 2003); 2) Combustion: the carbonization of wood during combustion processes has significant implications that impact various aspects related to charcoal fragments, due to an increase or variability in temperature, which produces deformations in the internal structure of the wood and its morphology, such as cracks and vitrification (Courty et al., 2020; McParland et al., 2010; Théry-Parisot, 2001; Vidal-Matutano et al., 2019, 2020); 3) Fossil-diagenetic processes: these include post-depositional processes caused by physicochemical agents or processes (gelifluction, water, pressure) and anthropogenic disturbances (trampling, recovery methods) (see Chrzazvez et al., 2014), which affect the archaeological sediments. In our analysis, observations of these post-depositional processes were based on charcoal fragments with a friable texture, and concretion when sediment particles embedded in pores and tracheids.

Finally, Henry and Théry-Parisot (2014) propose a protocol, known as the Alteration Index (Ai), for assessing the condition of wood, distinguishing between healthy, dead, and rotten states. In this protocol, the "Alteration Levels" (A.L.) are classified into four stages: A.L. 0 and 1 correspond to the initial phases of wood colonization by fungi, characterized by minimal or localized cell wall perforations. A.L. 2 and 3 represent more profound and structural changes within the cells, including alterations in cell shape, the presence of cellular voids, and deformations. The main distinction between A.L. 2 and 3 lies in the spatial confinement of decay and the extent of cellular deformations, with A.L. 2 exhibiting more localized effects. The fragments were characterized as follows: AL0 (not altered), AL1 (slightly altered), AL2 (moderately altered) and AL3 (highly altered). Based on this method, we recorded the microscopic alterations observed in tangential sections of taxonomically identified Pinus sylvestris type charcoal fragments from the new revised sample, as part of a feasibility study. The purpose of applying this method is to evaluate its feasibility in contexts where charcoal fragments were recovered dispersed within the sediments, as opposed to enclosed contexts such as combustion structures, as suggested by the authors (Henry and Théry-Parisot, 2014).

6.3.3. Intra-site spatial pattering

The charcoal fragments that were spatially analysed are from Magdalenian layers II and III and Epipaleolithic layers Ib-Ic and Ia(2). They were collected by hand from sediments using coordinates (X-Y-Z) during the fieldwork. We used ArcGIS (v. 10.4.1) and R (R Core Team, 2021) software's for a geostatistical estimation based on the anthracological database. First, the archaeological grid of Cova del Parco was modelled as a polygonal vector (ESRI .shp file), where we included the spatial distribution (X-Y-Z) of all charcoal fragments. Then, according to the methodology proposed by Mas and colleagues (Mas et al., 2021), we applied the kernel density estimation (Silverman, 1986) using the spatial analyst tools of ArcGIS to calculate the density of the charcoal fragments according to neighbourhood analysis on a horizontal surface (X-Y). To this end, we used the total sample of charcoal fragments, and then the woody taxon counts from each archaeological layer. Finally, we used the ggplot2 package (v. 3.3.5) (Wickham,2016) of R software to obtain the relation of *Juniperus* sp. and *Pinus sylvestris* type distributions in the Magdalenian layers III and II, using a dispersion graph in the depth direction (X-Z).

6.4. Results

6.4.1. Anthracological analysis

In total, 1,993 charcoal fragments were analysed from Cova del Parco, and 1,868 of these were identified to a taxonomic level (Table 6.2). The identification of some charcoal fragments was limited due to their poor preservation; 6.27% of the fragments could not be identified by anthracological analysis.

The Magdalenian layers (III and II) yielded seven different taxa of trees and shrubs: *Acer* sp., *Ephedra* sp., *Hedera* sp., *Juniperus* sp., *Pinus sylvestris* type, *Prunus* sp. and *Prunu*s type 2 (blackthorn/mahaleb cherry). They showed a strong predominance of *Pinus sylvestris* type throughout the anthracological sequence (more than 70%), and the other taxa were present only in low quantities (no more than 5%). However, an increase in the relative frequencies of the shrub taxon *Juniperus* sp. was recorded in layer II (12.03%). The Epipaleolithic layers Ib-Ic and Ia(2) showed a remarkable increase in *Juniperus* sp. (83.84% and 92.65% respectively), particularly *Juniperus* sp. was the predominant taxon at the top of

Table 6.2. Anthracological results of Cova del Parco. Results from layer Ia(2) and II (Allué et al., 2013a), and layers Ib-Ic (Ros, 1997; Allué et al., 2013a) are included.

Archaeological period	Epipalaeolithic Sauveterrian		Epipalaeolithic Microlaminar		Upper Magdalenian		Late Middle Magdalenian	
Layer	**Ia(2)**		**Ib-Ic**		**II**		**III**	
Taxa	**n**	**%**	**n**	**%**	**n**	**%**	**n**	**%**
Acer sp.	4	1.63	14	1.92	5	0.55		
Ephedra sp.			7	0.96	1	0.11		
Hedera sp.	1	0.41			1	0.11		
Juniperus sp.	227	92.65	612	83.84	109	12.03	5	4.46
Pinus sylvestris type	3	1.22	36	4.93	672	74.17	81	72.32
Prunus sp.			1	0.14	31	3.42		
Prunus type 2			4	0.55	1	0.11		
Quercus sp. deciduous			10	1.37				
Quercus ilex/coccifera			27	3.70				
Rhamnus sp.			12	1.64				
Salvia rosmarinus			3	0.41				
Total taxa	**4**		**10**		**7**		**2**	
cf. *Ephedra*					1	0.11		
Total determinated	**235**	**95.91**	**726**	**99.45**	**821**	**90.61**	**86**	**76.78**
Undeterminable	3	1.22	3	0.41	11	1.21	12	10.71
Undetermined	1	0.41			17	1.88		
Undetermined angiosperm	1	0.41			6	0.66		
Undetermined conifer	5	2.04	1	0.14	51	5.63	14	12.5
Total sample	**245**	**100**	**730**	**100**	**906**	**100**	**112**	**100**

the anthracological sequence. In addition, *Pinus sylvestris* type, *Acer* sp., *Hedera* sp., *Ephedra* sp. and *Prunus* sp. showed a sporadic presence.

6.4.2. Taphonomic and biological alterations

Taphonomic marks are present in 50.55% of samples in layer II, and 67.86% in layer III (Table 6.3). Biological alterations show the highest values across layer II (88.34%) and layer III (58.16%), mainly in the form of compression in tracheids of *Pinus sylvestris* type charcoal fragments. Signs of insects attacks and knots were observed in both layers, although these showed low quantifications. In accordance with Henry and Théry-Parisot (2014), microscopic alteration levels (AL) were recorded within the anatomical cross-

Table 6.3. Taphonomic results for the charcoal fragments of Cova del Parco.

Archaeological layer	II		III	
	n	%	n	%
Combustion				
Vitrificacion	20		4	
Cracks	15		19	
Total	**35**	**9.07**	**23**	**23.47**
Biological				
Compression	313		41	
Decay	10		12	
Knot	18		4	
Total	**341**	**88.34**	**57**	**58.16**
Posdeposicional processes				
Concretion	10		15	
Friable			3	
Total	**10**	**2.59**	**18**	**18.37**
Total alterations	386	100	98	100
Total alterated fragments	458	50.55	76	67.86
Total analysed fragments	906		112	

section of 214 charcoal fragments of *Pinus sylvestris* type (Table 6.4). The alteration index (Ai) shows medium values (0.44 – 0.46), which correspond to low to medium alteration signals and are associated with wood-decaying fungi. Nevertheless, the features of decay or dead wood, such as fungus attacks, were detected only in low quantities.

Alterations caused by combustion, such as vitrification and cracks, were observed mainly in *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. charcoal fragments, representing 9.07-23.47% of the sample. Post-depositional alterations, such as concretions and a friable texture, affected the undeterminable fragments in particular (2.59-18.37%).

Table 6.4. Alterations in the charcoal sample of Cova del Parco, and the Alteration Index (Ai) based on Henry and Théry-Parisot (2014).

		Archaeological layers		
Type	**Description**	II	III	**Total alterations**
AL0	Not alterated	15	6	21
AL1	Low alteration	72	50	127
AL2	Average alteration	29	18	48
AL3	High alteration	14	10	25
Total		**130**	**84**	**214**
		0.44	0.46	
Alteration index Ai= ((nAL-1x1)+(nAL2x2)+(nAL3x3)) / (nTotalALx3)		172	116	
		0,44102564	**0,46031746**	

6.4.3 Intra-site spatial distribution of charcoal remains

The charcoal fragments densities according to the archaeological square were performed on the total number of charcoal fragments analysed from the Magdalenian layers III (112 fragments) and II (906 fragments) and the Epipaleolithic layers Ib-Ic (730) and Ia(2) (245 fragments). The charcoal fragments density demonstrates the repeated use of wood combustion in some locations, mainly in the central location of the chamber. However, the results from the rock-shelter area show that the distributions of charcoal fragments differ among the different layers (Figure 6.4).

The analysis of spatial distribution based on density was calculated in the Magdalenian layers and in the Epipaleolithic layers Ib-Ic using the charcoal fragments of identified *Juniperus* sp. and *Pinus sylvestris* type, which were the most significant woody taxa in the anthracological assemblage (Figure 6.5). Distribution analysis by taxon was not performed for layer Ia2, as *Juniperus* sp. was the predominant taxon (92.65%), and *Pinus sylvestris* type occurred only sporadically (1.22%). The

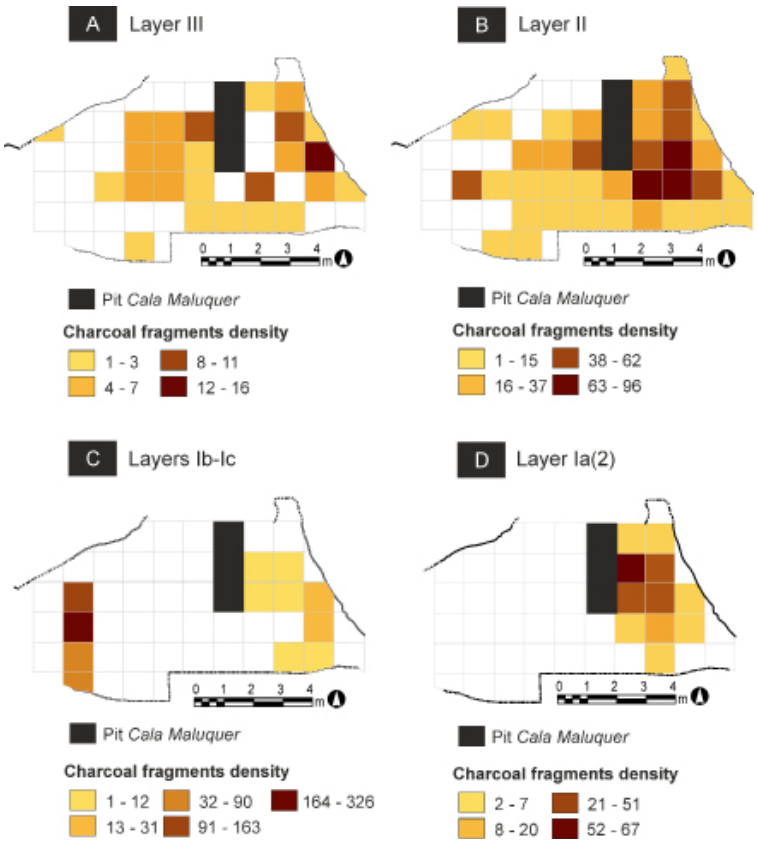


Figure 6.4. Density map of charcoal fragments distributed in A: layer III; B: layer II; C: layers Ib-Ic and D: layer Ia(2) of Cova del Parco.

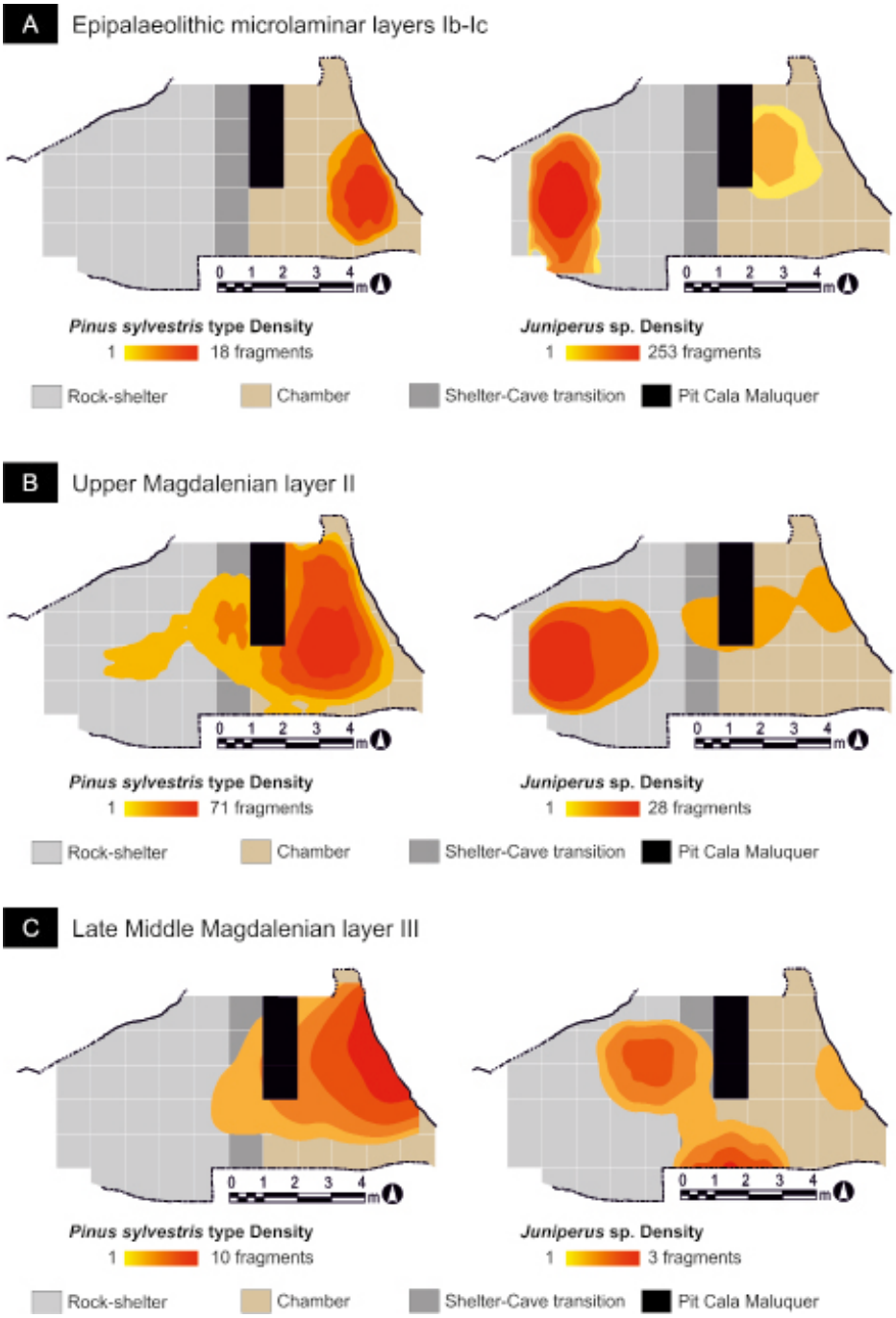


Figure 6.5. Spatial distribution density of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. throughout the settlement of Cova del Parco. A) Epipaleolithic microlaminar layers Ib-Ic. The sample for *Pinus sylvestris* type consists of 36 fragments, while the sample for *Juniperus* sp. consists of 612 fragments; B) Upper Magdalenian layer II. The sample for *Pinus sylvestris* type comprises 672 fragments, and the sample for *Juniperus* sp. comprises 109 fragments; C) Late Middle Magdalenian layer III. The sample for *Pinus sylvestris* type includes 81 fragments, and the sample for *Juniperus* sp. includes 5 fragments.

neighbourhood relationship suggested that a significant number of *Juniperus* sp. charcoal fragments were distributed in different locations from *Pinus sylvestris* type, a trend that was observed throughout the sequence.

The highest density of charcoals by

taxon from the Magdalenian layer III is found in the chamber of Cova del Parco. *Pinus sylvestris* type is most abundant in this area. *Juniperus* sp. appears to be mainly concentrated in the transition area between the rock-shelter and the cave. In the Magdalenian layer II, the density of *Pinus sylvestris* type shows a similar pattern to that in layer III. However, *Juniperus* sp. is mainly concentrated in the rock-shelter, at a greater distance from the cave (Figure 6.6).

The depth distribution of taxa (X-Z) throughout the Magdalenian layers III and II reveals unique events or episodes in the selection of woody taxa as fuel (Figure 6.7). The results indicate that *Juniperus* sp. and *Pinus sylvestris* type charcoal fragments are distributed in important concentrations, and that both taxa are distributed separately from each other, a trend that is observed in both Magdalenian layers.

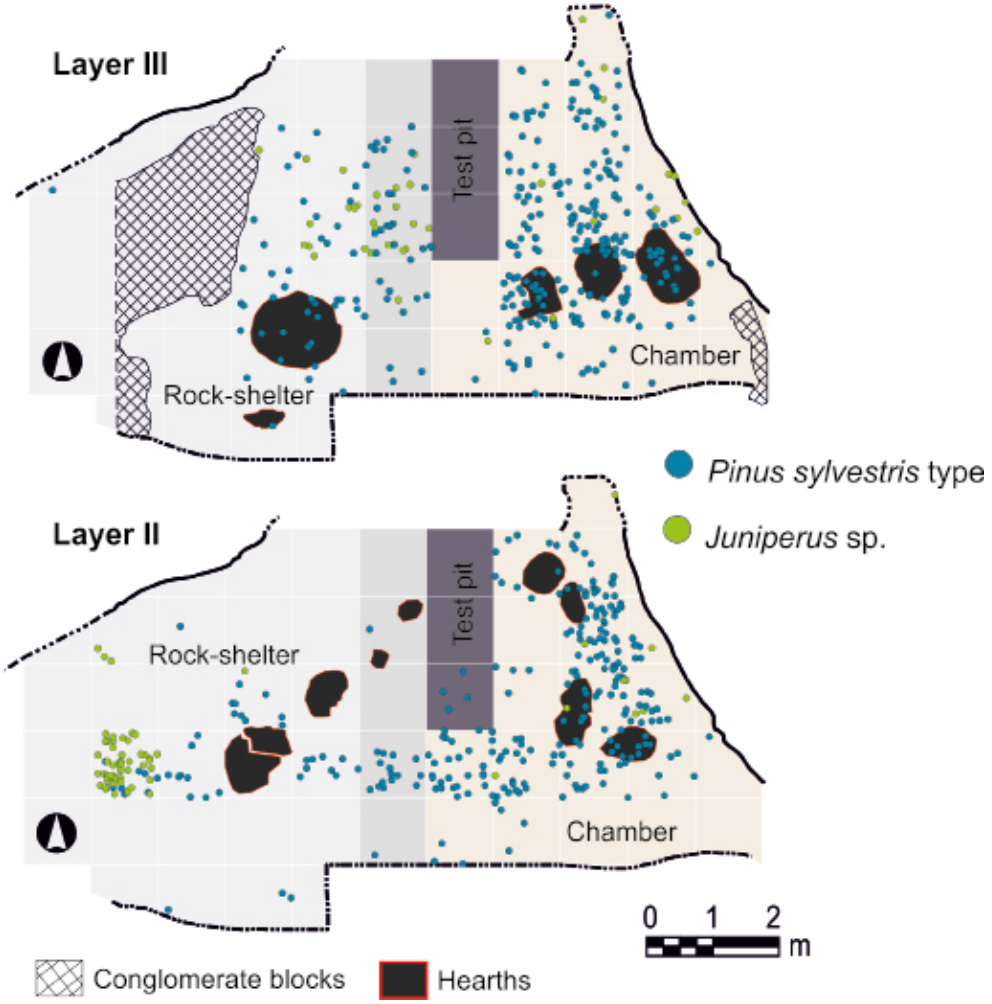


Figure 6.6. Spatial distribution of charcoal fragments throughout the settlement of Cova del Parco in relation to the hearths.

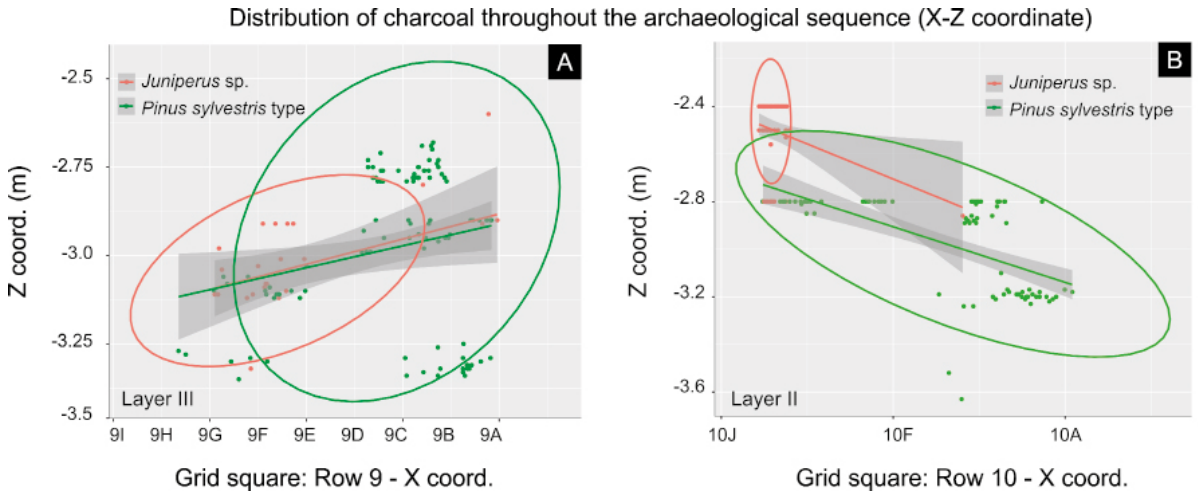


Figure 6.7. Scatter plots of the spread of charcoal fragments over archaeological layers III (A) and II (B). Y-axis: ranges of depth (in meters); X-axis: squares of the archaeological grid.

6.5. Discussion

6.5.1 Cova del Parco: a multiproxy record to reconstruct the surrounding landscape

The number of charcoal fragments analysed was not equal in all the layers of the sequence. Moreover, Chabal (1992) suggests that more than 200 fragments of charcoal from a given Paleolithic context are needed to obtain a representative sample. Nevertheless, other authors (Bazile-Robert, 1979; Uzquiano, 1997; Allué et al., 2017b) have proposed that an analysis of 100 charcoal fragments is sufficient to obtain a reliable Paleolithic record. Given the limited sample size, therefore, we are cautious about the results obtained from Late Middle Magdalenian layer III layer III, which is currently still under excavation. Furthermore, taxon accumulation curves, depicted in anthracological studies, visually illustrate the relationship between the cumulative number of identified taxa and the analyzed charcoal fragments (Chabal, 1992; Kabukcu and Chabal, 2021). These curves reveal an equilibrium point, suggesting that additional fragments are unlikely to yield new taxa. In our analysis, the first to eleventh reviewed fragments were identified as *Juniperus* sp., while from the twelfth fragment onwards until the last fragment, the identified taxon was *Pinus sylvestris* type. Despite the caution advised

regarding the interpretation of anthracological assemblages with few identified taxa (Kabukcu and Chabal, 2021), it is common for Paleolithic archaeological sites to exhibit a limited range of six to eight identified taxa in their anthracological assemblages (see discussion section 6.5.2).

The anthracological record of Cova del Parco during the period from 16.4-12.7 cal kyr BP is characterized by a gradual decrease in *Pinus sylvestris* type, a reduction in mesophilous taxa, and an abrupt increase in *Juniperus* sp. This change is most evident in layer Ia2, where only three charcoal fragments of *Pinus sylvestris* type are identified (Figure 6.8). The results from layers III to Ib-Ic suggest that montane pine forest was locally widespread in the surroundings of Cova del Parco. This forest was probably open in character, which would make it easy for shrubs such as *Juniperus* sp. and *Prunus* sp. to colonize the area. It has been proposed by Allué and colleagues (2018a) that open montane pine forests occurred in the Pre-Pyrenees, and a predominance of conifers at a regional scale in this period has also been suggested (Badal et al., 2013; Vidal-Matutano, 2018; Mas et al., 2021).

Although the anthracological sequence do not provide sufficient evidence to explain the abrupt increase in *Juniperus* sp., multiproxy

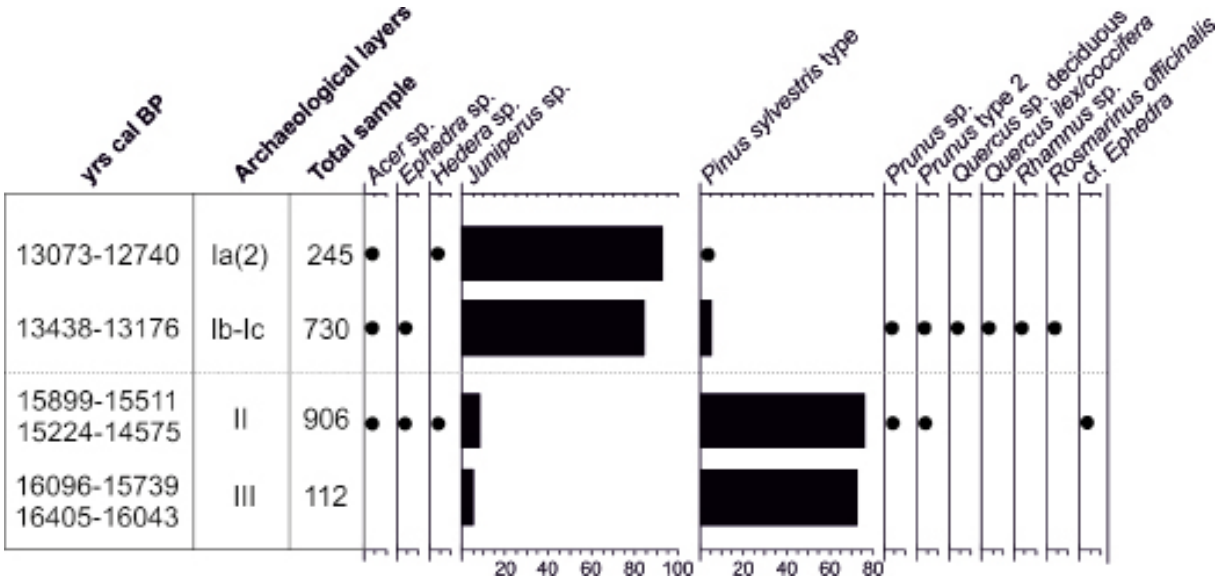


Figure 6.8. Anthracological diagram of Cova del Parco, including the results from Allué et al. (2013a) and Ros (1997).

records from Cova del Parco, including anthracology (Allué et al., 2013a; this chapter), pollen (Bergadà et al., 1999), faunal remains (Nadal, 1998; Mangado et al., 2007), and micro-sedimentology (Bergadà, 1998), provide data that do shed light on the vegetation history and local climate changes in the studied area (Figure 6.9). For example, although the climate dynamics during the last deglaciation are typically characterized by colder episodes (stadials and sub-stadials) and warmer periods (interstadials and sub-interstadials) (e.g., Walker et al., 1999; Rasmussen et al., 2014), the sedimentary records of Cova del Parco (Bergadà, 1998) suggest some local differences, which are related mainly to cold-semiarid and short cold-wet events (see Figure 6.9). Bergadà and colleagues (1997) thus identified a cold event that occurred in a humid and temperate environment in the period from

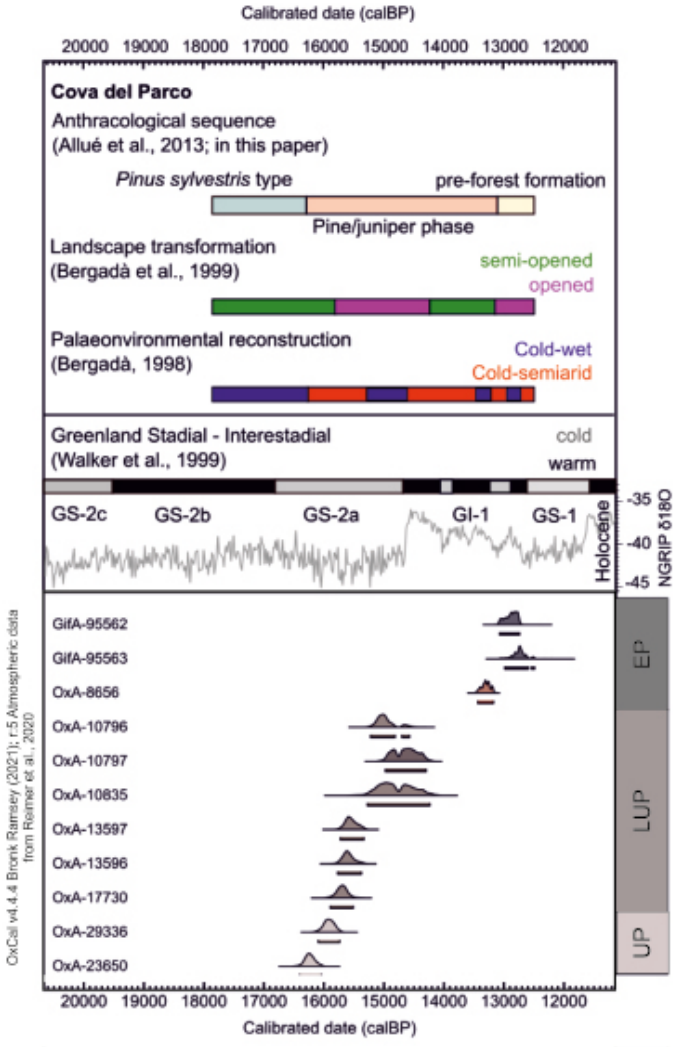


Figure 6.9. Calibrated radiocarbon dates of Cova del Parco in comparison with other climate and vegetation proxies.

14.5-14 kyr BP (sedimentary layers XI to VII). The authors also suggests that a semiarid environment coincided with cold conditions in a period from 14-13 kyr BP. The cold conditions continued in sedimentary layer III, and the humidity increased in sedimentary layer II. Moreover, semiarid conditions with short episodes of cold and humidity and some periods of runoff have been detected during the period from 13-10 kyr BP. The semiarid and cold periods recorded in the layers of Cova del Parco would probably have favoured the presence of woody species adapted to these conditions near the site, such as *Ephedra* sp. and *Juniperus* sp., whereas the short wetter-cold periods would have been more conducive to mesophilous species such as *Quercus* sp. deciduous, *Acer* sp. and *Hedera* sp.

Pollen data (Begadà et al., 1999) suggest that the landscape changed from being semi-open to more steppe-like in different phases. This steppe vegetation mainly includes dry environmental grasses, such as Poaceae, Artemisia and Asteraceae, with scattered pollen of pines and junipers. The opening up of the vegetation landscape is consistent with our results, although the herbaceous stratum cannot be detected by anthracology. Equally, montane pine forest and juniper shrub formations with arid-cold steppe vegetation could be a permanent plant community. Moreover, environmental conditions such as aridity and rocky soils could have limited the development of the mountain pine forest (Calaciura and Spinelli, 2008). Hence, the mountain pine forest was probably opened, and it would not have occurred in the area immediately around the site, but nearby. Faunal results from Cova del Parco may also corroborate the opening of the vegetation landscape characterized by the archaeobotanical proxies (Nadal, 1998; Mangado et al., 2007). *Capra pyrenaica* (Pyrenean goat), which usually lives on rocky soils, was the most common taxon identified among the macrofaunal remains from the Magdalenian layers. The abundant presence of this type of goat in the macrofaunal record is evidently due to the rugged geomorphology of the area where Cova del Parco is located (Mangado et al., 2007). Though based on few remains, *Cervus elaphus* (red deer) and *Bos primigenius* (aurochs) have also been identified. Although the red deer is an ecologically flexible species, it is best adapted to temperate climate conditions and forest habitats and would

have occupied grasslands and small forests (e.g., Niedziałkowska et al., 2012). However, *Oryctolagus cuniculus* (rabbit), which occupies more open landscapes or scrub formations, seems to be the most commonly consumed animal resource during the Epipaleolithic occupations.

By performing species-level identifications, it is possible to compare and reference different charcoal assemblages. It is thus difficult to discuss the ecological and biogeographical characteristics that might be associated with taxa in which the species cannot be identified (Chabal and Heinz, 2021). Some charcoal remains from Cova del Parco could not be identified to species level, such as *Prunus* sp., *Rhamnus* sp. and *Juniperus* sp. For example, *Prunus* sp. requires well-preserved anatomical features in both transverse and tangential sections for species to be distinguished, as the wood anatomy is similar in all species (e.g., Heinz and Barbaza, 1998; Ntinou, 2002; Allué, 2016). Due to the poor preservation of the charcoal remains from Cova del Parco, we also identified *Prunus* type 2 (including *Prunus spinosa* and *Prunus mahaleb*) by the number of cells in rays. For the other *Prunus* fragments that we identified, it was either not possible to observe the distribution of ring-pores, or we were unable to count the number of cells in the rays. In these cases, we referred simply to *Prunus* sp. Likewise, there is no foolproof method of determining juniper species by analysing their wood anatomy (e.g., Schweingruber, 1990; Badal et al., 2013; Alcolea, 2017), making it hard to draw any conclusions about the ecology of either *Prunus* sp. or *Juniperus* sp. However, all juniper species are known to be very resilient to both drought and extreme temperatures.

Prunus spinosa, *Prunus mahaleb*, *Juniperus communis* sp. and *Juniperus oxycedrus* grow in the area around Cova del Parco today. *Juniperus oxycedrus* occurs mainly in areas with a Mediterranean climate and is principally associated with Mediterranean pine woods (thermophilous pines) such as *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* (San-Miguel-Ayanz, 2016: 105), coastal grass and shrub vegetation, and with open sclerophyllous woods dominated by *Quercus ilex* and *Pistacia lentiscus*. *Juniperus communis* is usually confined to mountain areas (San Miguel-Ayanz, 2016: 104), it grows in poor soils, and it often occurs in open forests dominated by *Pinus sylvestris* (Calaciura and Spinelli, 2008). This shrubby

taxon can tolerate cold and dry environments but requires plenty of light (San-Miguel-Ayanz, 2016: 104). Given the light requirements of this species, a geospatial study of the territory surrounding Cova del Parco by Mas and collaborators (2018) suggests that during the Late Upper Paleolithic high irradiation in the area could have occurred. Nevertheless, Allué and colleagues (2013a) suggested that *Juniperus thurifera* could have grown in the area around Cova del Parco, as this is capable of thriving as a tree, whereas *Juniperus communis* is only found as an understory in mountain pine forests. *Juniperus thurifera* was also suggested by Alcolea (2017) in other Magdalenian sites, such as Forcas I and Legunova (southern central Pre-Pyrenees), which are located in a valley near Cova del Parco. Likewise, *Juniperus thurifera* forms dominant open shrubby communities and currently inhabits the Ebro Basin in locations with a continental climate influence (Ninot et al., 2017: 517), occurring on certain rocky landforms in the axial Pyrenees (Ninot et al., 2017: 339). Additionally, Heinz and Barbaza (1998) propose that *Juniperus thurifera*, a thermophilous preglacial taxon, survived in rocky habitats and at high altitudes during the glaciations in Troubat (central Pyrenees). In the light of these considerations, it is not possible to conclude with certainty which juniper species occurred in the area around Cova del Parco. The information available suggests that either *Juniperus communis* or *Juniperus thurifera* could have grown there. Semiarid conditions would have been favourable for *Juniperus communis*, whereas episodes of cold and humidity could have favoured the development of *Juniperus thurifera*.

In summary, the increase in *Juniperus* sp. and the decrease in *Pinus sylvestris* type seem to have come about gradually, at least in the Magdalenian layers. The documented climatic conditions, which show a change from cold and temperate to a more arid environment, could explain the gradual transformation or opening of the vegetation landscape. However, the gradual change in vegetation is not evident from the Upper Magdalenian to the Epipaleolithic. Nonetheless, evidence of *Ephedra* sp. charcoal has been identified at both layers. These plants are typically found in arid and semiarid environments, and in sparse vegetation (i.e., Burjachs, 2009) and are not frequently identified in the anthracological records. Instead, the change seems to have

happened abruptly, with a predominance of *Juniperus* sp. at the top of the anthracological sequence. Nonetheless, this change in vegetation probably also occurred gradually, as can be seen in other anthracological sequences, such as Balma del Gai (Allué et al., 2007a) and Molí del Salt (Allué et al., 2010; Mas et al., 2021), although *Juniperus* sp. was not predominant and other meso-thermophilous taxa were more highly represented, such as *Rhamnus cathartica/saxatilis*, *Prunus* sp. and *Acer* sp., probably due to wetter or less arid climatic conditions than those detected in Cova del Parco.

5.2 Pre-forest formations during the last deglaciation: a mosaic of landscapes

The analysis of archaeological charcoal in the European Paleolithic context presents a challenge, as anthracological assemblages are typically composed of few taxa (ca. 4-13) (Allué et al., 2018b; Mas et al., 2021). Over the last 40 years, the "pine-juniper" phase documented in Cova del Parco has been found in several anthracological sequences in Iberia (Heinz and Barbaza, 1998; Badal et al., 2013; Allué et al., 2013a, 2018a; Allué and Mas, 2021; Mas et al., 2021) and SE France (Heinz and Thiébault, 1998; Delhon, 2009) during the last deglaciation. As with the anthracological data from Cova del Parco, moreover, a high presence of *Juniperus* sp. is similarly suggested in SE France when *Pinus sylvestris* type decreases (Vernet and Thiébault, 1987; Heinz and Thiébault, 1998). This means that *Pinus sylvestris* type showed continuity not only in mountainous areas and that there was a great diversification of trees and shrubs in lower altitude areas, which could be due to differences in humidity or precipitation regimes. Overall, anthracologists have agreed that a climatic change from temperate-humid conditions (i.e., GS-2b) (in which *Pinus sylvestris* type was present) to cooler and drier conditions (i.e., GS-2a) (in which *Pinus sylvestris* type receded) caused the transformation of the forest, making it easier for junipers to colonize the newly opened spaces, especially as the climate improved. This similarity between the northern and southern slopes of the Pyrenees could suggest that the Pyrenees acted as a single landscape entity.

Several sets of anthracological data have found that *Juniperus* sp. and *Prunus* sp., together with other mesophilous and thermophilous

taxa, appear to have played an important role in pre-forest formations in the western Mediterranean region (Bazile-Robert, 1980; Vernet and Thiébault, 1987; Heinz and Thiébault, 1998; Delhon et al., 2010; Allué et al., 2007a, 2010, 2012b, 2013a; Henry et al., 2013a; Mas et al., 2021) between GS-2a (ca. 15 cal kyr BP), when pine forests *(Pinus sylvestris* type) began to recede due to a colder and drier environment, and the early Holocene (ca. 8.2 cal kyr BP) (Allué et al., 2018) (Figure 6.10). Furthermore, other significant mesophilous woody taxa have been found in pre-forest formations in other areas of NE Iberia that would occur under more humid climatic conditions, such as *Acer* sp., *Rhamnus cathartica/saxatilis*, and *Prunus* sp. (e.g., Vaquero et al., 2006; Allué et al., 2007a, 2010; Mas et al., 2021).

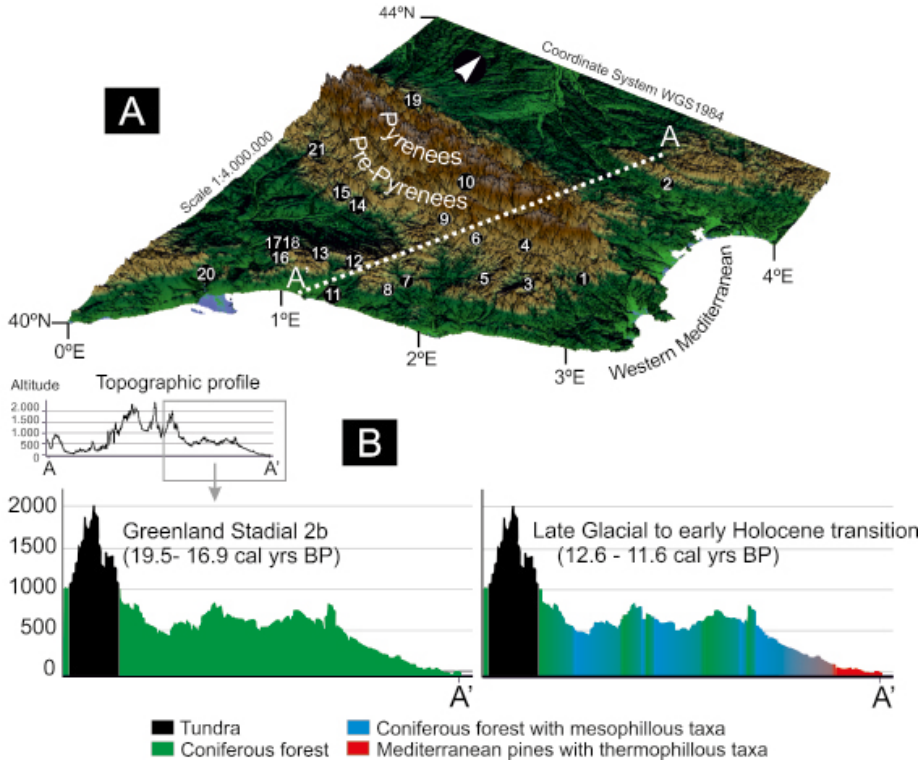


Figure 6.10. A. Map sites with anthracological data from the end of LGM to the early Holocene. 1: Bauma del Serrat del Pont (see Allué et al., 2012b); 2: Abeurador cave and Font-Juvénal (Heinz, 1990; Heinz and Thiébault, 1998); 3: Roc del Migdia (see Allué et al., 2012b); 4: Sota Palou (see Allué et al., 2012b); 5: Balma del Gai (Allué et al., 2007a); 6: Font del Ros (see Allué et al., 2012b); 7: Abric Agut (Vaquero et al., 2006); 8: Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 9: Balma Guilanyà (Allué et al., 2012a); 10: Balma Margineda (Heinz and Vernet, 1995); 11: La Cativera (Allué et al., 2000); 12: Font Voltada (Mir and Freixas, 1993); 13: Molí del Salt (Allué et al., 2010; Mas et al., 2021); 14: Cova del Parco (Allué et al., 2013a; in this chapter); 15: Cova Gran de Santa Linya (Allué et al., 2018a); 16) Hort de la Boquera (Garcia-Argüelles et al., 2014); 17: Abric dels Colls (Ros, 1998); 18: Abric del Filador (Garcia-Argüelles et al., 2005); 19: Grotte Troubat (Heinz and Barbaza, 1998); 20: Cova del Vidre (Alcolea, 2017) and 21: Forcas I (Alcolea, 2017). B. Terrain profile of the western Mediterranean area and synthesis of the transformation of forest according to anthracological data.

On a larger scale, there were differences in the landscape transformations that took place in Iberia from GS-1, or the Younger Dryas (i.e., Aura et al., 2011), up to the early Holocene (ca. 12.6-8.2 cal kyr BP). For example, anthracological data from northern Iberia (Uzquiano, 2014) suggest a variety of vegetation characteristic of wetter-temperate environments, although there were high occurrences of *Pinus sylvestris* type, *Quercus* sp. deciduous and *Betula* mainly within a somewhat later chronological interval between 11 and 10 kyr BP. Moreover, pollen data from mountainous regions show continuous forest, composed of coniferous formations in the oldest phases and a transformation to deciduous and meso-thermophilous forest formations from the beginning of the Holocene on (Burjachs, 2009; González-Sampériz et al., 2005; Carrión et al., 2008, 2010b). However, in lower-altitude locations in SE Iberia (in coastal and temperate regions), possibly due to a warm and moist climatic influence, deciduous and evergreen oaks with Mediterranean pines (*Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*) were the dominant taxa, even though junipers also played an important role (Aura et al., 2006, 2011; Carrión et al., 2007).

In summary, anthracological data and pollen records suggest that the opening of mountain pine forests and the occupation of new spaces by shrubby vegetation was significant in the areas surrounding the archaeological sites. Furthermore, it seems that during the Late Interstadial (GI-1) (14.7-12.6 cal kyr BP) both biogeographical differences and climatic changes in temperature and precipitation regimes started to have a notable impact on the distribution of different types of plant communities, both factors probably being more relevant than anthropogenic pressure. It is noteworthy that the alteration in vegetation likely exerted a substantial influence on the late Paleolithic human groups. The change in plant communities would have impacted the availability of resources, including food and energy, likely altering the way of life and survival tactics of hunter-gatherers. Furthermore, the effective management of firewood played a significant role in the resilience of these communities, enabling them to adapt to challenges and overcome adverse circumstances.

6.5.3 Distribution patterns of woody taxa and fuelwood resource management

The results from the Epipaleolithic layers (Ib-Ic) and Magdalenian layers (layers II and III) show that *Pinus sylvestris* type wood was burned mainly in the cave chamber, whereas charred remains of *Juniperus* sp. were less frequently found there. By contrast, the burned remains of *Juniperus* sp. were mainly concentrated in the rock shelter, where there was less intense burning of *Pinus sylvestris* (see Figure 6.6). The repeated human occupations of Cova del Parco were complex, with many hearths and a high diversity of archaeological remains (Mangado et al., 2009, 2010, 2015), mainly in the cave chamber. These include faunal remains related to culinary and butchery activities, as well as lithic and bone and antler tools and flint debris that suggest specialized areas of manufacture and cutting (Tejero and Fullola, 2008; Fullola et al., 2012; Mangado et al., 2014, 2015). All these activities are found in the central area of the chamber, and a build-up of waste is found in locations near the walls of the cave (Mangado et al., 2014). The Ai index demonstrates multiple fuel collections of dead wood of *Pinus sylvestris* type throughout the formation period of each archaeological layer (i.e., Henry and Théry-Parisot, 2014). This suggests that strategies for procuring dead wood of *Pinus sylvestris* type could have occurred in different human occupation events within both Magdalenian layers. This taxon produces a large amount of dead wood, pine cones, and dry branches annually (Gendek, 2015). The high frequency of pinewood at the site is likely to be due to its abundance in the catchment area around the settlement (Théry-Parisot and Thiébault, 2005; Allué et al., 2017b). Dead pinewood would thus have been an immediate resource and provided slow and long-lasting combustion; its resins can be good illuminators (Théry-Parisot et al., 2018). Nevertheless, it remains uncertain whether the observed fungal infestation in the charcoal fragments occurred prior to wood collection or during the post-combustion phase (Moskal-del Hoyo et al., 2010). Although the collection of *Juniperus* sp. dead wood remains a possibility, the lack of experimental references complicates the comparison of its characteristics. It is worth noting that junipers are known to be more resistant to fungal activities than pines, resulting in fewer anatomical alterations.

Evidence of Magdalenian activities is marginal in the rock-shelter area (Fullola et al., 2012; Mangado et al., 2014, 2015). In accordance with Bergadà (1998), the meagerness of archaeological material in the rock-shelter area could be explained by the fact that it was only used for specific purposes. Hence, the phytolith study by Albert and colleagues (1997) found plant leaves in a hearth located in the rock-shelter. This has been backed up by the noteworthy presence of *Juniperus* sp. at the same location. As suggested by other archaeological (Allué et al., 2010; Mas et al., 2021) and ethnobotanical (Turner, 1988) studies, juniper wood is suitable for smoking and disinfecting spaces when burned. The leaves of other plants could have been burnt together with juniper wood.

Different distribution patterns of *Juniperus* sp. and *Pinus sylvestris* type in the site might indicate that the two taxa were used at different times (see Figure 6.6), as in layer II, where juniper charcoal was distributed near the top (depth range between -2.4 and -2.8 m). However, the distributions of the two taxa in layer III did seem to coincide in depth range, lying mainly between depths -2.85 and -3.15 m. We cannot therefore be sure that the combustions took place synchronously or during the same Magdalenian occupation. It is worth noting that Juniperus wood is renowned for its characteristic aroma and its exceptional suitability for smoking food. However, combustion properties also depend on other parameters (Théry-Parisot et al., 2018), such as morphology (trunk, branch, size, diameter, among other factors) and state (decayed, dry or green, healthy, among other aspects). The combustion of softwood, including pine, displays diverse characteristics based on its condition. Dry softwood burns quickly, whereas healthy and green softwood burns at a slower pace. Nevertheless, it is crucial to highlight that pine wood, known for its abundant resin content, produces dense, dark smoke that is unsuitable for specialized activities like skin and food smoking. This brings up the question of whether the quality of smoke should be a significant factor when determining the choice of fuel for these processes. Even though the selection of certain woody taxa as fuel in distinct areas of Cova del Parco seems evident, this selection may also be related to the physical space of the site. Kedar and others (2020, 2022) found that the density of smoke played a role in

determining hearth locations in Paleolithic caves, particularly in locations with good air circulation. The cave chamber of Cova del Parco is more closed off than the rock-shelter area, which is obviously more open and ventilated. The rock-shelter could thus have been a more suitable location for dispersing the smoke from *Juniperus* sp. combustions.

An important point to note is that the analysis of human activity areas around hearths, represented by archaeological remains, is a common technique in the study of hunter-gatherers (Yellen, 1977; Binford, 1978, 1980, 1982, 1983, 1996; Vaquero and Pastó, 2001; Vallverdú et al., 2012; Vaquero et al., 2015; among others). Delimiting these activity areas can provide valuable information on how these groups organized themselves spatially. Moreover, management of the firewood supply involves making sure that there is enough wood to use as fuel. This in turn involves activities such as selecting a type of woody taxon, gathering the wood, carrying, and transporting the firewood, and storing it properly. Even today, the way fuel is managed and used is an important factor in considering which species to use as fuel, although in Paleolithic contexts these activities are more difficult to interpret (Théry-Parisot et al., 2018; Vidal-Matutano et al., 2020a). In the context of hunter-gatherers, resilience can be seen in their ability to manage and use firewood efficiently. Firewood was essential for cooking, specialized manufacturing, lighting, and heat generation, among other activities, and the ability to manage this resource effectively would have been crucial for their survival.

The criteria for determining which activities (cooking, specialized manufacturing, lighting, and heat generation, among others) are associated with the various properties of woody taxa as fuel are complex, especially in Paleolithic contexts (Badal, 2004; Solé et al., 2013; Ruiz-Alonso et al., 2014; Medina-Alcaide et al., 2015; Vidal-Matutano, 2016; Allué et al., 2017; Théry-Parisot et al., 2018; Uzquiano, 2018b; Mas et al., 2021; among others). Moreover, new light is progressively being shed on the spatial distribution of woody taxa in relation to human activity areas (Vidal-Matutano, 2017; Chabal and Heinz, 2021; Mas et al., 2021; Out et al., 2022). For example, the use of different taxa as fuel in different locations has also been documented by Mas and others (2021), who found differences in

the distribution patterns of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. charcoal remains in the Late Upper Magdalenian layer A (13.8–12.68 cal kyr BP) of Molí del Salt (NE Iberian Peninsula). The authors suggest that juniper would have been used as fuel mainly in locations further away from the walls of the rock shelter, whereas pine would have been used very close to the walls, where it would have been more protected from the wind.

Despite the widely acknowledged preference for the flotation technique in charcoal recovery (Wright, 2005; Pearsall, 2015; Vidal-Matutano et al., 2015; Kabukcu and Chabal, 2021), it is important to note that the spatial results obtained from manually collected charcoal fragments can still provide representative information, albeit with caution. Handpicked samples, despite the biases they may introduce, have been extensively utilized in anthracological research, demonstrating their suitability in situations where practical constraints or less-than-optimal preservation conditions hinder the application of flotation-based recovery methods (Allué et al., 2017; Arranz-Otaegui, 2017; Allué and Mas, 2020).

Our results cast new light on the relationship between fuel properties and human activities by providing information about how hunter-gatherer groups used different woody plants. In addition, the use of GIS systems to analyse the spatial distribution patterns of charcoal remains is less explored compared to other archaeological materials, partly because the locations where the charcoal fragments are found are not always specified in studies. Nevertheless, by considering the spatial distribution of various types of woody taxa in relation to human activity areas, we can gain a deeper understanding of how humans managed their resources and interacted with their environment.

6.6. Conclusions

Anthracological results from the Epipaleolithic occupations of Cova del Parco show a high frequency of *Juniperus* sp. and the sporadic presence of *Pinus sylvestris* type. This suggests that the montane pine forest, which was dominated by *Pinus sylvestris* type until the late Upper Paleolithic, retreated due to changing climatic conditions. These climatic conditions were cold and became more unbalanced, with colder-semiarid and colder-wet events. The

change in vegetation was probably a gradual process over the last deglaciation and until the early Holocene, as other anthracological data from Iberia suggest. In addition, it appears that during the Late Interstadial (GI-1) (14.7-12.6 cal kyr BP) both geographical differences and changes in temperature and precipitation regimes began to have a significant impact on the distribution of different types of plant communities, probably with both factors being more relevant than anthropogenic pressure. Spatial distribution results show that pine was more often found in the cave area of Cova del Parco, where domestic and productive activities were carried out, whereas juniper was found in the rock-shelter, probably associated with specialized activities. This suggest that different woody taxa were likely used for different purposes. By considering the spatial distribution of the woody taxa used as fuel in relation to where human activity was carried out, we can better understand how humans managed their wood resources and how they used their space in the settlement.

Acknowledgements

We extend our gratitude to the team that conducted fieldwork at Cova del Parco. We would like to thank the IPHES-CERCA to offer the access to the microscopy laboratory and workspaces, and to Rupert Glasgow for reviewing the English language of the manuscript.

Funding

Bàrbara Mas is supported by a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) with financial sponsorship of the Generalitat de Catalunya, integrated in the project PID2020-117186GB-I00 (2021-2024) "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)" from Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government. Marta Sánchez de la Torre is supported by the postdoctoral fellowship program Beatriu de Pinós, funded by the Secretary of Universities and Research (AGAUR) (Government of Catalonia) and by the Horizon 2020 program of research an innovation of the European Union under the Marie Sklodowska – Curie grant agreement No. 801370. This work is supported by the project PID-2020-113960GB-100 (2021-2024) "El poblamiento del NE peninsular y

su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial" from Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government, by the "María deMaeztu excellence accreditation" (cex2019-000945-M), and by the Research Groups 2021SGR-01237 and 2021SGR-00337 of the Generalitat de Catalunya. The Cova del Parco fieldwork is also supported by the local government of Alòs de Balaguer and Artesa de Segre town councils.

PARTE II



CAPTHER VII. Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: an anthracological approach [1]



[1]**Declaration**

The contents of this chapter have been submitted to the journal Review of Palaeobotany and Palynology. I am the lead author, and I confirm that the following text, figures and tables are own authorship.

Mas, B., Oms, F.X., Allué, E., 2022. Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: An anthracological approach. Review of Palaeobotany and Palynology 300, 104624. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104624

ABSTRACT

Cova Colomera is one of the most important archaeological sites to explain early herding activities in the Central Pre-Pyrenees (Iberian Peninsula). Fieldworks have provided a stratigraphy that shows short occupations of the cave by Neolithic and Bronze Age human groups. The sedimentological description has revealed fumiers deposits, that are characteristic of husbandry activities. In this paper, we provide the anthracological results based on 1,117 charcoal fragments. The results allow to characterise the Mediterranean vegetation landscape and its transformation, from a local perspective, related to climatic changes and anthropogenic activities.

Climate changes and human activities have played a significant role in Mediterranean landscapes dynamics. However, the incidence or impact of both agents on the vegetation landscape occurred unequally among the Mediterranean region. The anthracological results from Cova Colomera suggest that the Central Pre-Pyrenees was dominated by an oak forest ecosystem, with sub- and supra-Mediterranean deciduous taxon and coniferous forest during the Middle Holocene. This ecosystem remained more or less stable during the Late Holocene, although evergreen oak showed a slight increase, and coniferous forest showed a slight decrease. The orographic characteristics of the Central Pre-Pyrenees were able to maintain temperate and humid conditions, with less impact of aridity events recorded in Mediterranean environments. From a diachronic point of view, the herding activities of Neolithic human and Bronze Age human groups do not appear to have affected highly the landscape development of the Central Pre-Pyrenees. Human activities were probably not intensive in terms of forest clearing or land use.

RESUMEN

Cova Colomera es uno de los yacimientos arqueológicos más importantes para explicar las primeras actividades de pastoreo en los Prepirineos Centrales (península ibérica). Los trabajos de campo han proporcionado una estratigrafía que muestra ocupaciones breves de la cueva por parte de grupos humanos durante el Neolítico y la Edad del Bronce. La descripción sedimentológica ha revelado depósitos de fumier, que son característicos de actividades de gestión y resguardo de rebaños. En este capítulo, presentamos los resultados antrocológicos basados en el análisis de 1.117 fragmentos de carbón vegetal. Los resultados permiten caracterizar el paisaje vegetal mediterráneo y su transformación, desde una perspectiva local, relacionada con los cambios climáticos y las actividades humanas.

Los cambios climáticos y las actividades humanas han desempeñado un papel importante en la dinámica de los paisajes mediterráneos. Sin embargo, la incidencia o impacto de ambos agentes en el paisaje vegetal ocurrió de manera desigual en la región mediterránea. Los resultados antrocológicos de Cova Colomera sugieren que los Prepirineos Centrales estaban dominados por un ecosistema de bosque de robles, con taxones deciduos sub- y supramediterráneos y bosques de coníferas durante el Holoceno Medio. Este ecosistema se mantuvo más o menos estable durante el Holoceno Tardío, aunque el bosque del encinar mostró un ligero aumento y el bosque de coníferas mostró una ligera recesión. Las características orográficas de los Prepirineos Centrales pudieron mantener condiciones templadas y húmedas, con un impacto menor de los eventos de aridez que se han registrado en entornos mediterráneos. Desde un punto de vista diacrónico, las actividades de pastoreo de los grupos humanos durante el Neolítico y la Edad del Bronce no parecen haber afectado en gran medida al desarrollo del paisaje de los Prepirineos Centrales. Por ello, los resultados sugieren que, probablemente, las actividades de pastoreo no fueran intensivas en términos de deforestación o uso del suelo.

7.1. Introduction

The impact of general Holocene climate dynamics varied among past Mediterranean landscapes. Above all in the first stages of the Holocene (11.7 ka BP to 4.2 ka BP), the influence of climatic agents on landscape transformation was more evident than the impact of human activities. However, it is more controversial, or less obvious, which of the two agents, natural factors or the human activities, has been the main contributor to landscape transformation since the Middle-Late Holocene Boundary (4.2 ka BP), or indeed whether it has been a combination of both (see Jalut et al., 2000; Roberts et al., 2011). Holocene Mediterranean woodland history and landscape changes are here studied using a palaeoecological proxy, mainly pollen and charcoal data (e.g., Jalut et al., 2009; Woodbridge et al., 2018; Roberts et al., 2019; Picornell-Gelabert et al., 2020).

According to the available palaeobotanical sequences in the NE Iberian Peninsula, at the end of the Late Pleistocene and the beginning of the Early Holocene, deciduous oak forest, broadleaf trees and pine forests were dominant in the area (Riera-Mora and Esteban-Amat, 1994; Burjachs et al., 1997; Riera et al., 2007; Allué et al., 2007a, 2017b; Carrión et al., 2010a; Pérez-Obiol et al., 2011; Fletcher et al., 2012; Revelles et al., 2015, 2018; González-Sampériz et al., 2017; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2021). Further, during the Middle Holocene sub-epoch (8.2 ka BP to 4.2 ka BP), warmer and more humid climatic conditions prevailed as high-precipitation regimes increased, favouring the expansion of deciduous forests and the retreat of pine forests and grasslands (Badal et al., 1994; Jalut et al., 2009; Allué et al., 2012a; González-Sampéritz et al., 2017). Simultaneously, from the Early Holocene, Neolithization throughout the Mediterranean resulted in the expansion of agriculture and herding associated with the development of a sedentary lifestyle.

Herding activities are evidenced in archaeological sites by fumier deposits, which have been documented from the Early Neolithic to the Iron Age (see Angelucci et al., 2009). Fumiers are the result of stabling animals (usually flocks of goat and sheep) within the entrance areas of caves and rock-shelters. The deposits are mainly derived from the combustion of organic waste, such as

accumulations of animal dung. Plant material in this type of deposit has different origins related to practices and needs associated with human settlements such as foddering, animal beds, fuel, refuse and fencing (Brochier, 1983, 1991, 1996; Polo-Díaz et al., 2014, 2016; Burguet-Coca et al., 2020).

In addition to being an important proxy for detecting different past local landscapes, anthracology is also able to identify changes in human-forest relationships in terms of wood exploitation and consumption (see Chabal, 1992; Chabal et al., 1999; Kabukcu, 2018; Asouti and Kabukcu, 2021; Kabukcu and Chabal, 2021). Anthracological data available for the NE Iberian Peninsula during the Middle Holocene and Late Holocene sub-epochs (Senabre and Socias, 1993; Heinz and Vernet, 1995; Ros, 1995a, 1995b, 1996, 1998; Piqué, 1999, 2005; Allué, 2007a, 2010; Martín and Piqué, 2008; Allué et al., 2009a; Vila and Piqué, 2012; Antolín et al., 2013; Alcolea, 2017; Daura et al., 2019) indicate that the configuration and distribution of vegetation landscapes were diverse at regional scale. As a consequence, research based on a local approach may be relevant to reconstructing the regional variability (Figure 7.1).

The Central Pre-Pyrenees (southern Pyrenees, Iberian Peninsula) is remarkable for the evidence of herding activities that occurred there, as documented at Cova Colomera (see Bergadà and Oms, 2021; Martín and Oms, 2021) and also at other archaeological sites where anthracological data are available (Polo-Díaz et al., 2016; Burguet-Coca et al., 2020). The present study of a new anthracological sequence from a fumier deposit in Cova Colomera (Serra del Montsec, Central Pre-Pyrenees), with human occupations from the Early Neolithic to the Middle Bronze Age (mid-6th millennium cal BCE to 3rd millennium cal BCE), assumes a diachronic perspective in order to understand the role of anthropogenic activities and climate change in the transformation of local environments and the shaping of the cultural landscape. The main objectives are to understand vegetation change and its causes, and thus to estimate the impact that the Neolithization process may have had on vegetation landscapes.

7.1.1. Geographical area and landscapes

The study area is located in the Montsec range, in the Central Pre-Pyrenees, between

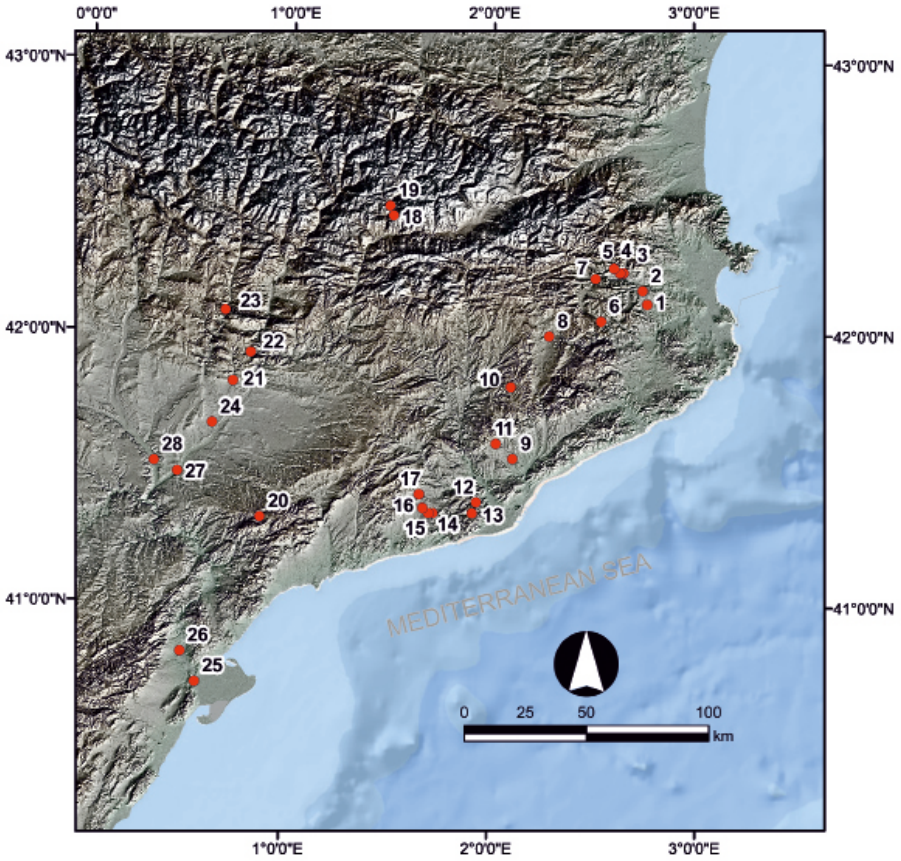


Figure 7.1.. Archaeological sites with available Middle-Late Holocene anthracological data from NE Iberian Peninsula. Early Neolithic: 1) La Draga (Piqué, 2005); 2) Cova d'en Pau III (Ros, 1996; Piqué, 2005); 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 5) Plansallosa (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 6) Cova de l'Avellaner (Ros, 1996); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 11) Cova del Frare (Ros, 1996); 12) Cova Bonica (Daura et al., 2019); 13) Can Sadurní (Antolín et al., 2013); 15) La Serreta (Allué, 2010); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 18) Camp del Colomer (Piqué et al., 2015b); 19) Bauma Margineda (Heinz, 1995); 20) Coves del Fem (Alcolea, 2017); 23) Cova Colomera (in this chapter); 25) Barranc d'en Fabra (Ros, 1996); 26) Cova del Vidre (Alcolea, 2017). Late Neolithic-Chalcolithic: 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 7) La Prunera (Piqué, 2005); 14) Santa Maria dels Horts (Senabre and Socias, 1993); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 22) Auvelles (Martín and Piqué, 2008); 23) Cova Colomera (in this chapter); 24) Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2012). Early Bronze age: 8) Institut Manlleu (Ros, 1995b); 9) Can Roqueta (Piqué, 1999); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 16) Mas d'en Boixos (Allué, 2007); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 23) Cova Colomera (in this chapter). Middle Bronze age: 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 23) Cova Colomera (in this paper); 27) Genó (Vila and Piqué, 2012); 28) Punta Farisa (Ros, 1998).

the Tremp-Graus and Ager drainage basins. This range, rising through the passage of the Pre-Pyrenees towards the Ebro Basin, is formed by Cretaceous bioclastic limestones. The topography is the result of a series of monoclinal mountain ranges over 40 km, covering an area of 186.96 km2, oriented from west to east. Three rivers, the Boix, the Noguera Pallaresa and the Noguera Ribagorçana, cut through the ridge from

north to south. Crossing the Montsec range, these water courses have eroded and shaped narrow gorges and routes such as Pas Nou, Terradets and Mont-rebei. At some points, the range exceeds 1600 m a.s.l. in its central sector (e.g., Sant Alís is at 1676 m a.s.l.), but it loses height at either end.

The southern slope of the range, the Ager basin, is characterized by a longer summer drought and therefore drier climate conditions (Figure 7.2). Locally, the area is under the influence of a sub-Mediterranean climate type, albeit with a continental trend (*sensu* Carreras and Ferré, 2014). Climatic conditions of sub-Mediterranean climate type are differentiated from the general Mediterranean regime by cooler temperatures and higher rainfall, although a short and irregular summer

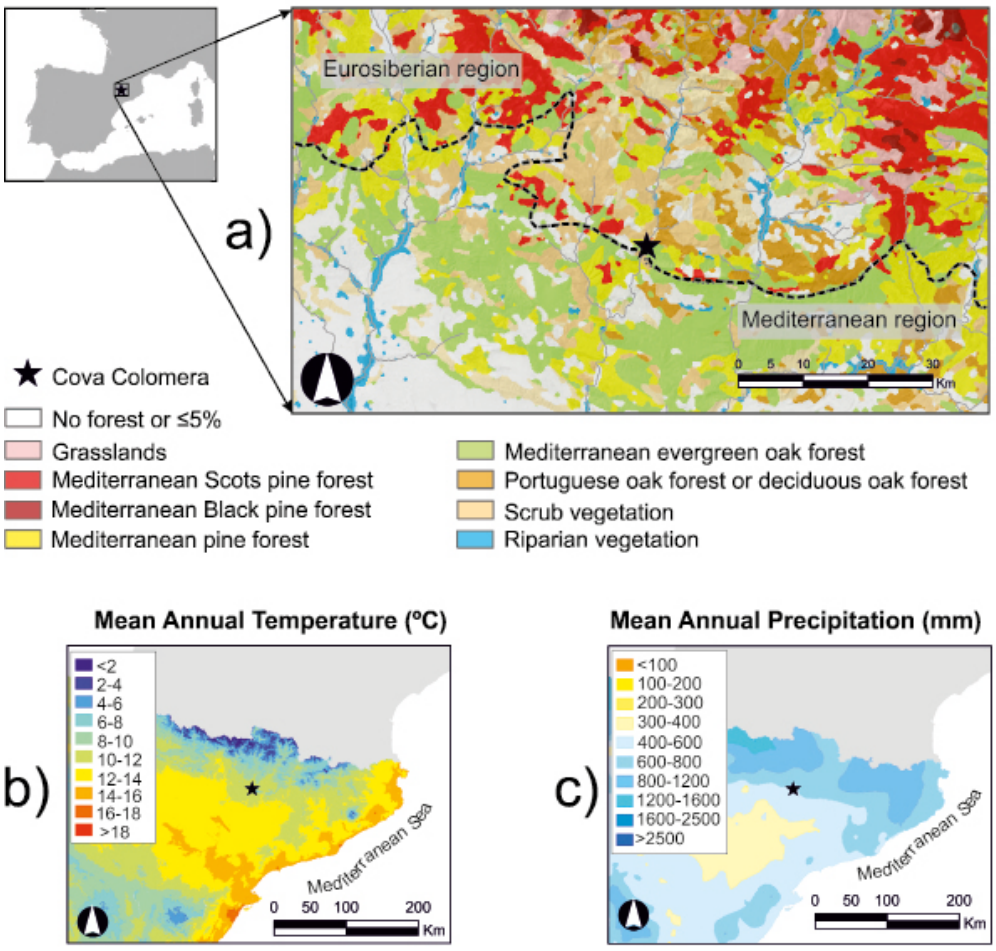


Figure 7.2. A) Map of forest communities in the study area, according to the vegetation series of Spain (Rivas-Martínez, 1987); B and C) Principal bioclimatic variables in the NE Iberian Peninsula. "Mean annual Temperature" (B) and "Mean annual Precipitation" (C) according to *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* (Spanish government), by geostatistical interpolation methods from actual AMET data (http://wms.mapama.es/sig/Agricultura/CaractAgroClimaticas/wms.aspx?).

drought may occur in some years (see Jalut et al., 2000). The mean annual rainfall ranges from 400 to 600 mm, with the maximum precipitation occurring in autumn (October showing mean precipitation of around 40 mm) and the minimum in summer (July showing precipitation of less than 13 mm). The mean annual temperature oscillates between 11 and 13ºC, with a maximum of 31ºC in July and a minimum of 0ºC in January (Meteocat data 2020 from Camarasa municipality). The biome of the area is characterized by Mediterranean forests, woodlands and scrub belonging to the Iberian sclerophyllous and semi-deciduous forests (Dinerstein et al., 2017). In some areas, holm-oak forests (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) and Aleppo pine forests (*Pinus halepensis*) expand.

The northern slope of the range, the Tremp-Graus Basin, is rainier and shadier, and consequently the climate is more temperate and could be interpreted as Eurosiberian in tendency. The biome is characterized by a temperate broadleaf and mixed forest, which belongs to the Pyrenees conifer and mixed forest ecoregion (Dinerstein et al., 2017). Locally, beech forests and oak forests are predominant (*Quercus faginea*, *Quercus cerrioides* and *Quercus pubescens*, with the presence of *Acer* sp. and *Buxus sempervirens*). Likewise, in the higher areas of the range, pine forests expand (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii* and *Pinus sylvestris*).

7.2. Cova Colomera

Cova Colomera is located in the Mont-rebei gorge, Serra del Montsec (Central Pre-Pyrenees, NE Iberian Peninsula). The cave is located 670 m a.s.l., 150 m above the left bank of the Noguera Ribagorçana River, a tributary of the Segre River (Oms et al., 2008, 2009a) (Figure 7.3). The cave entrance is 70 m high and 30 m wide and leads to a chamber about 180 m long and 10-12 m wide (Oms et al.,

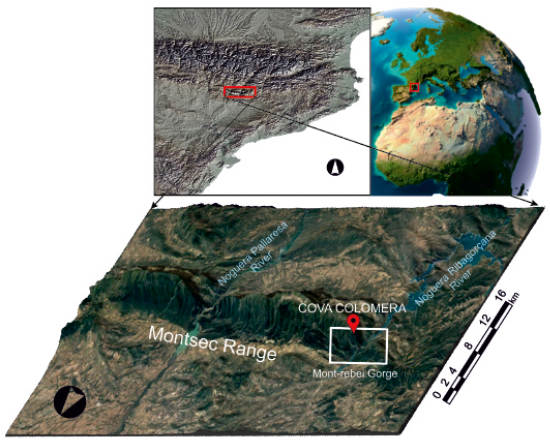


Figure 7.3. 3D Location map of Cova Colomera, at N42º4'40.892", E0º40'54.487" (WGS 84).

From 2005 to 2011, an interdisciplinary team from the Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP-UB) excavated the cave, resulting in the description of the stratigraphic sequence (Oms et al., 2015). Two 26 m2 test pits were excavated during the fieldwork: one in the eastern sector of the cave, "Colomera Est (CE)", and the second, "Colomera Vestíbul (CV)", in the highest sector of the cave entrance. The CV test pit revealed thin stratigraphic layers up to the top of a carbonate crust. Under the crust, a series of overlapping anthropogenic structures (silos, hearths, post-holes) were documented. Six Holocene archaeological layers and one Late Pleistocene layer were registered in the CE test pit (Table 7.1).

The lowest unit CE15 (CE15a, b and c), corresponding to the Pleistocene, was not anthropic in origin, but many micro- and macrofaunal remains were recovered from the excavation and sediment sieving (López-García et al., 2010). The Pleistocene unit was separated from the Holocene sequence by a thin concentration of boxwood leaves and white-coloured branches that corresponds to the top unit of the Holocene sequence, layer CE14 (7163-6964 cal. years BP). The boxwood

Table 7.1. Compilation of published radiocarbon and calibrated dates from the Holocene sequence of the Cova Colomera test pit CE.

Layer	Type	Cultural attribution	Sample	Recovered	Radio-carbon	Ref. Lab	Date B.P.	cal yr B.C. 2σ	Cal yr B.P. 2σ	Published
CE8	*Fumier*	Middle Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-23633	3260±26	1630-1470	3561-3400	Oms et al., 2015
CE8	*Fumier*	Middle Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-140550	3280±40	1660-1440	3579-3395	Oms et al., 2015
EE1	Silo	Early Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-17732	3659±30	2170-1930	4086-3896	Oms et al., 2009b
EE1	Silo	Early Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-241704	3630±40	2130-1890	4084-3839	Oms et al., 2009b
CE9	*Fumier*	Late Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-265439	4230±40	2960-2680	4863-4621	Oms et al., 2015
CE10	*Fumier*	Late Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-17331	4500±32	3400-3040	5305-5041	Oms et al., 2015
CE12	*Fumier*	Early Neolithic	*Buxus sempervirens*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-248523	6020±50	5060-4780	7146-6737	Oms et al., 2013
CE13	*Fumier*	Early Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-240551	6150±40	5250-4960	7164-6909	Oms et al., 2013
CE14	*Fumier*	Early Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-23634	6170±30	5250-5010	7163-6964	Oms et al., 2013

remains, such as branches and leaves, were documented in a primary position and have been interpreted as a bed for the herd or as part of their diet (Oms et al., 2013; Bergadà and Oms, 2021). Layers CE14, CE13 (7164-6909 cal. years BP) and CE12 (7146-6737 cal. years BP) are ascribed to a late phase of the regional Early Neolithic (Oms et al., 2008, 2009a, 2010, 2013, 2015). Layers CE10 (5305-5041 cal. years BP) and CE9 (4863-4621 cal. years BP) are ascribed to the Late Neolithic, with horizons associated with the Veraza and Veraza-Ferrières cultures respectively (Oms et al., 2010, 2015). In turn, EE1 (4084-3839 cal. years BP, 4086-3896 cal. years BP) is an Early Bronze Age silo-shaped negative structure cutting through the Early Neolithic layers (Oms et al., 2009b, 2010, 2015). Lastly, layer CE8 (3579-3395 cal. years BP, 3561-3400 cal. years BP) corresponds to the Middle Bronze Age. All the Holocene layers correspond to an in-situ sedimentary facies of a fumier type (*sensu* Brochier, 1983, 1991, 1996), which formed through a continuous accumulation of preserved fumier deposits. Accordingly, the eastern sector of the cave (CE) can be interpreted as corresponding area related to stabling and husbandry practices (Oms et al., 2008; Bergadà and Oms, 2021; Martín and Oms, 2021) (Figure 7.4).

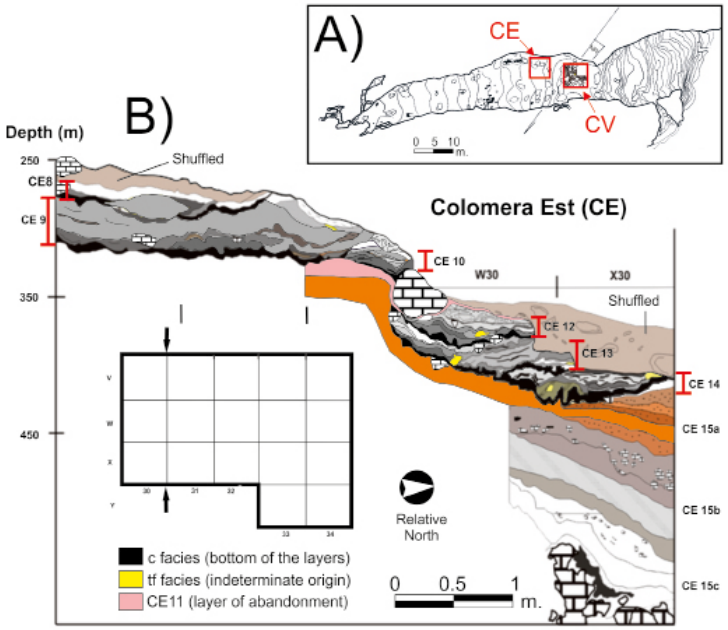


Figure 7.4. A: Cave plan; B: Stratigraphic profile and grid-square (2008-2009) of the Cova Colomera test pit CE (Oms et al., 2013: modified). According to Angelucci and others (2009), c facies relates to the accumulations of charcoal fragments and tf facies refers to silt with abundant ash and varied color, sometimes with platy structure and moderate cementation.

7.3. Materials and methods

The anthracological analysis of the Middle and Late Holocene archaeological layers at Cova Colomera is based on the study of 1,117 charcoal fragments. A previous work consisted of the anthracological identification of 300 fragments from the EE1 silo (Oms et al., 2009b), but in the present study this assemblage is complemented with the identification of an additional 60 fragments. To recover the archaeobotanical remains, all the excavated sediment (from 2005 to 2011) was manually floated using bucket flotation, maintaining the spot height measurements (in 5 cm ranges) of the sedimentary facies and using a 0.2 mm mesh sieve.

Identification and quantification were performed according to the standard methodology used in anthracological studies (see Kabukcu and Chabal, 2021; Asouti and Kabukcu, 2021). The charcoal remains were quantified as the number of fragments per taxon and, to evaluate the optimal sample size of the layers, the accumulation curves were established (Chabal, 1997; Kabukcu and Chabal, 2021). The anthracological analysis was accomplished using reflected light microscopy, both bright- and dark-field (Olympus BX41), with magnifications of x50, x100, x200 and x500. The identification was based on anatomical features described in the atlas of European woods compiled by Schweingruber (1990) and was supported by the reference collection of modern charcoal at the IPHES (Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social), Tarragona (Spain).

Unidentifiable charcoal fragments were assigned to broader categories based on their anatomical features. Undetermined fragments were classified as undetermined angiosperm or undetermined conifer. Fragments that retained some distinguishable anatomical feature, but did not allow attribution to species level, were numbered (e.g., indeterminate angiosperm 1). Anthracological analysis does not always allow charcoal fragments to be discriminated to species level (Chabal, 1992, 1997; Chabal et al., 1999), so in those cases other taxonomic groups were used (types, cf., or genera). Some specific taxa identified in the anthracological sample were regrouped (e.g., *Populus/Salix*; *Pinus sylvestris* type includes *Pinus sylvestris/nigra*; and *Quercus* sp. evergreen includes *Quercus ilex* and *Quercus coccifera*) where the anatomical

distinction between two or more species is not possible (Schweingruber, 1990). Undefined species ("sp.") of some genera were grouped together, such as *Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Lonicera* sp., and *Juniperus* sp. Some species of the same genus have distinct specific anatomical criteria that may constitute different categories or types (Heinz and Barbaza, 1998; Alcolea, 2017; Allué et al., 2018a). Following Heinz and Barbaza (1998), for European woods from the Mediterranean basin, the genus *Prunus* can be classified into three types according to how many cells wide the rays are. The rays of *Prunus* type 1 (which includes *Prunus avium/padus*) are no more than two cells wide. The rays of *Prunus* type 2 (which includes *Prunus spinosa/mahaleb*) are three or four cells wide, and the rays of *Prunus* type 3 (which includes *Prunus spinosa*) are more than five cells wide. Finally, the family Rosaceae/Maloideae corresponds to several species, including, for example, *Sorbus* and *Crataegus*, which do not always share the same ecological adscription.

7.4. Results

The anthracological record from Cova Colomera incorporated 1,117 charcoal fragments, of which 1,038 were identified (Table 7.2A and 7.2B). Accumulation curves show an optimal sample size analysed in all layers (Figure 7.5). The charcoal record shows a wide diversity of taxa, including broadleaves and lianas such as *Acer* sp. (maples), *Arbutus unedo* (strawberry tree), *Buxus sempervirens* (boxwood), *Clematis vitalba* (traveller's joy), *Corylus avellana* (common hazel), *Fagus sylvatica* (common beech), *Fraxinus* sp. (ash), *Hedera helix* (ivy), *Lonicera* sp. (honeysuckle), *Pistacia lentiscus* (lentisk), *Populus/Salix* (poplar/willows), *Prunus* type 2 and type 3 (plums), *Quercus* sp. evergreen and *Quercus* sp. deciduous (holm-oaks and oaks), *Rhamnus alaternus/Phillyrea* (buckthorn), Maloideae (pomes), indeterminate angiosperm and cf. *Sambucus* (elderberry), and conifers such as *Pinus sylvestris* type (Scots pine and black pine), *Taxus baccata* (yew) and *Juniperus* sp. (juniper). The taxon richness remains more or less homogeneous throughout the sequence, although taxon variability is higher in the Late Neolithic layers, especially in layer CE9.

The Early Neolithic layers CE12, CE13 and CE14 show a predominance of boxwood, with deciduous oak and *Pinus sylvestris* type subsequently. Maple shows low

Table 7.2A. Middle Holocene anthracological record from Cova Colomera.

Archaeological period	Early Neolithic						Late Neolithic			
Layer	**CE12**		**CE13**		**CE14**		**CE9**		**CE10**	
TAXA	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Acer sp.	9	7.50	11	7.33	17	8.42	24	7.12	14	14.00
Arbutus unedo	-	-	3	2.00	4	1.98	2	0.59	-	-
Buxus sempervirens	43	35.83	37	24.67	76	37.62	83	24.63	25	25.00
Clematis vitalba	-	-	-	-	-	-	1	0.30	-	-
Corylus avellana	-	-	1	0.67	-	-	1	0.30	-	-
Fraxinus sp.	-	-	-	-	-	-	4	1.19	-	-
Juniperus sp.	4	3.33	27	18.00	11	5.45	22	6.53	5	5.00
Lonicera sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.00
Pinus sylvestris type	14	11.67	17	11.33	30	14.85	37	10.98	10	10.00
Pistacia lentiscus	-	-	1	0.67	-	-	1	0.30	-	-
Populus sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.00
Prunus type 2	1	0.83	5	3.33	6	2.97	8	2.37	3	3.00
Prunus type 3	1	0.83	1	0.67	3	1.49	4	1.19	5	5.00
Quercus sp. deciduous	35	29.17	34	22.67	35	17.33	91	27.00	19	19.00
Quercus sp. evergreen	5	4.17	3	2.00	5	2.48	5	1.48	1	1.00
Rhamnus alaternus/Phillyrea	-	-	-	-	1	0.50	1	0.30	-	-
Rosaceae/Maloideae	-	-	1	0.67	1	0.50	-	-	-	-
Taxus baccata	2	1.67	-	-	2	0.99	18	5.34	6	6.00
Indeterminated angiosperm 1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.00
cf. *Sambucus*	-	-	-	-	-	-	3	0.89	-	-
Total taxa	**9**		**12**		**12**		**16**		**12**	
cf. *Arbutus unedo*	-	-	-	-	-	-	3	0.89	-	-
cf. *Pinus*	-	-	-	-	-	-	1	0.30	1	1.00
cf. *Prunus*	-	-	-	-	1	0.50	-	-	-	-
Total identified	**114**		**141**		**192**		**309**		**92**	
Indeterminable angiosperm	6	5.00	6	4.00	6	2.97	18	5.34	6	6.00
Indeterminable conifer	-	-	-	-	2	0.99	-	-	-	-
Undetermined	-	-	3	2.00	2	0.99	10	2.97	2	2.00
Total sample	**120**	100	**150**	100	**202**	100	**337**	100	**100**	100

Table 7.2B. Late Holocene anthracological record from Cova Colomera.

Archaeological period	Early Bronze Age			Middle Bronze Age	
Layer	**EE1**			**CE8**	
TAXA	n	Oms et al., 2009b	%	n	%
Acer sp.	2	23	6.94	11	7.43
Arbutus unedo	-	5	1.39	-	-
Buxus sempervirens	14	92	29.44	29	19.59
Corylus avellana	-	4	1.11	1	0.68
Fagus sylvatica	-	-	-	1	0.68
Fraxinus sp.	1	1	0.56	2	1.35
Hedera helix ssp.	-	2	0.56	1	0.68
Ilex aquifolium	-	4	1.11	-	-
Juniperus sp.	5	16	5.83	9	6.08
Pinus sylvestris type	14	25	10.83	9	6.08
Pistacia cf. *terebintus*	-	2	0.56	-	-
Prunus type 2	-	-	-	1	0.68
Quercus sp. deciduous	18	95	31.39	53	35.81
Quercus sp. evergreen	2	4	1.67	7	4.73
Rhamnus alaternus/Phillyrea	-	2	0.56	-	-
Rhamnus cathartica/saxatilis	-	3	0.83	-	-
Rosaceae/Maloideae	-	1	0.28	1	0.68
Taxus baccata	-	7	1.94	5	3.38
Tilia sp.	-	1	0.28	-	-
cf. *Ribes*	-	1	0.28	-	-
Total taxa		**18**		**13**	
cf. *Acer*	1	1	0.56	-	-
cf. *Corylus avellana*	-	-	-	1	0.68
cf. *Lonicera*	-	1	0.28	-	-
Pinus sp.	-	1	0.28	-	-
Prunus sp.	-	2	0.56	2	1.35
Quercus sp.	-	1	0.28	-	-
Rhamnus sp.	-	1	0.28	-	-
Total identified		**352**		**133**	
Indeterminable angiosperm	2	4	1.67	6	4.05
Indeterminable conifer	1	1	0.56	1	0.68
Undetermined	-	-	-	8	5.41
Total sample		**360**	100	**148**	100

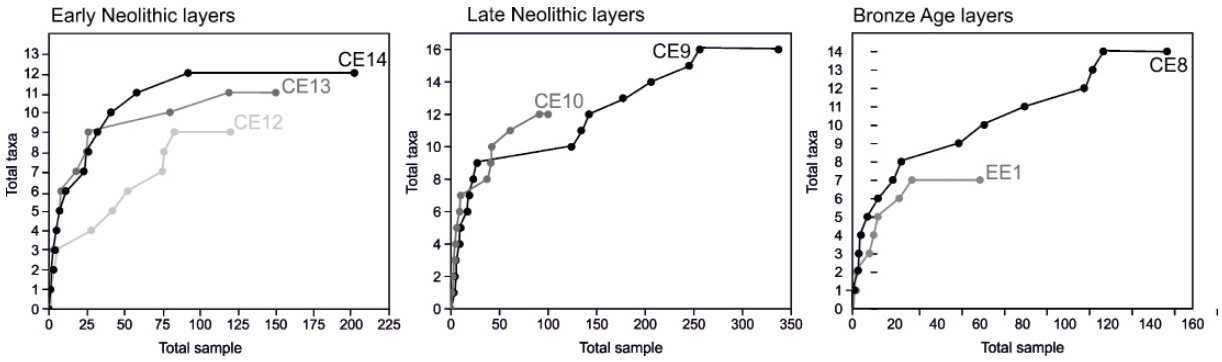


Figure 7.5. Taxon accumulation curves of the Holocene layers of Cova Colomera.

values in the three Early Neolithic layers (no more than 8.5%). On the other hand, juniper increases in layer CE13, although it displays a low presence in the earlier layer CE14. Sporadic fragments (≤5%), such as *Arbutus unedo*, *Corylus avellana*, *Quercus* sp. evergreen, *Pistacia lentiscus*, *Prunus* sp., *Rhamnus alaternus*/ *Phillyrea*, Rosaceae/ Maloideae and *Taxus baccata* are present (see Table 7.2A). By the same token, boxwood, deciduous oak and *Pinus sylvestris* type continued to predominate in the Late Neolithic layers CE9 and CE10. However, maple has higher recorded values compared to the previous period, detected mainly in layer CE10 and *Juniperus* sp. shows a decrease. Other taxa, such as *Fraxinus* sp., *Lonicera* sp., *Pistacia lentiscus*, *Populus*/*Salix*, *Prunus* sp., *Quercus* sp. evergreen, *Rhamnus alaternus*/*Phillyrea*, indeterminate angiosperm 1, *Taxus baccata* and cf. *Sambucus*, are also present. Likewise, *Taxus baccata* and *Prunus* sp. are documented in both these layers.

The Early Bronze Age silo EE1 shows high values for deciduous oak. Furthermore, boxwood and pine are well represented (see Table 7.2B). Sporadic fragments of other taxa (≤5%), such as maple, ash, juniper and holm-oak, are also identified. Finally, the Middle Bronze Age layer CE8 is characterized by a predominance of deciduous oak and boxwood although, compared to the older layers, the values of boxwood are lower. Likewise, scarce appearances of *Acer* sp., *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus* sp., *Hedera helix*, *Pinus sylvestris* type, *Prunus* sp., evergreen oak, Rosaceae/ Maloideae and *Taxus baccata* are identified.

7.5. Discussion

7.5.1. Transformation of the vegetation landscape and the environmental conditions around Cova Colomera

The anthracological results from Cova Colomera provide key data for describing the local-scale environment in the Central Pre-Pyrenees during the Middle-Late Holocene. Anthracological analysis of 1,117 charcoal fragments from Cova Colomera shows the taxon diversity and changes in the relative values along the sequence (Figure 7.6). Although the anthracological sequence is very homogeneous in terms of the richness and ubiquity of woody taxa, there is a tendency towards a progressive increase and predominance of deciduous forest elements. However, a slight increase in evergreen oaks is detected at the top of the anthracological sequence.

According to the anthracological results obtained, the local area of Cova Colomera remained relatively stable over the period in question, dominated as it was by forest communities of deciduous oaks, with a significant presence of *Buxus sempervirens* and *Acer* sp. This assemblage of taxa is usually associated with sub- and supra-Mediterranean deciduous oak formations. The presence of

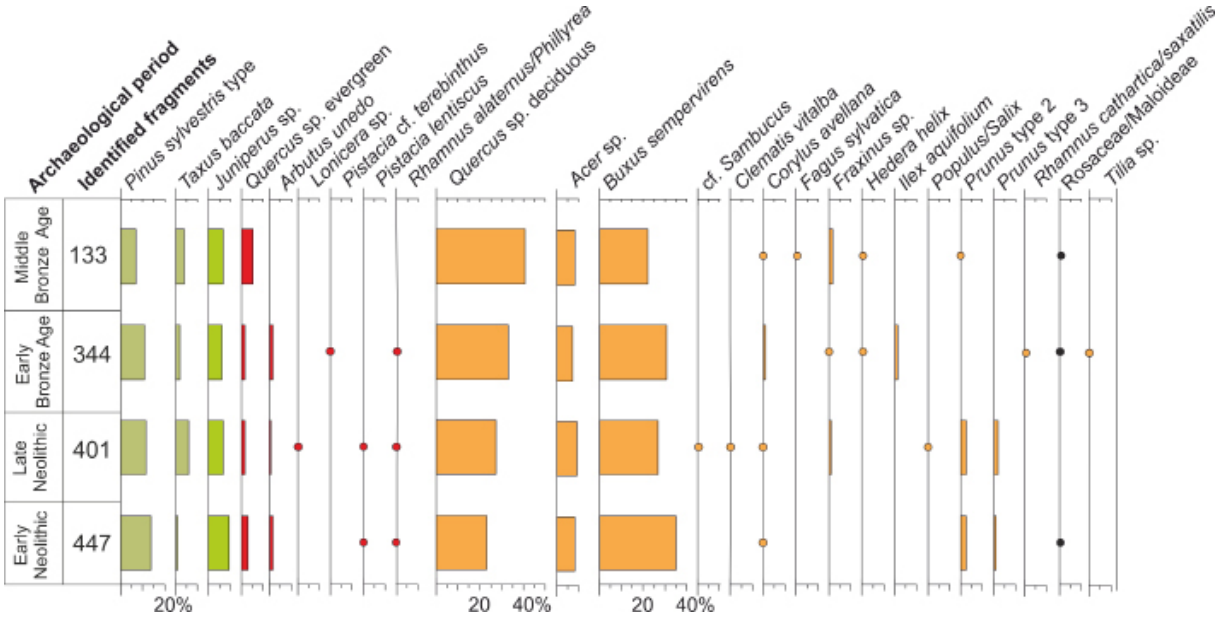


Figure 7.6. Diagram with anthracological results for Cova Colomera. Results from Early Bronze age silo EE1 (Oms et al., 2009b) are included.

mesophilic taxa such as maple, *Prunus* sp., Maloideae, common buckthorn and boxwood can be taken to indicate temperate and humid climatic conditions. Other shrubby vegetation and small trees, such as *Juniperus* sp. and *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, could have also developed in more open spaces, indicating the existence of clearances. These open forest formations under a humid climate may well correlate with the results from the study of the small vertebrates in the Holocene layers at Cova Colomera (López-García et al., 2010), which indicated the chorotype of micromammals with mid-European requirements, currently found at the higher altitudes of the Pyrenees.

Sub-Mediterranean thermophilic elements requiring more humidity, such as *Tilia* and *Pistacia* cf. *terebinthus*, are identified in the silo EE1 at Cova Colomera, dated to the Early Bronze Age, and maple appears throughout the anthracological sequence. Riverine taxa, such as *Populus/Salix*, and *Fraxinus* sp., are documented, although their presence is always low. These elements are likely to have been part of the riparian vegetation, occupying the riverbanks in the Montsec mountain range or shadier and more humid locations such as deep narrow gorges. The other represented circum- and sub-Mediterranean small trees, shrubs and liana, such as *Arbutus unedo*, *Corylus avellana*, *Ilex aquifolium*, *Hedera helix* and *Clematis vitalba*, appear in lower frequencies. The occurrence of *Pinus sylvestris* type suggests the presence of conifer forests, which underwent a slight decline in the course of the anthracological sequence, mainly during the Middle Bronze Age. These formations would have probably been growing at higher altitudes in nearby areas of the Pre-Pyrenees and *Taxus baccata* would have probably developed in shadier areas. In the other hand, holm-oaks and sclerophyllous elements such as *Arbutus unedo* and *Rhamnus alaternus/Phillyrea* show a low relative frequency throughout the anthracological sequence of Cova Colomera. However, from a diachronic point of view, a slight increase in holm-oak is detected, especially in the Middle Bronze Age.

In northeastern Spain and southern France, Mediterranean forests currently form an ecoregion in transition between the western European temperate broadleaf and mixed forest ecoregion and the Iberian sclerophyllous and semi-deciduous forest ecoregion (Dinerstein et al., 2017). Mediterranean forests

thus display ecological characteristics of both the Mediterranean and Atlantic climate (Blanco et al., 1997; Carreras and Ferré, 2014). Likewise, the plant community that includes the evergreen oak forest and an evergreen understory of low trees and high shrubs (such as *Olea europaea*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus/Phillyrea*, *Erica* sp. and *Pistacia lentiscus*) is also identified as an ecoregion of the Mediterranean biome that currently dominates the area. These sclerophyllous taxa display low representation throughout the anthracological sequence of Cova Colomera. They may have occupied secondary positions in drier or sunnier places, probably in areas of deciduous oak forest degradation.

In the Central Pre-Pyrenees, from the Early-Middle Holocene boundary (8.2 ka BP), the deciduous oak forest would have occupied a more extensive area than at present, favoured by a temperate and humid climate (Figure 7.7). Palaeoclimate records from Pre-Pyrenean ranges, for example from Estanyá lake (Morellón et al., 2008), indicate greater water availability in three periods during the Holocene: the Early Holocene: 8.5-8.2 ka BP; and the Middle Holocene: 6.7-5.9 ka BP and 4.9-4.2 ka BP. Although these periods correspond to more humid conditions in the Mediterranean area, brief arid episodes also occurred at 8.2 and 7.5 ka BP (Jalut et al., 2009; Bergadà et al., 2018).

Taxus baccata records have very low values in pollen sequences, probably owing to the poor pollination rates and morphological difficulties (Chybicki and Oleksa, 2018), although the species is well represented in Middle Holocene anthracological records in the northern Iberian Peninsula (see Uzquiano et al., 2015), especially in mid-mountain areas. Differences in *Taxus baccata* values between anthracological and pollen data may correspond to variable humidity conditions at higher altitudes, which are probably dominated by coniferous forests. Additionally, the high relative frequency of boxwood in the Cova Colomera anthracological record is noteworthy. Boxwood is a sub-Mediterranean taxon, which currently grows in montane and subalpine zones and in some southern locations in the Iberian Peninsula, within an altitudinal range from 26 m to 2,500 m a.s.l. (Bolòs and Vigo, 1984; Carreras and Ferré, 2014). In some places, especially in disturbed oak forests, boxwood can play a pioneer role and can form extended shrubby formations, although

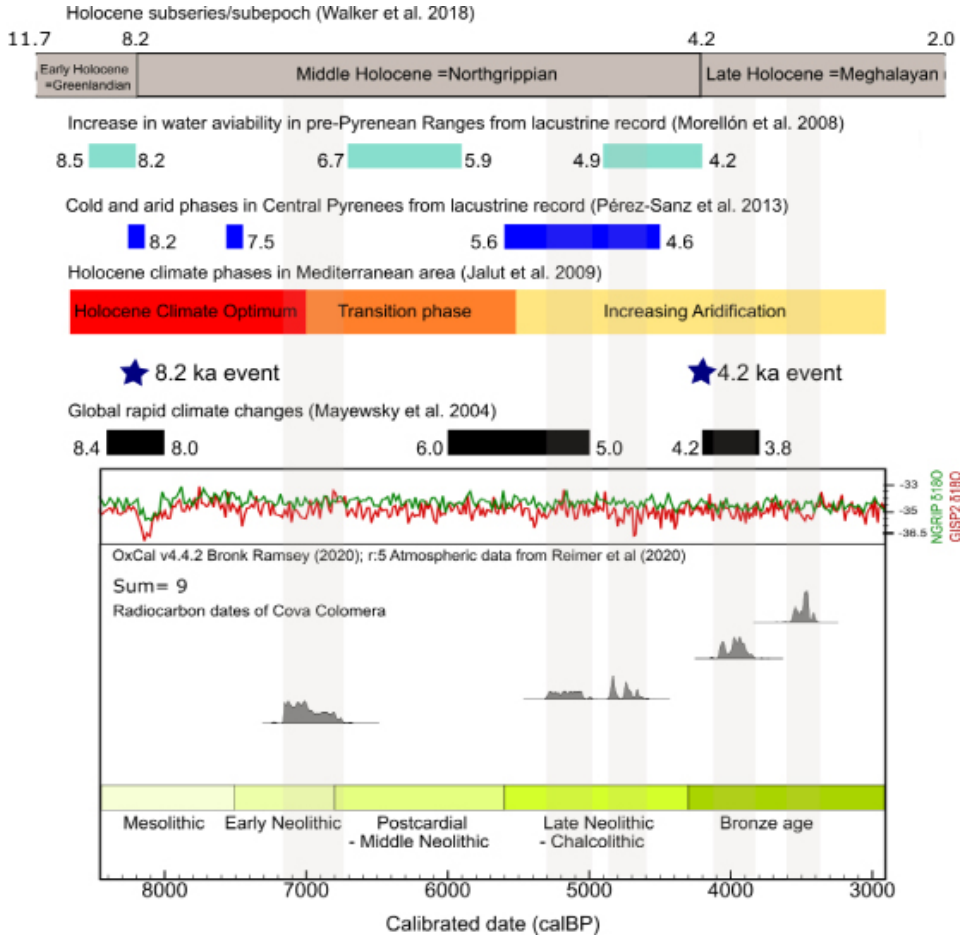


Figure 7.7. Calibrated radiocarbon dates of Cova Colomera in relation of different climate proxies.

it is most often associated with undergrowth in the deciduous oak forest (Rivas-Martínez, 1984; Carreras et al., 2015; Pascual, 2015) and can be considered an indicator of degraded or cleared areas (Pascual, 2015). In the local area around Cova Colomera, woodland formed by deciduous oaks and including maple and boxwood is currently found as part of the forest structure, especially in more temperate or Eurosiberian areas in the Pyrenees and Pre-Pyrenees, under temperate and humid climate conditions. These taxa are common in Middle Holocene anthracological sequences from NE Iberian Peninsula, including littoral sites as well as sites in inner pre-littoral ranges, such as Cova del Toll (Mas and Allué, 2020), Cova de l'Avellaner (Ros, 1996), Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished), Cova d'en Pau III and Plansallosa (Ros, 1996; Piqué, 2005), La Draga (Piqué, 2005), Cova del Frare (Ros, 1996), Bauma del Serrat del Pont and La Prunera (Piqué, 2005).

According to our results, the dynamics of vegetation transformation during the Middle-Late Holocene were more or less homogeneous in the Central Pre-Pyrenees. On a local scale, global aridity events would not have affected the vegetation landscape structure, and deciduous oak forests, temperate taxa and montane conifers would have developed well in the area. The rapid global climate change detected in the 4.2 to 3.8 ka period (Mayewsky et al., 2004) and the aridification trend that affected the Mediterranean basin (Fletcher and Sánchez, 2008; Allué et al., 2009a; Jalut et al., 2009; Carrión et al., 2010b; Bergadà et al., 2018) may have been less influential than elsewhere in bringing about the Mediterraneanization of the Central Pre-Pyrenees landscape. Likewise, a slight increase in the evergreen oak forest was detected in the Middle Bronze Age layer of Cova Colomera. Yew, maple and boxwood continued to be well represented in Bronze Age layers from Cova Colomera and Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished). However, the vegetation composition deduced from these anthracological assemblages shows a continuing predominance of deciduous oak forests, with montane conifers and temperate taxa.

7.5.2. Anthropogenic impacts: human and environment interactions

The archaeological record at Cova Colomera is associated with short-term occupations related to herding activities such as foddering, litter-bedding, etc. (Oms et al., 2013; Bergadà and Oms, 2021). The systematic burning of such fumier deposits often provides rich vegetal remains (see Angelucci et al., 2009; Euba et al., 2016; Vergès et al., 2016; Polo-Díaz et al., 2016; Burguet-Coca et al., 2020), and Cova Colomera is no exception. The anthracological sequence shows high taxonomic diversity, including 29 woody taxa. Some of these could have been part of the herd's fodder diet. However, we cannot rule out the use of some woody taxa as fuel, such as pine, juniper or yew, or as objects and tools that were thrown into the fire after use. Moreover, ovicaprine herds are a potential agent for reducing undergrowth vegetation. During the winter, browsing is focused on evergreen and semi-deciduous species, whereas in spring and autumn herbaceous grasses are also browsed (Bartolomé et al., 1998; Osoro et al., 2013). High-protein woody species such as *Clematis vitalba*, *Acer opalus*, *Quercus* sp., lentisk and strawberry tree are currently consumed by ovicaprine herds in

Mediterranean areas (Rogosic et al., 2006; Bartolomé, 2014), whereas other taxa such as junipers and boxwood are rejected by herds as fodder (Bartolomé, 2014). However, the wood of the boxwood is also of good quality: hard, fine and compact, easy to polish and dye, and it could have been used for manufacturing objects. The wood produces slow combustion, a property much appreciated for its use as fuel (Caruso-Ferme and Piqué-Huerta, 2014). Examples such as the Neolithic settlement of La Draga (Banyoles, Girona) show the use of boxwood in the production of agricultural tools (Palomo et al., 2011; Piqué et al., 2018b). Accordingly, archaeological work on some of the phases of the fumier documented the preservation and accumulation of leaves and branches of boxwood, possibly for the adaptation of beds or spaces for livestock (Bergadà and Oms, 2021; Oms et al., 2013).

Cova Colomera has provided no evidence of human occupation during the Middle Neolithic, although the cave was used by humans in the Early Neolithic and from the Late Neolithic to the Bronze Age cultural period. Two possible scenarios can be weighed up. In the NE of the Iberian Peninsula, evidence of occupation by Middle Neolithic populations has only been documented in burial contexts or in the open-air settlement of Ca n'Isach (Palau-saverdera, Girona) (Tarrús et al., 2016), whereas no evidence of occupation of caves and rock-shelters has been found (see Oms and Martín, 2018). A first hypothesis could be the non-preservation of evidence of human occupation due to erosion in karst systems and on mountainsides (see Polo-Díaz et al., 2014; Bergadà et al., 2018). A second, alternative hypothesis postulates the intentional abandonment of caves and rock-shelters due to changes in livestock grazing practices.

With respect to the human impact on forest communities at a local scale, the forest cover from the Early Neolithic to the Middle Bronze Age does not seem to have changed significantly in terms of either recovery or degradation. This could indicate that human groups carried out a reiterated but non-intensive exploitation of the forests. Accordingly, little evidence of intense human activities on the landscape can be found in the Iberian Central Pre-Pyrenees, although the exploitation of plant resources has been documented since the Upper

Pleistocene and Early Holocene (Allué et al., 2012a, 2018b). At lower altitudes and similar to Cova Colomera, Neolithic layers or structures at Les Auvelles (Oms et al., 2019), Cova Gran de Santa Linya (Mora et al., 2011) and Forat de Conqueta (Mora et al., 2009; Allué, 2011) show similarities as well as slight differences in the composition of their vegetation landscape. On the one hand, the open-air archaeological site of Les Auvelles has yielded an anthracological record of oak taxa in which, although dominated by deciduous oak, evergreen oak is also represented, with high ubiquity values (Martín-Seijo and Piqué, 2008). According to the authors, this assemblage could be influenced by specific fuel and wood selection patterns. On the other hand, anthracological data from the cave of Forat de Conqueta and the rock-shelter of Cova Gran (Allué, unpublished) indicate an assemblage similar to that of Cova Colomera. Archaeological research has identified livestock practices in the Holocene layers of Cova Gran, especially involving livestock enclosure, and has interpreted the use of the cave in terms of the transhumance routes through the southern Pyrenees (Polo-Díaz et al., 2014; Burguet-Coca et al., 2020; Martín and Oms, 2021), and also some mountainous Pyrenees areas (Gassiot et al., 2017; Knockaert et al., 2018; Tejedor-Rodríguez et al., 2021). The forest formations were probably the same in the different Pre-Pyrenean valleys, without any differences in human pressure causing more open forests in some areas.

Profound transformations of natural landscapes into cultural landscapes are currently the result of human pressure (Butzer, 1989; Quézel and Médail, 2003; Blondel, 2006; Pérez-Obiol et al., 2011). Humans have exploited forest wood resources and interfered with the natural development and distribution of woody plants for millennia. However, evidence of the anthropogenic footprint in the landscape during the Middle-Late Holocene is not homogeneous in the Iberian Peninsula. For example, it seems to be less intense in mountainous areas (e.g., Carrión et al., 2010b). In these areas above 2,000 m a.s.l., Neolithic populations would have consumed varying amounts of wood according to the functionality and location of the settlements (Obea et al., 2021). Therefore, these archaeological sites show no evidence of extensive agriculture or substantial

modification of the landscape. In contrast, the transformation of the vegetation landscape appears to be more intense in Mediterranean coastal areas (e.g., Riera and Esteban-Amat, 1994; Revelles et al., 2015). Nevertheless, there is no doubt that anthropogenic activities were important at a local scale particularly in the Late Holocene. The anthropic impact on landscapes during the Early Bronze Age has also been inferred from the increase in microcharcoal particles associated with the recurrence of fire events in mountain areas (Carrión et al., 2010b), more intensive land-use dynamics (Rull et al., 2021), and more specialized fuel-gathering patterns (Ros, 1995b, 1998; Piqué, 1999; Allué, 2007a; Allué et al., 2009a; Vila and Piqué, 2012; Obea et al., 2021).

7.6. Conclusions

The anthracological analysis of Cova Colomera documents changes in the vegetation landscape in the Central Pre-Pyrenees; these changes are related to specific climatic dynamics and a low anthropogenic impact, especially associated with herding and livestock management activities. The anthracological sequence shows how from the Middle to Late Holocene the local area of Cova Colomera continued to be dominated in the long term by deciduous oak forest ecosystems associated with sub- and supra-Mediterranean deciduous formations, while the coniferous forest gradually receded. According to our results, arid episodes in the Central Pre-Pyrenees did not cause major changes in vegetation cover, since the environmental conditions in the area of study included certain particularities that favoured the establishment of a temperate and humid climate. However, the Late Holocene began to show a slight increase in evergreen oaks, mainly during the Middle Bronze Age.

The evidence of the anthropogenic activities on the landscape during the Middle Holocene is not homogeneous in the NE Iberian Peninsula, as some areas displayed certain particularities. Neolithic human groups who settled in the open air and took advantage of the caves and rock-shelters to carry out specialized activities were well aware of the potential of the landscapes. However, the herding activities in evidence during the Neolithic seem to have exerted slight pressure on the structure of the different landscapes,

especially in inland areas of the NE Iberian Peninsula such as the Central Pre-Pyrenees. The human presence in this area was therefore probably not intensive. Accordingly, we do not observe such intensive exploitation of forest resources as in the areas near the coast. Finally, the Bronze Age populations to which more intensive exploitation of forest resources is attributed on a regional scale do not seem to exert such an intensive influence at the local scale of Cova Colomera. The differences in the intensity of forest exploitation may be due to the different functionalities of the occupations as well as the different locations of the settlements.

Acknowledgements

We want to thank the fieldwork team that was working in the Cova Colomera, as well as Dr. Juan Manuel López-García for managing the manual flotation process and the anthracological remains recovery. We would like to thank Dr. Santiago Riera Mora that provided comments that helped to improve the manuscript, and to Rupert Glasgow for reviewing the English language of the manuscript. We want to thank the IPHES-CERCA to offer the use of the microscopy laboratory and workspaces. In addition, we want to thank to the editor Dr. José Carrión, and the two anonymous reviewers whose comments helped to improving our manuscript.

Funding

Bàrbara Mas is supported by a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) with financial sponsorship of the Generalitat de Catalunya, integrated in the project "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)", 2021-2024, PID2020-117186GB-I00, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government. This work is supported by the project "El poblamiento del NE peninsular y su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial", 2021-2024, PID-2020-113960GB-100, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government, and by the MINECO/FEDER (CGL2015-65387-C3-1-P), Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government and by the "María de Maeztu excellence accreditation" (cex2019-000945-M), and by

the projects SGR2017-836, SGR2017-00011

of the Generalitat de Catalunya.

CHAPTHER VIII. Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: the case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario[1]



1 **Declaration**

The contents of this chapter have been submitted to the journal Ecological Informatics. I am the lead author, and I confirm that the following text, figures and tables are own authorship. Mas, B., Riera, S., Allué, E., 2023. Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario. Ecological Informatics 74, 101984. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984

ABSTRACT

The Mediterranean Basin is a global biodiversity hotspot, and oak tree species play an important role in it. Since the beginning of the Holocene (ca. 11.4 kyr BP), the distribution of forests has not occurred uniformly, resulting in diverse types of vegetation landscapes. In this study, we used a maximum entropy algorithm (MaxEnt) to obtain the ecological niche model (ENM) of two sub-Mediterranean oak species, *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and *Quercus ilex* subsp. *ilex* (holm oak), both in the present day in the Iberian Peninsula and within a Middle Holocene (8.2–4.2 kyr BP) climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Moreover, we used the locations of Neolithic archaeological sites containing anthracological data to analyze the relationship between human occupations and oak habitats. Our results suggest that the two oaks have responded differently to the climatic conditions that have occurred, and show changes in both potential distributions. The palaeolandscape vegetation map shows a denser vegetation cover in the lowlands and a more open landscape in the highlands, with a higher dominance of *Quercus pubescens* in the septentrional areas, while *Quercus ilex* was more restricted to certain coastal areas. Temperature and precipitation factors, mainly seasonal climatic conditions, have had a greater impact on the distribution of vegetation than other factors. We found a good overlap between the ENM of the two oaks and the locations of the Neolithic sites analysed, and determined that the distribution of Neolithic archaeological sites is not random. The Neolithic populations in the study area depended heavily on the resources of the deciduous and evergreen sub- Mediterranean forest, although they also exploited the resources of the mountain pine forest. Neolithic sites distribution suggests that Neolithic human groups were aware of the potential of forests and probably gathered woody resources in their surroundings.

RESUMEN

El Mediterráneo es considerado un punto caliente global de biodiversidad, y los bosques de *Quercus* desempeñan un papel fundamental en este ecosistema. Desde el inicio del Holoceno (ca. 11.4 kyr BP), la distribución de los bosques no ha sido uniforme, lo que ha resultado en una gran diversidad de paisajes vegetales. En el presente estudio, se utilizó un algoritmo de entropía máxima (MaxEnt) para obtener el modelo de nicho ecológico (ENM) de dos especies de *Quercus* submediterráneas, *Quercus pubescens* Willd. (roble pubescente) y *Quercus ilex* subsp. *ilex* (encina), tanto en la actualidad en la península ibérica, como en un escenario climático del Holoceno Medio (8.2-4.2 kyr BP) en la zona nordeste. Además, se utilizaron las ubicaciones de yacimientos arqueológicos del Neolítico con datos antracológicos, con el fin de analizar la relación existente entre las ocupaciones humanas y los hábitats adecuados de ambos árboles. Los resultados obtenidos revelan que los dos *Quercus* han respondido de manera diferente a las condiciones climáticas a lo largo del tiempo, lo que ha ocasionado cambios significativos en sus hábitats adecuados. Al examinar el mapa de hábitat adecuado, se observa una mayor densidad de cobertura vegetal en las zonas bajas, mientras que en las áreas montañosas el paisaje se presenta más abierto, con una mayor dominancia de *Quercus pubescens* en las zonas septentrionales. *Quercus ilex,* no obstante, se encuentra más restringido en ciertas áreas costeras. Entre los factores que han influido en la distribución de ambos árboles, destacan principalmente las condiciones climáticas relacionadas con la temperatura y la precipitación, especialmente las condiciones climáticas estacionales.

Asimismo, se ha identificado una buena superposición entre los hábitats adecuados y las ubicaciones de los yacimientos arqueológicos analizados. Esto, sugiere que la localización de los asentamientos no es aleatoria, y podría estar relacionada con la disponibilidad de los recursos forestales. Las comunidades humanas en el área de estudio dependían en gran medida de los recursos proporcionados por los bosques de roble y encina submediterráneos, aunque también aprovecharían los recursos del bosque de pino montano. Por ello, sugerimos que estas comunidades eran conscientes del potencial de los bosques y probablemente recolectaban recursos leñosos en su entorno cercano.

8.1. Introduction

The interaction between human activities and the natural environment has been of key importance in the Mediterranean area for millennia, and has therefore played a major role in shaping modern landscapes and ecosystems. The human impact on forests has occurred through the exploitation of forest resources over the course of millennia (e.g., Coles et al., 1978; Smith, 1999; Théry-Parisot, 2002; Allué et al., 2017a, 2018; Vidal-Matutano et al., 2017; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2021, among others). Wood has unquestionably been a resource of great value to humans, and wood gathering and forest management practices have often been the focus of attention in the literature (e.g., Asouti and Austin, 2005; Marinova and Thiebault, 2008; Euba et al., 2016; Dufraisse et al., 2018; Alcolea et al., 2021; Mas et al., 2022, among others). Despite evidence of forest exploitation since the Palaeolithic, it is widely accepted that the process of Neolithization increased the impact on local landscapes throughout the world (e.g., Banks et al., 2013; Fyfe et al., 2019; Feeser et al., 2019, among others). However, several authors have suggested both chronological and geographical differences in the establishment of Neolithic populations throughout the Mediterranean Basin (e.g., Li et al., 2013; Oms et al., 2016; Bernabeu et al., 2018; Guilaine, 2018, 2019; Gkouma and Karkanas, 2018; Natali and Forgia, 2018; Leroy et al., 2019), explained in terms of different environmental adaptation strategies (e.g., Weninger et al., 2009; Weniger et al., 2019) and innovations in farming technologies (e.g., Antolín et al., 2015; Halstead, 2018).

Archaeological research in the NE Iberian Peninsula has evidenced the establishment of Neolithic populations during the Middle Holocene (8.2 to 4.2 ka BP) (e.g., Oms and Martín, 2018; Oms et al., 2021). Although archaeological data clearly provide a record of farming activities, including husbandry and crop cultivation, they do not offer enough information to assess the impact of human activities on the vegetation cover of the surrounding landscapes during the process of Neolithization. Thus, different palaeobotanical approaches have been applied to determine past plant communities. Data relating to the presence of plant communities come from published pollen records (e.g., Riera and Esteban, 1994; Jalut et al., 2000,

2009; Carrión et al., 2007, 2010; Riera et al., 2007; Fletcher and Sánchez, 2008; Pérez-Obiol et al., 2011; Fletcher et al., 2012; Iriarte-Chiapusso et al., 2016; Gónzalez-Sampéritz et al., 2017, 2020; Revelles, 2017; Azuara et al., 2020; Leunda et al., 2020; Revelles et al., 2022; among others) and charcoal sequences (e.g., Ros and Vernet, 1987; Ros, 1998; Allué et al., 2009; Piqué et al., 2018b, 2021; Uzquiano, 2018a; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2022, among others). These have served as the primary sources of reference in research of this type. Pollen records provide palaeoecological data on a large geographical scale, whereas anthracological records have more local significance (e.g., Chabal, 1992, 1997; Chabal et al., 1999; Kabukcu, 2018; Kabukcu and Chabal, 2021; Asouti and Kabukcu, 2021). Some palaeobotanical researchers suggest that it is not possible to propose a single palaeoecological model of the Holocene for the NE Iberian Peninsula (e.g., Riera and Esteban, 1994; Burjachs and Riera, 1996; Allué et al., 2009, 2017b; Carrión et al., 2010a; Piqué et al., 2021; Revelles et al., 2022). Indeed, palaeobotanical data indicate the existence of a highly heterogeneous landscape. For example, anthracological sequences from the NE Iberian Peninsula have shown that deciduous oak woodland was clearly present during the Neolithic period (e.g., Ros, 1995a, 1996; Piqué, 2005; Allué et al., 2009; Mas and Allué, 2020; Mas et al., 2022). However, deciduous oak woodlands were widespread in conjunction with sclerophyllous taxa, indicating mixed oak forests (deciduous and evergreen oaks) in some geographical locations (e.g., Senabre and Socias, 1993; Ros, 1996; Piqué, 2005; Martín and Piqué, 2008; Allué et al., 2009a, 2017b; Antolín et al., 2013; Daura et al., 2019). Unfortunately, the distribution patterns of past forest formations are uncertain (e.g., Chabal and Heinz, 2021), indicating the need to expand upon our understanding of the ecological, geographical and human factors that influence species distribution.

Recently, several studies based on ecological niche models (ENMs), habitat suitability models (HSMs), and species distribution models (SDMs) have been used to explain current, past and future habitats suitable for different species (Guisan and Thuiller, 2005; Dormann, 2007; Elith et al., 2011; Sillero et al., 2021, 2023). The data most often used in ENMs are georeferenced species distribution records combined with

geospatial datasets (raster maps) representing environmental and geographic parameters that may affect the occurrence of species. The ENM is an empirical approximation for evaluating the species-environment equilibrium, which can estimate the environmental predictors that influenced the expected distribution of species and how they did so (e.g., Elith et al., 2006; Bradie and Leung, 2017; Guisan et al., 2017; Sillero et al., 2021). The use of ENM is widespread in ecology research in several fields of interest, such as forest management (Vessella and Schirone, 2013; Jafarov et al., 2021; Sun et al., 2021) and studies of invasive species expansion (MacDougall et al., 2009; Carboni et al., 2018), the impacts of climate change (O'Donnell et al., 2012; Moor et al., 2015; Boonman et al., 2020; Santini et al., 2021), and local refugia (Roces-Díaz et al., 2018; Wolf et al., 2021), among others.

This study represents a first approach based on maximum entropy (MaxEnt) to examine current and past suitable habitats for sub-Mediterranean oak woodlands, including the deciduous *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and the evergreen *Quercus ilex* subsp. *ilex* (holm oak). The ENMs of the two oak species under current environmental conditions were generated within the region of the Iberian Peninsula, while the ENMs generated under the climatic scenario of the Middle Holocene were projected to the NE Iberian Peninsula. Therefore, we analysed the location of Neolithic settlements in relation to the predicted suitability habitats. Our aims were 1) to determine the factors which most influence the current distribution of both oak species in the Iberian Peninsula, 2) to map the realised ecological niches of both oak species under a Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and 3) to evaluate the results using the Neolithic settlement locations which provided the anthracological data.

8.2. Study areas

We applied the current ENMs to the Iberian Peninsula, a region located in the western Mediterranean Basin (SW Europe) and geographically isolated from Europe by the Pyrenees. The Pyrenees are a mountainous region at the confluence of the Mediterranean and Central Europe. Thus, these mountains form a geographic barrier, which contributes to the isolation of the Iberian Peninsula. The

elevations in the region vary widely, from valleys below 200 m a.s.l. to summits of 3404 m a.s.l. (Mount Aneto). The Pyrenees have a continental climate with great differences in temperature between the northern and southern slopes and the interior (Carreras and Ferré, 2014), which is explained by the orographic effect and the influence of the Atlantic Ocean. To define the modelling background area, we used the limits of the two main biogeographical regions (Eurosiberian region and Mediterranean region) as they work as closed systems, as recommended by Sillero and Brito (2009). The Iberian Peninsula is distinguished by a great deal of orographic diversity, with an irregular elevation range extending from sea level to ≥3000 m a.s.l. This also results in a pronounced climatic gradient from the rainiest and coldest areas in the north and northwest (Eurosiberian region) to the driest and warmest areas in the south and southeast (Mediterranean region) (Figure 8.1A). Mean annual precipitation can vary widely, ranging from 1,800 mm to 215 mm (Figure 8.1B), and mean annual temperatures can range from -3.1 °C in high elevation areas to temperatures exceeding 18 °C (Figure 8.1C) (AEMet, 2021).

We tested our model under the Middle Holocene climatic scenario in the background area of the NE Iberian Peninsula. The NE Iberian Peninsula is also characterised by climatic and orographic diversity. Notable geographical features include the coastal (*litoral*) and pre-coastal (*prelitoral*) mountain ranges, which act as a barrier to the humid air masses of the Mediterranean Sea. Consequently, the two mountain ranges prevent more humid air from penetrating into inland areas. Mean annual temperature varies markedly from the coast to the mountainous areas, ranging from 18 ºC to 1 ºC, respectively (Meteocat data from 2021). Elevation is a relevant modifier of climatic conditions, especially precipitation, which tends to be more abundant and regular in mountainous areas. Thus, mean annual rainfall varies from 250 mm to 1,450 mm (Meteocat data from 2021). The Eurosiberian and Mediterranean regions influence the NE Iberian Peninsula, determining different biogeographical stages or vegetation series (Carreras and Ferré, 2014; Rivas-Martínez, 1987) and ecoregions (Olson et al., 2001; Dinerstein et al., 2017).

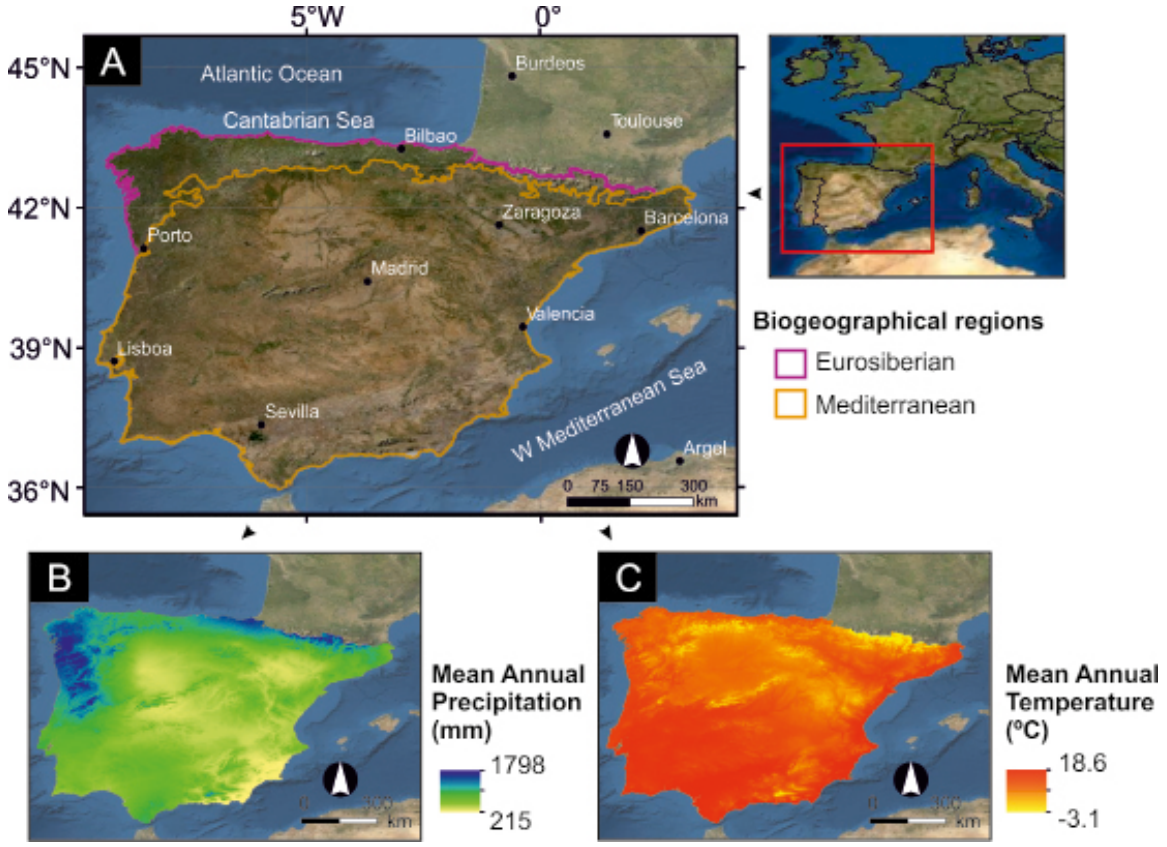


Figure 8.1. A) Location map of the study area and biogeographical regions; B) Mean annual precipitation and C) Mean annual temperature maps of the Iberian Peninsula.

8.3. Materials and Methods

8.3.1. Occurrence data

We created an ENM of two tree species that are dominant in some Mediterranean landscapes: *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and *Quercus ilex* subsp. *ilex* (holm oak). The two oak species have different ecological and environmental requirements (Table 8.1). The holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) is native to the central-western Mediterranean Basin and is a dominant evergreen sclerophyllous species, mainly integrated with Mediterranean pines and mesic shrubs in open and disturbed areas in some locations of the western Mediterranean (Reille and Pons, 1992; Terradas, 1997). It grows in the Atlantic valleys of the Eurosiberian region and in coastal areas with a temperate and mildly humid Mediterranean climate conditions, mainly from the Cantabrian region to the NE Iberian Peninsula. The subspecies *rotundifolia* (*ballota*) is distinguished from subsp. *ilex* by the

Table 8.1. Environmental features of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) and pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.). The ecological and environmental requirements of both tree species were gathered from specialized vegetation atlases (Serrada et al., 2008).

	Quercus ilex subsp. *ilex*	*Quercus pubescens* Willd.
Temperature (Cº)		
Average Annual Temperature	10 - 18	5 - 15
Average Temperature in coldest month	>10	-3 - 7
Average Temperature in warmest month	< 25	15 - 25
Pluviometry (mm)		
Mean Annual Rainfall	>500	600
Average Rainfall during summer	>150	150
Geographical distribution		
Bioclimate (Rivas-Martínez, 1987)	meso-Mediterranean	supra-Mediterranean, Montane
Altitude range (m.a.s.l.)	0 – 1.000	(0) 200 – 1.600
Climate	Drier conditions	Temperate conditions

fact that it grows in the innermost areas of regions with drier and warmer Mediterranean climate conditions (Castroviejo et al., 1990: 20), and its hybridisation with *Quercus coccifera* is recurrent (Castroviejo et al, 1990: 35). The pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) is frequently hybridised with other sympatric deciduous oaks (*Q. faginea*, *Q. petraea, Q. humilis* or *Q. pyrenaica*) (San-Miguel-Ayanz et al., 2016) and represents the predominant tree species in the large temperate forests of southern Europe. The pubescent oak is a thermophilous and sub-Mediterranean species primarily found in the NE Iberian Peninsula (Figure 8.2). Occurrence data refers to sets of coordinates (X-Y) where species

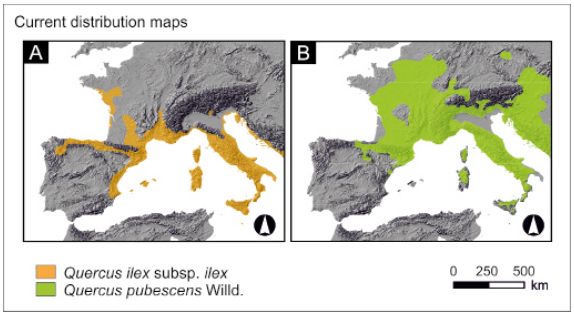


Figure 8.2. Current distribution map of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. in the western Mediterranean (Caudullo et al., 2017).

have been observed. We used the location points from the GBIF-Global Biodiversity Information Facility (https://www.gbif.org/) online database to obtain the coordinates of the two oak species in the Iberian Peninsula. The database indicated a total of 3,308 occurrences of *Quercus ilex* subsp. *ilex* and 6,739 of *Quercus pubescens* Willd. Based on the

work of Hijmans (2012), in order to reduce the potential location biases in the species records, we applied filters to narrow the datasets, such as removing the occurrences of *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*, and deleting duplicates and outliers using R and ArcGis programs. The ocurrences of the two oak species were standarized in 10 km grids as a way to obtain a homogeneous sample for use in modelling. In total, 298 locations were selected for *Quercus pubescens* Willd. and 288 for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (Figure 8.3).

8.3.2. Selecting variables

To generate the ENM of the two oak species, we used current bioclimatic variables (raster maps) from the Worldclim.org project (Fick and Hijmans, 2017). From the 19 bioclimatic variables available, we excluded the variables bio3 'Isothermality (bio2/bio7) (x100)', bio14 'Precipitation of wettest month' and bio15 'Precipitation seasonality (Coefficient of variation)' as they are biased when projected to past climate scenarios (Bedia et al., 2013). Furthermore, we generated three geographic variables (elevation, slope and aspect) from a DEM (digital elevation model) of the Iberian Peninsula using the ArcGis program. To calculate the aspect variable, we followed that described in Sillero and colleagues (2021),

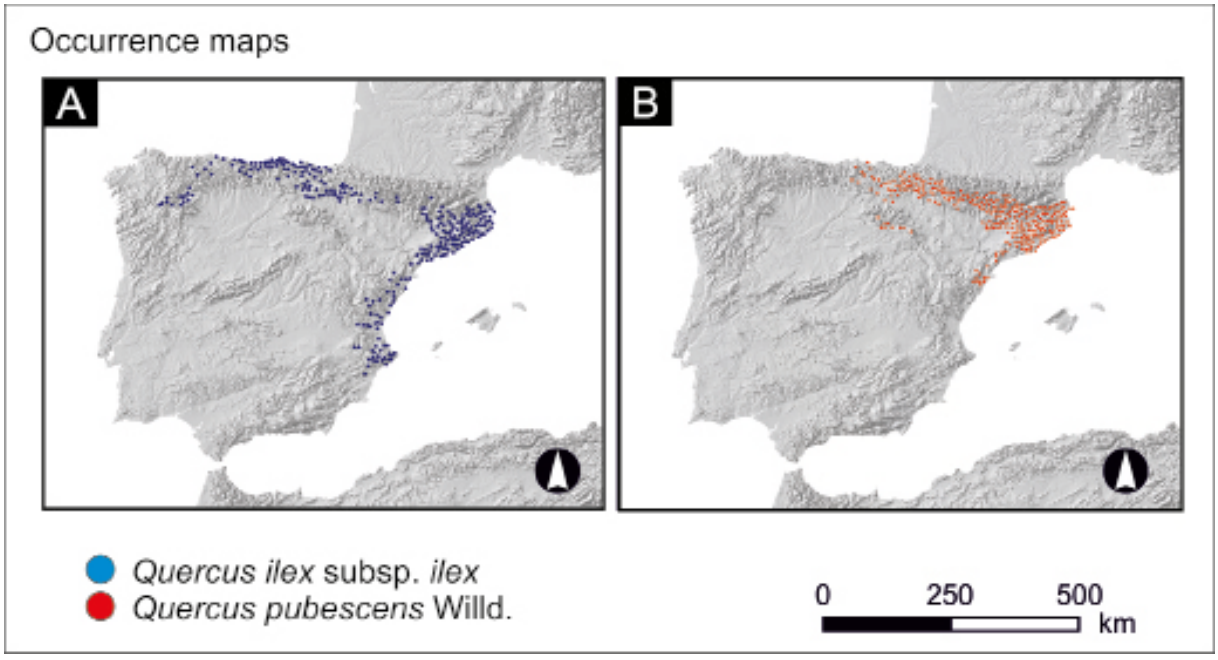


Figure 8.3. Current observations of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. used by MaxEnt ENMs.

who recommend using radians. All of these variables were in GeoTIFF format with 1 km^2 resolution (30 seconds). They were then transformed into ASCII files so that they could be worked on in MaxEnt.

The correlation between the set of variables was measured using parametric (Pearson) and non-parametric (Kendall and Spearman) coefficients (Field et al., 2012) (see Supplementary Material 2.1A). Then, we used the variance inflation factor (VIF) to measure the multicollinearity or non-independence of each variable with a combination of all the other variables in the model together (Sillero et al., 2021) (see Supplementary Material 2.1B). Furthermore, we selected the variables that were least correlated with one another and with the VIF value below as 3 (Bedia et al., 2013; Braunisch et al., 2013; Merow et al., 2013; Sillero et al., 2021). We also selected the six variables with least correlation among them: 1) bio4, 'Temperature seasonality', indicates the amount of temperature variation over a given year based on the standard deviation *100 of monthly temperature averages (degrees Celsius); 2) bio8, 'Mean temperature of wettest quarter', is a quarterly index of mean temperatures that occur during the wettest season (degrees Celsius); 3) bio9, 'Mean temperature of driest quarter', is a quarterly index that approximates the mean temperatures that occur during the driest quarter (degrees Celsius); 4) bio13, 'Precipitation of wettest month', is the index that identifies the total precipitation that occurs during the wettest month (millimetres); 5) bio19, 'Precipitation of coldest quarter', is a quarterly index that indicates the total precipitation that occurs during the coldest quarter (millimetres); and 6) 'Slope' in % values of the Iberian Peninsula (see Supplementary Material 2.1C). Finally, we used clamping maps of MaxEnt to project the same set of environmental variables used to perform the current models but expressing other time frame (Middle Holocene) and also different range of values. To do this, we downloaded the bioclimatic variables for the Middle Holocene climatic scenario from the CCSM4 set (National Center for Atmospheric Research, USA) from Worldclim.org (Fick and Hijmans, 2017). This datafile is the most accurate set for the Mediterranean region (*sensu* McSweeney et al., 2015).

8.3.3. Running the ENM and evaluating accuracy and importance values

To calculate both ENMs, we used MaxEnt v.3.4.4. free software with the high-performing machine-learning algorithm Maximum Entropy (MaxEnt) (Phillips et al., 2006). MaxEnt compares the conditions of the background with the conditions of species presences using the localities of the occurrence (X and Y coordinates = by observed sample) of the sample species (Phillips et al., 2006, 2009, 2017; Dudík et al., 2007; Phillips and Dudík, 2008; Guillera-Arroita et al., 2015). MaxEnt estimates the range of species with the constraint of the expected value of each pixel. The algorithm weights each variable by means of a constant and estimates the probability distribution by exponentiating the sum of the weighted variables. This probability distribution is then divided by a scaling constant to ensure that the probability values range from 0.0 to 1 (Phillips et al., 2006). We ran 10 replicates of both ENMs using 500 maximum iterations with the subsample run type and a 30 random test percentage. The MaxEnt model's output was analysed, and the contribution and permutation importance of each variable used to develop the model (Pearson et al., 2007; Warren and Seifert, 2011) were calculated using the jackknife test (n – 1) (Cameron, 2014), included in the MaxEnt software. Then, the probabilistic binomial threshold test with clog-log function was applied to estimate the probability of species presence (Phillips et al., 2017). Finally, using clamping maps of MaxEnt, we projected both models under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Then, we reclassified the predicted suitability values of each pixel (0 to 1) of both projected models. We considered 0 as not suitability distributions, suitability distributions below 0.28 as the lowest probability of species occurrence, between 0.28 to 0.70 as moderately suitable, and over 0.70 as most suitable.

Many techniques have recently been developed for statistically evaluating species distribution models (e.g., Elith et al., 2006, 2011; Hijmans, 2012; Sillero et al., 2021, 2023). We used a variety of methods to evaluate and compare the results of our MaxEnt models. Firstly, the accuracy of both current ENMs was evaluated using the ROC curve and the AUC value (Phillips et al., 2006; Lobo et al.,

2008; Peterson et al., 2008), both of which are included in MaxEnt. Moreover, we used the marginal response curves of MaxEnt to view how the habitat suitability varies as each environmental variable is changed while keeping all other environmental variables at their average value. Finally, based on that described in Sillero and colleagues (2021), we calculated 100 null models to compare the evaluation metrics (AUC value) between our real models and null models using *t*-test (one-way ANOVA test if variables were parametric and Kruskal Wallis test if variables were non-parametric) (Field et al., 2012). This is necessary because in presence-background methods, the metrics are relative and not absolute (absences are not available) (Bohl et al., 2019).

8.3.4. Middle Holocene anthracological data available for the NE Iberian Peninsula

We analysed anthracological data from Neolithic sites in the NE Iberian Peninsula to explore any possible associations between the location of archaeological sites and the potential distribution of the two oak species in a Middle Holocene climate scenario. The establishment of Neolithic cultural phases in the study area during the Middle Holocene (8.2 to 4.2 ka BP) has been extensively analysed (e.g., Martín et al., 2010; Oms et al., 2016; Oms and Martín, 2018, among others), but anthracological studies are currently scarce (Mas et al., 2022; Revelles et al., 2022). Given the diverse topographical characteristics of the study area, the anthracological data were taken from several geographical locations in order to provide a broader palaeolandscape analysis (Supplementary Material 2A). We revised all the available anthracological data, and two main criteria were used to select the sites. To avoid statistical bias, we only included sites that had more than 30 identified charcoal fragments, and we selected the layer from each site that had the highest number of identified taxa. The anthracological data included in this work came from 23 sites, both in rock shelters/caves and in the open air, stemming from 27 archaeological layers (Table 8.2) (Supplementary Material 2.2B).

It is important to mention that a continuous sequence of human occupation throughout the Neolithic period has not been documented in any of the archaeological sites discussed here, although Cova Colomera (Mas

Table 8.2. Archaeological sites included in this paper.

Archaeological period	Site	Aspect	m a.s.l.	Vegetation stages	Layer	Reference
Early Neolithic	Barranc d'en Fabra	Open air	100	Termo-Mediterranean	-	Ros, 1996
	La Serreta	Open air	123	Meso-Mediterranean	E61	Allué, 2010
	La Draga	Open air	178	Meso-Mediterranean	Sector A	Piqué, 2005
	Cova d'en Pau	Cave	187	Meso-Mediterranean	III	Ros, 1996; Piqué, 2005
	Plansallosa	Open air	273	Supra-Mediterranean	II	Ros, 1995a; Piqué, 2005
	Bauma del Serrat Pont	Rock shelter	300	Meso-Mediterranean	III.4	Piqué, 2005
	Cova Bonica	Cave	402	Meso-Mediterranean	IV2	Daura et al., 2019
	Can Sadurní	Cave	420	Meso-Mediterranean	18	Antolín et al., 2013
	Cova de l'Avellaner	Cave	430	Montane	-	Ros, 1996
	Cova 120	Cave	460	Meso-Mediterranean	III	Piqué, 2005
	Cova Colomera	Cave	670	Meso-Mediterranean	CE14	Mas et al., 2022
	Cova de la Guineu	Cave	734	Meso-Mediterranean	Ie	Allué et al., 2009a
	Cova del Toll	Cave	745	Montane	C5, C4, C3	Mas and Allué, 2020
	Cova del Frare	Cave	942	Meso-Mediterranean	C6	Ros, 1996
	Balma Margineda	Rock shelter	970	Sub-Alpine	C3b	Heinz, 1995
	Cova del Vidre	Cave	1100	Supra-Mediterranean	2 central	Alcolea, 2017
	Camp del Colomer	Open air	1385	Sub-Alpine	FS29	Piqué et al., 2015b
	Coves del Fem	Cave	530	Supra-Mediterranean	UE 104	Alcolea, 2017
Late Neolithic	Roques del Sarró	Open air	196	Meso-Mediterranean	-	Vila and Piqué, 2012
	Santa Maria dels Horts	Open air	215	Meso-Mediterranean	-	Senabre and Socias, 1993
	Bauma del Serrat Pont	Rock shelter	300	Meso-Mediterranean	III.3	Piqué, 2005
	Cova Gran de Santa Linya	Rock shelter	385	Meso-Mediterranean	Fumier 3Nb	Allué, unpublished
	Auvelles	Rock shelter	417	Meso-Mediterranean	-	Martín and Piqué, 2008
	La Prunera	Open air	458	Montane	-	Piqué, 2005
	Cova 120	Cave	460	Meso-Mediterranean	II	Ros, 1995a; Piqué, 2005
	Cova Colomera	Cave	670	Meso-Mediterranean	CE9	Mas et al., 2022
	Cova de la Guineu	Cave	734	Meso-Mediterranean	Id	Allué et al., 2009a

et al., 2022), Bauma del Serrat del Pont (Piqué, 2005), Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005) and Cova de la Guineu (Allué et al., 2009) have the most complete anthracological sequences of the Middle Holocene sub-epoch.

Some taxonomic categories of species used in anthracological studies conducted in the 1990s are currently no longer in use (Heinz and Vernet, 1995; Ros, 1996, 1998), and these have been updated. For example, *Crataegus* sp., *Amelanchier ovalis*, *Sorbus* sp. and *Malus sylvestris* are classified as Rosaceae-Maloideae, as most of the time this is the most common taxon identification level. To unify nomenclature, taxa of the same families were included in a genus "sp." or regrouped "/". In accordance with Schweingruber (1990), some anatomical features are difficult to identify, and species-level taxonomy of some genera is not always achieved (*Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Prunus* sp., *Ulmus* sp., *Populus*/*Salix* or *Rhamnus alaternus*/*Phillyrea*). *Quercus* hybridisations make it difficult to identify them at the species level using anatomical features. Thus, Mediterranean oaks are often grouped into two categories: *Quercus* sp. evergreen (including *Quercus ilex*/*coccifera*) (Uzquiano et al., 2016) and *Quercus* sp. deciduous (including *Quercus faginea, Q. pubescens,* and *Q. pyrenaica*). Finally, *Pinus sylvestris*-type includes *Pinus sylvestris*, *P. nigra* and *P. uncinata*. *Pinus uncinata* has only been identified at the site of Balma Margineda (Heinz and Vernet, 1995) and is included in the *Pinus sylvestris*-type category.

The classification of Neolithic sites was based on the frequencies of the woody taxa (plant association) using a cluster analysis with the Manhattan distance (Supplementary Material 2.2C). This, in turn, allowed us to gain a deeper insight into the dynamics of landscape transformation during the Neolithic period.

8.4. Results

8.4.1. Accuracy of the two oak ENMs and current suitable distributions

The average training AUC value for the 10 replicated runs and 500 iterations of *Quercus ilex* subsp. *ilex* was 0.9261 and the average test AUC 0.9168. For *Quercus pubescens* Willd., these values were 0.932 and 0.9281, respectively. According to Phillips et al. (2006), these AUC results are very close to the value of 1, so the maximum entropy algorithm provided a valid estimation for both oak ENMs. These results

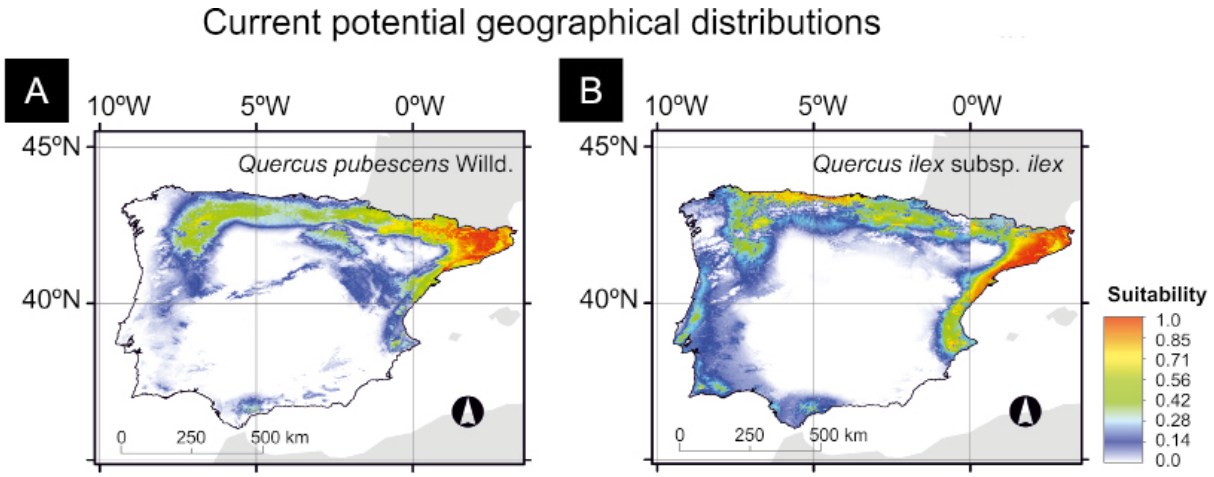


Figure 8.4. Distribution maps of current suitable habitats of A) *Quercus pubescens* Willd. and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

indicate that both MaxEnt models were successfully performed and demonstrated high accuracy (Figure 8.4).

The AUC values of the 100 null models and our empirical models were not normally distributed (Saphiro-Wilk p=value 6.952e-16 and p-value= 4.026e-15, respectively) and there was no equality between groups (Kruskal-wallis p-value= 2.383e-13).

8.4.2. Important variables and response curves

Table 8.3 shows the percentage contribution and the permutation importance results for the current environmental and geographical variables that affect the geographical distribution of both oak species, according to the threshold test.

The variables 'Temperature seasonality' (bio4), 'Mean temperature of driest quarter' (bio9) and 'Precipitation of wettest month' (bio13) obtained a total percent contribution of 82.50% for *Quercus pubescens*. This result indicates that these three variables contain more information that other variables do, and that they contribute more information to the model of *Quercus pubescens*. Thus, the main factors that affected the pubescent oak ENM were the temperature factors bio4 and bio9, and the precipitation factor bio13. The geographical variable 'Slope' contributed only 4.6% to the model.

In addition, the variables 'Temperature seasonality' (sd*100) (bio4), 'Mean temperature of wettest quarter' (bio8), 'Precipitation of wettest month' (bio13) and 'Precipitation

Table 8.3. The values show averages of 10 replicate runs, estimating the relative contributions of the environmental and territorial variables to the MaxEnt model. The percentage contribution determines the jackknife; in each iteration of the training algorithm, the increase in regularized gain is added to the contribution of the corresponding variable. Permutation importance shows the values of that variable on training presence, and background data are randomly permuted. The model is reevaluated on the permuted data, and the resulting drop in training AUC is shown, normalized to percentages.

		Quercus pubescens Willd.		*Quercus ilex* subsp. *ilex*	
Variable	**Description**	**Percent contribution**	**Permutation importance**	**Percent contribution**	**Permutation importance**
Temperature factors					
bio4	Temperature seasonality	30.4	13.8	41.9	39.5
bio8	Mean temperature of wettest quarter	9.5	12.2	24.8	13.8
bio9	Mean temperature of driest quarter	33.8	22.1	4.7	10.4
Precipitation factors					
bio13	Precipitation of wettest month	18.3	45.6	14.1	21.1
bio19	Precipitation of coldest quarter	3.4	5.8	13.2	13.7
Geographical factors					
Slope	In degrees	4.6	0.4	1.3	1.5

of coldest quarter' (bio19) had the highest contribution values for the *Quercus ilex* subsp. *ilex*., yielding a total percent contribution of 94%. The geographical variable 'Slope' had lowest contribution value (1.3). For instance, the main factors affecting the distribution of the current potentially suitable habitat for holm oak were temperature factors (bio4 and bio8) and precipitation factors (bio13 and bio19). The response curves in Figure 8.5 demonstrate how the two oak species responded to the six variables. The variables bio4 and bio13 were found to be significant contributors to both models. The results showed that the most ideal range for bio4 and bio13 was higher for *Quercus pubescens* than for *Quercus ilex* subsp *ilex*.

8.4.3. Vegetation formation types according to the anthracological data

The cluster plots (Figure 8.6) show the anthracological association and the configuration of five types of landscape or vegetation scenarios during the Middle Holocene. In the first group (Figure 8.6 in red), the anthracological data documented in

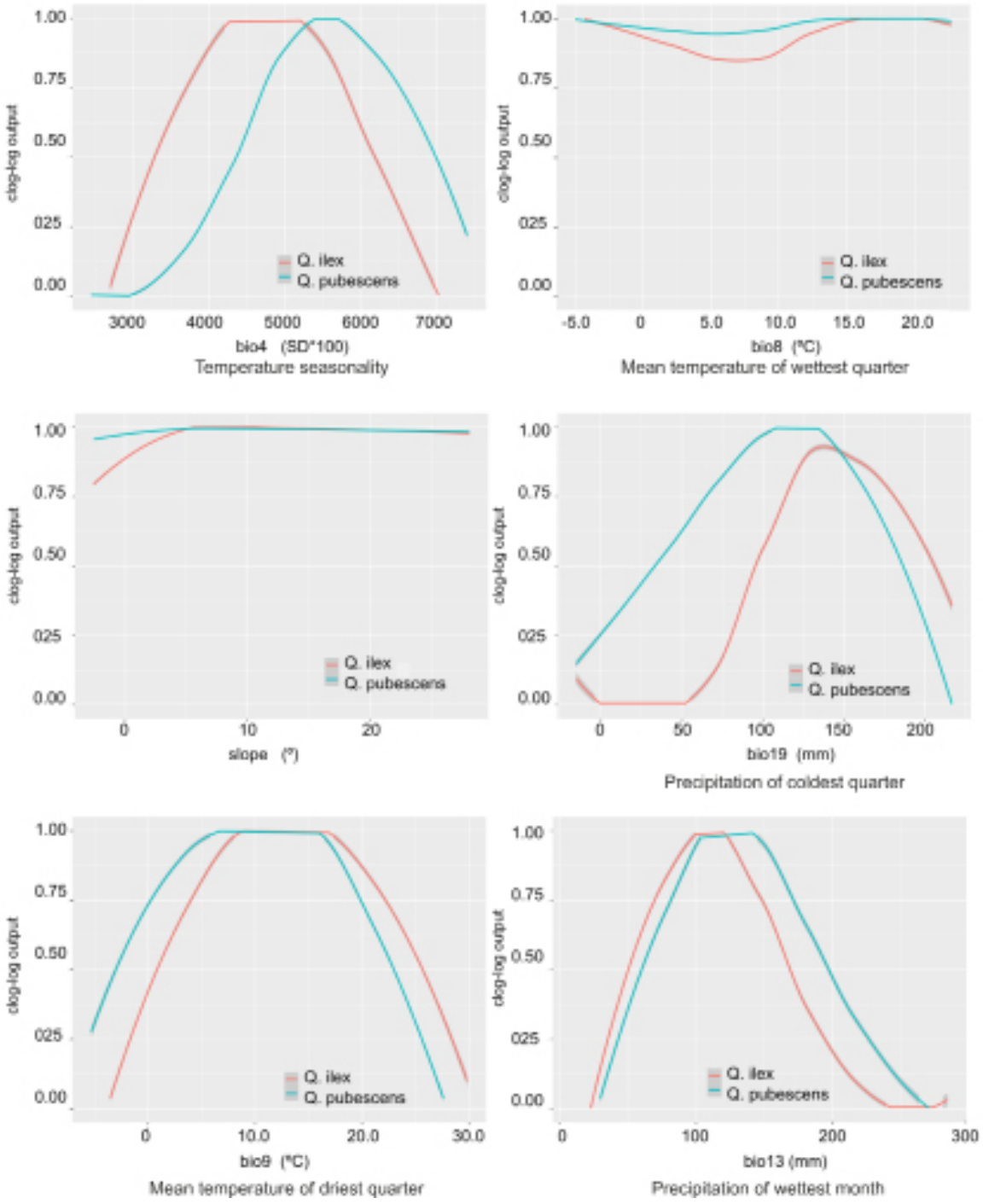


Figure 8.5. Marginal response curve plots of the environmental variables used in MaxEnt related to *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The x-axis reflects the variation in value of the variable, and the y-axis reflects the probability of the species occurring in the study area.

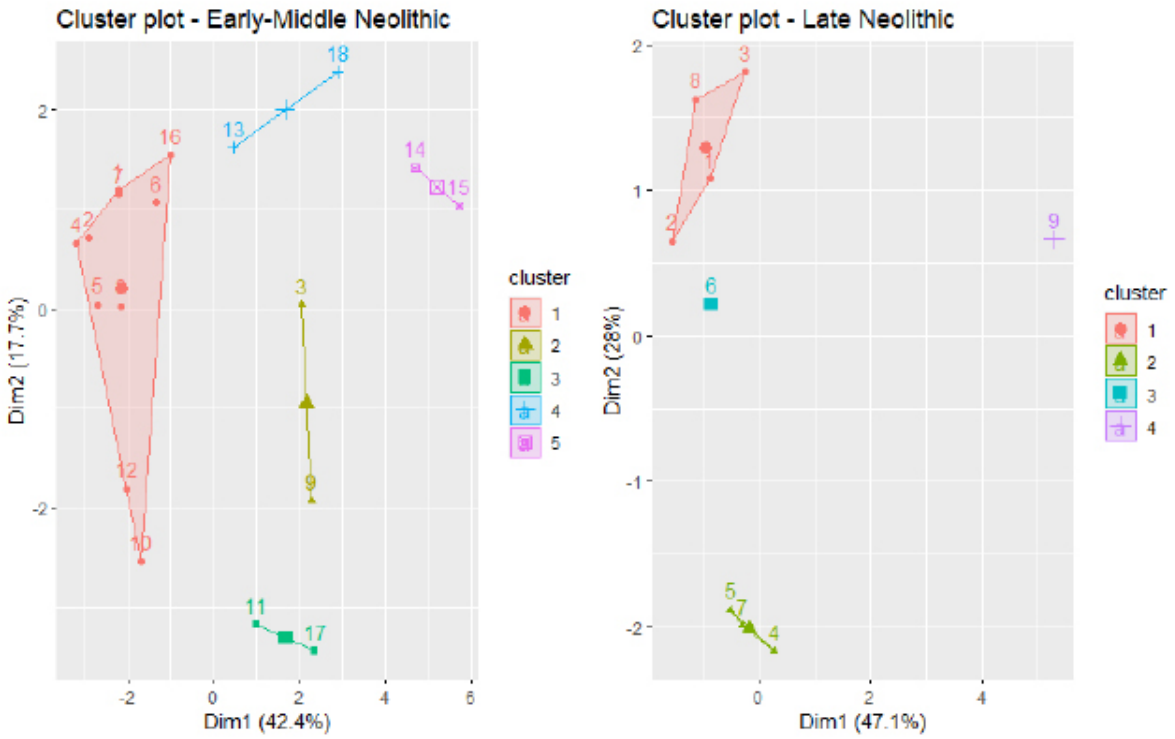


Figure 8.6. Cluster plots according to anthracological data during the Middle Holocene. Early-Middle Neolithic: 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau (III); 3. Cova 120 (III); 4. Bauma del Serrat Pont (III.4); 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu (Id); 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre; Late Neolithic: 1. Cova 120 (II); 2. Bauma del Serrat Pont (III.3); 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu (Ic); 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró.

the Early-Middle Neolithic layers (7.5 to 5.6 cal ka BP) of Cova Colomera (Mas et al., 2022), Cova del Toll (Mas and Allué, 2020), Cova de l'Avellaner (Ros, 1996), Bauma del Serrat del Pont (III.4) (Piqué, 2005), Cova de la Guineu (Allué et al., 2009), Can Sadurní (Antolín et al., 2013), Cova d'en Pau III, Plansallosa, La Draga and Cova del Frare (Ros, 1995a, 1996; Piqué, 2005) indicate a landscape dominated by deciduous oak (20–71%) together with sub-Mediterranean mesophilous taxa, mainly *Buxus sempervirens* and *Acer* sp. Conversely, *Pinus sylvestris* type, *Taxus baccata*, evergreen oaks (*Quercus ilex/coccifera*) (<23%) and Mediterranean trees and shrubs yielded very low values (see Supplementary Material 2.2B). The frequency values of deciduous oak, boxwood (*Buxus sempervirens*) and maple (*Acer* sp.) are similar among the sites. However, some differences can be observed, especially in the values of conifers such as the yew (*Taxus baccata*) and mountain pines (*Pinus*

sylvestris-type). Moreover, boxwood was not documented in either Can Sadurní or Cova de la Guineu. The anthracological data from the Late Neolithic layers (5.6 to 4.2 cal ka BP) of La Prunera and Bauma del Serrat Pont (III.3) (Piqué, 2005), Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished) and Cova Colomera (Mas et al., 2022) show a a plant community that is very similar in composition to the Early-Middle Neolithic first group (see Supplementary Material 2.2C).

The second group (Figure 8.6 in ochre) consists of the Early-Middle Neolithic anthracological data from Cova 120 (III) (Piqué, 2005) and Cova Bonica (Daura et al., 2019), and the Late Neolithic anthracological data from Cova de la Guineu (Ic) (Allué et al, 2009), Auvelles (Martín and Piqué, 2008) and Santa Maria dels Horts (Seneabre and Socias, 1993). This Early-Middle Neolithic group indicates a mixed oak forest formation (deciduous and evergreen oaks) with montane pines (*Pinus sylvestris* type), Mediterranean pines (*Pinus halepensis/pinaster*) and *Juniperus* sp., and a marked presence of sclerophyllous and sub-Mediterranean shrubby vegetation, such as the strawberry tree (*Arbutus unedo*), and evergreen buckthorn (*Rhamnus alaternus/Phillyrea*). This second group seems to have a more open vegetation cover than that determined for the first group.

The third group (Figure 8.6 in green) includes the Early-Middle Neolithic layers of La Serreta (Allué, 2010) and Barranc d'en Fabra (Ros, 1996), and the Late Neolithic layer of Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished) (Figure 8.6 in turquoise). The anthracological assemblage for the Early-Middle Neolithic points to a less mixed oak forest formation (deciduous and evergreen oaks), and an increased presence of shrubby vegetation. Thus, thermophilous shrubby taxa such as lentisk (*Pistacia lentiscus*) olive (*Olea europea*) and evergreen oaks are more abundant than mesophilous taxa. The Late Neolithic layer of Cova Gran de Santa Linya has many similarities with group 1, even though boxwood is less present. It has therefore been separated from the cluster.

The fourth and fifth groups from the Early-Middle Neolithic (see Figure 8.6 in blue and purple, respectively) include Camp del Colomer (Piqué et al., 2015b) and Cova del Vidre (Alcolea, 2017) (group 4), and Coves del Fem (Alcolea, 2017) and Balma Margineda (Heiz and Vernet, 1995) (group 5). Likewise,

the Late Neolithic site of Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2017) appears as an outlier, with high frequencies of maquis formations, with species such as *Pistacia lentiscus* (67.6%). The anthracological data of the fourth group indicate high frequencies of conifers, mainly montane pines (*Pinus sylvestris*-type), the most representative taxon in the assemblage. In addition, values for deciduous oaks and yew (*Taxus baccata*) are higher than for evergreen oaks. The other woody taxa are present in low relative frequencies.

The anthracological assemblage for the fifth group shows high values for montane pines and low values for deciduous oaks.

8.4.4. Suitable distribution maps of the two oak species based on the Middle Holocene climatic scenario (8.200 to 4.2 ka BP) and site location

The two distribution maps of suitable habitats for the two species studied are attached in ASCCI format (Supplementary Material 2.3). Figure 8.7 shows the locations of Early-Middle Neolithic archaeological sites and suitable distributions for both oaks. The sites located in the north-eastern inland area, including La Draga, Cova d'en Pau, Bauma del Serrat Pont, Plansallosa and Cova de l'Avellaner (group 1), and Cova 120 (group 2) are within habitats poorly-moderately suited to *Quercus pubescens* and unsuitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (Table 8.4). Nevertheless, La Draga and Cova d'en Pau are located near a moderately suitable habitat for *Quercus pubescens*, as well as near a poorly suitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The sites located in coastal and pre-coastal areas, including Cova del Frare, Can Sadurní and Cova de la Guineu (group 1), Cova Bonica (group 2), and La Serreta and Barranc d'en Fabra (group 3) are in areas with a moderate to high suitability for *Quercus pubescens*, and near areas with a low to moderate suitability for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (see Table 8.4). Near these sites, Cova del Toll (group 1) is in an area moderately suitable for *Quercus pubescens* but unsuitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Moreover, the inland locations of Cova Colomera (group 1), Camp del Colomer and Cova del Vidre (group 4), and Coves del Fem and Balma Margineda (group 5) are in an unsuitable area for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Nevertheless, Cova Colomera, Coves del Fem and Cova del Vidre are within habitats poorly-moderately suited to *Quercus pubescens*, although Camp del Colomer and Balma Margineda are

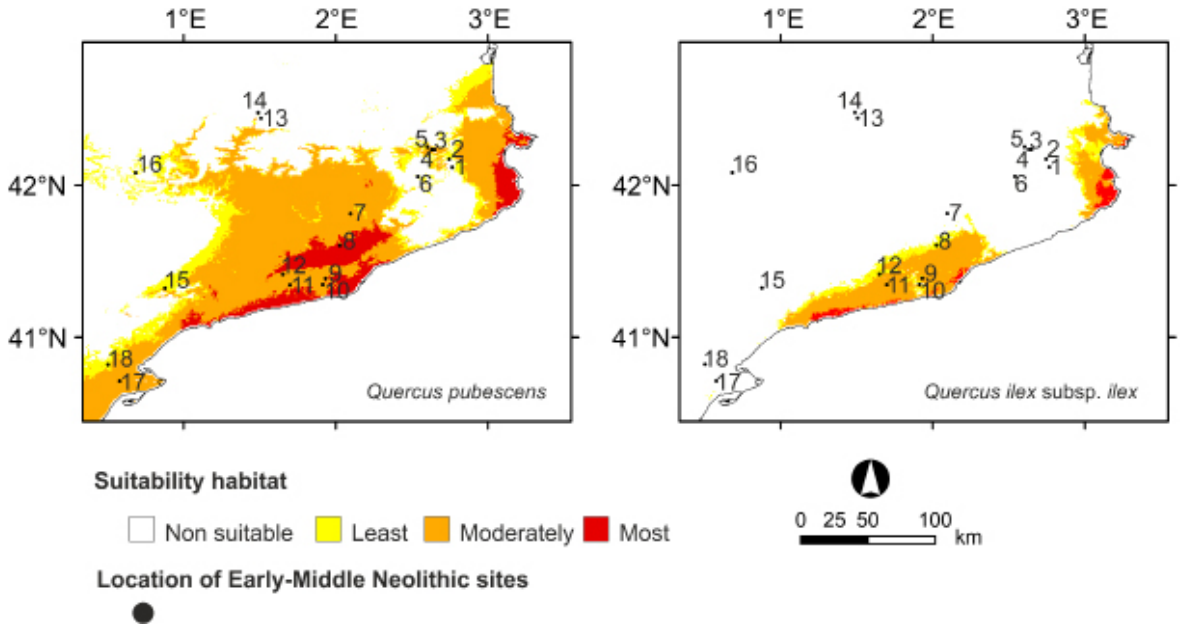


Figure 8.7. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario of the NE Iberian Peninsula, and the locations of Early-Middle Neolithic sites with anthracological data. 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau; 3. Cova 120; 4. Bauma del Serrat Pont; 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu; 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre.

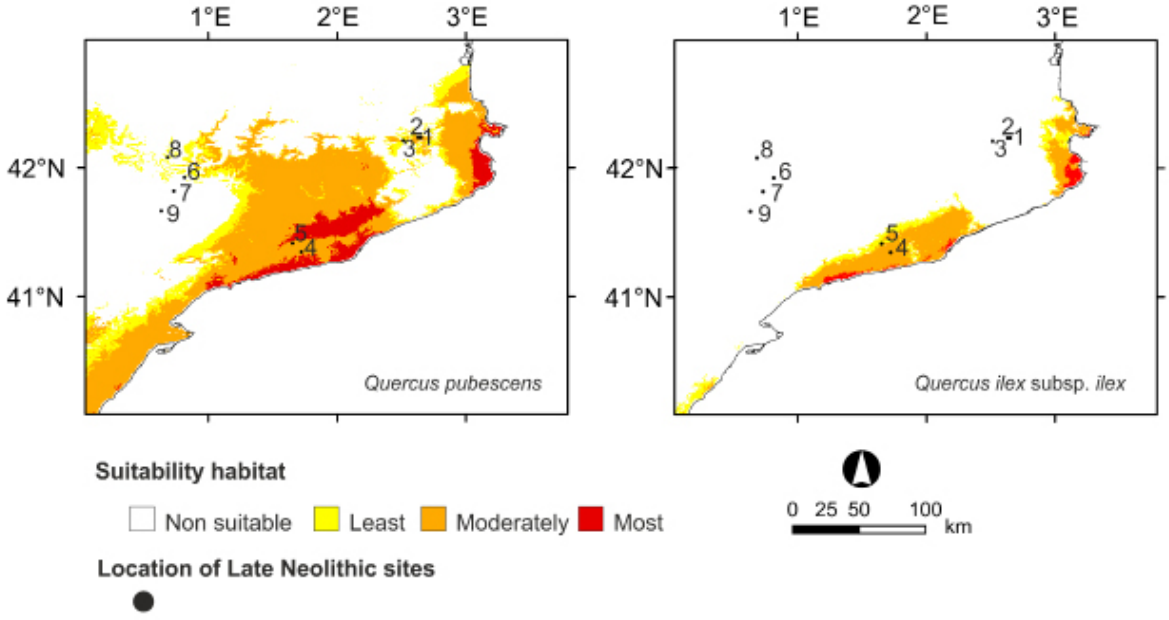


Figure 8.8. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and the locations of Late Neolithic sites with anthracological data. 1. Cova 120; 2. Bauma del Serrat Pont; 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu; 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró.

in an area where the species does not occur.

The Late Neolithic sites are shown in Figure 8.8, along with the habitat suitability distributions for *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Group 1, including Cova 120, Bauma del Serrat Pont, La Prunera and Cova Colomera, and group 3, including Cova Gran de Santa Linya are in the least-moderately suitable habitat for *Quercus pubescens* and in an unsuitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Moreover, different trends can be observed in group 2. Auvelles is in unsuitable areas for

Table 8.4. Results of predicted suitability values according to the coordinates (pixel) of the Neolithic sites that are included in this study. Group: Anthracological groups; Id: the site number as shown in Figure 8.7 and Figure 8.8.

	Group	Id	Site	Q. pubescens (values)	Suitability habitat	Q. ilex (values)	Suitability habitat
Early Neolithic	1	1	La Draga	0.21	Least	0	Non suitable
	1	2	Cova d'en Pau	0.22	Least	0	Non suitable
	2	3	Cova 120	0.39	Moderately	0	Non suitable
	1	4	Bauma del Serrat Pont	0.37	Moderately	0	Non suitable
	1	5	Plansallosa	0.36	Moderately	0	Non suitable
	1	6	Cova de l'Avellaner	0.22	Least	0	Non suitable
	1	7	Cova del Toll	0.56	Moderately	0	Non suitable
	1	8	Cova del Frare	0.77	Most	0.26	Least
	2	9	Cova Bonica	0.71	Most	0.45	Moderately
	1	10	Can Sadurní	0.29	Moderately	0.58	Moderately
	2	11	La Serreta	0.61	Moderately	0.42	Moderately
	1	12	Cova de la Guineu	0.54	Moderately	0.3	Moderately
	4	13	Camp del Colomer	0	Non suitable	0	Non suitable
	5	14	Balma Margineda	0	Non suitable	0	Non suitable
	5	15	Coves del Fem	0.25	Least	0	Non suitable
	1	16	Cova Colomera	0.22	Least	0	Non suitable
	3	17	Barranc d'en Fabra	0.36	Moderately	0	Non suitable
	4	18	Cova del Vidre	0.29	Moderately	0	Non suitable
Late Neolithic	1	1	Cova 120	0.39	Moderately	0	Non suitable
	1	2	Bauma del Serrat Pont	0.37	Moderately	0	Non suitable
	1	3	La Prunera	0.24	Least	0	Non suitable
	2	4	Santa Maria dels Horts	0.61	Moderately	0.46	Moderately
	2	5	Cova de la Guineu	0.54	Moderately	0.3	Moderately
	3	6	Cova Gran de Santa Linya	0.2	Least	0	Non suitable
	2	7	Auvelles	0	Non suitable	0	Non suitable
	1	8	Cova Colomera	0.22	Least	0	Non suitable
	4	9	Roques del Sarró	0	Non suitable	0	Non suitable

both species, unlike the sites located in the coastal and pre-coastal areas, such as Cova de la Guineu and Santa Maria dels Horts, which are located within de moderately suitable habitats for both oak species (see Table 8.4). Finally, Roques del Sarró (group 4) are in unsuitable habitats.

8.5. Discussion

8.5.1. Physical-environmental factors and current suitable habitats for oak woodlands in the NE Iberian Peninsula

MaxEnt models have emerged as a promising tool for predicting suitable habitats and estimating the ecological niches of the species in a given geographical area (Dudík et al., 2007; Elith et al., 2011; Merow et al., 2013; Peterson et al., 2015). We applied this approach to gain an understanding of how forest oak ecosystems respond to climatic factors and geographical features in the Iberian Peninsula. As important components of forests distributed in the western Mediterranean region, the two oak species analysed are of special interest in evaluating plant-environment interactions (Moreno-Fernández et al., 2021). Our results demonstrate a significant contribution of temperature and precipitation seasonality factors in both MaxEnt models. Thus, our results suggest that the temperature factor 'Temperature seasonality' (bio4) and the factor 'Precipitation of the wettest month' (bio13) are more influential to the occurrence of both oak species in the Iberian Peninsula.

The marginal response curves in bio4 seem to be different for both oak species, as *Quercus pubescens* responds to highest values of temperature seasonality than *Quercus ilex* subsp. *ilex*. However, the responses of both species seem to be similar in bio13, although *Quercus pubescens* responds to highest values than *Quercus ilex* subsp *ilex*. 'Mean temperature of driest quarter' (bio9) also contributed significantly to the ENM of *Quercus pubescens*, whereas 'Mean temperature of wettest quarter' (bio8) and 'Precipitation of coldest quarter' (bio19) contributed significantly to the ENM of *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

The Mediterranean climate regime is notably characterised by a water deficit during the summer drought season. Interactions between drought and plant communities have been intensively debated (e.g., Maestre et al., 2005; Carrión et al., 2010b). Several studies on

drought stress response patterns suggest a higher drought tolerance in evergreen than in deciduous oak species (e.g., Damesin et al., 1998; Mediavilla and Escudero, 2004; Vaz et al., 2010). Früchtenicht et al. (2018) suggested that the good performance of the two Mediterranean oak species during drought seasons could be a consequence of a better water supply achieved through a deeper root system. Furthermore, Madritsch et al. (2019) pointed out that there are individual-specific mechanisms that explain the differences in drought tolerance between evergreen and deciduous oak species, such as differences in specialised genes and proteins.

Quercus ilex has thin, deep, vertical roots, and water absorption depends mainly on the local precipitation regime (Baquedano and Castillo, 2007) as the species requires well-drained soils. This root mechanism, which reflects the probability of undergoing greater water stress in wet or rainy areas (Gea-Izquierdo et al., 2009), could explain the result obtained for the variable 'Precipitation during the wettest month' (bio13) (see Table 8.3). Thus, the high-water flow in the roots of *Quercus ilex*, especially in the dry season, may be one of the reasons for the high water requirements of the species. This may explain why the species does not occur in areas where water availability is low in the dry season.

Quercus pubescens has a different strategy for its root system, which is mainly used for shallow water uptake and is relatively active in shallow soil layers, so it primarily depends on the kind of soil and slope conditions (Di Iorio et al., 2005) and is more efficient in water absorption at higher elevations. Furthermore, higher elevations could be related to cold conditions, as can be demonstrated by the high contribution for cold conditions (bio9). The slope variable does not contribute much to the ENM of *Quercus pubescens* and holds little importance, though elevation range was the most influential geographical variable for explaining the occurrence of the species.

The Iberian Peninsula is a region that has a wide range of climatic regionalisation due to its heterogeneous orography and geographical particularities (Rivas-Martínez, 1987). This complexity makes it necessary to be caution in assessing the importance of the environmental variables used in the two MaxEnt models, which respond mainly to bioclimatic factors. Presence-background methods compare the

environmental conditions and geographical features of the study area with the conditions used by the species in order to distinguish between suitable and unsuitable habitats (Phillips et al., 2006). However, it is important to note that just because a habitat could be suitable, does not mean that the species would be present. And, conversely, just because a habitat could be unsuitable, does not mean that the species would be absent. Currently, many forested Mediterranean landscapes are in fact mosaics of habitats dominated by deciduous and evergreen oaks, with a mix of both species in many environments (e.g., Blondel et al., 1992; Dinerstein et al., 2017). Although it is certain that the dynamics of Mediterranean forests are complex and highly heterogeneous (e.g., Shachak et al., 2008; Médail and Diadema, 2009; Pausas and Keeley, 2009; Blondel et al., 2010; Carrion et al., 2010a; Burjachs et al., 2017; Di Rita et al., 2018), physical-environmental factors restrict their distribution and could limit the presence of certain dominant tree species (e.g., Newman et al., 2006; Pérez-Obiol et al., 2011; Warren and Seifert, 2011; Médail et al., 2019; Boonman et al., 2020;). Climatic changes have affected the precipitation regimes and drought conditions on different scales and under different conditions (e.g., Metzger et al., 2005; Uzquiano et al., 2016; González-Sampériz et al., 2017, 2020; Walker et al., 2018; Colville et al., 2020). Nevertheless, a local approach may be required to understand multifaceted vegetation histories.

In summary, our results have proved that MaxEnt models can effectively improve the accuracy of assessments of the function of the bioclimatic and geographical factors that may or may not be suitable for two Mediterranean oak species. The results have allowed us to evaluate how the potential distributions of these two oak formations could have been affected under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and what form the relationships between human-plant communities may have taken.

8.5.2. Oak formations under the Middle Holocene climatic scenario: an anthracological perspective (8.2-4.2 ka BP)

Using MaxEnt, this study has provided, for the first time, two potential distribution maps for two sub-Mediterranean forest types

(deciduous and evergreen oak woodlands) during the Middle Holocene in the NE Iberian Peninsula, in accordance with the palaeoclimatic reconstruction available on Worldclim.org (Fick and Hijmans, 2017). Our results showed that *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex* have changed their suitable habitat ranges, probably in response to environmental conditions. Thus, during the Middle Holocene, the suitable area for *Quercus pubescens* may have been larger than that for *Quercus ilex* subsp *ilex*. Our results showed that the suitability ranges on the central coast and in some southern areas may have been favourable for both species, although the suitable habitat for *Quercus pubesens* extended to the pre-coastal (pre-littoral) and inland areas.

Both the projected MaxEnt maps have distributions that overlap well with the sites, and they are both consistent with the anthracological groups that were obtained. These anthracological sequences indicate that deciduous oak woodlands were well established during the Neolithic period and had a certain degree of continuity. Additionally, the presence of sclerophyllous taxa indicates a tendency towards mixed oak forests in some locations. Moreover, our results have characterised five distinct vegetation formations, two of which were most exploited by Neolithic populations (group 1 and group 2). The first group of sites evidenced a plant community dominated by deciduous oak together with high frequencies of mesophilous taxa, mainly *Buxus sempervirens* and *Acer* sp. This landscape predominated during the Early to the Late Neolithic periods. All the archaeological sites included in this group are located within the habitat suitability range of *Quercus pubescens*. The climate was likely temperate and relatively humid in the vicinity of the inland Neolithic sites (Mas et al., 2022). Nevertheless, some of the Neolithic sites included in this group, such as Cova de la Guineu, Cova del Frare and Can Sadurní, are located near the central coast, in the least-moderately suitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The development of Mediterranean vegetation is likely due to reduced precipitation and increased environmental aridity (Carrión et al., 2007, 2010b; Allué et al., 2009a, 2017b; Pérez-Obiol et al., 2011). Based on this, some authors found a considerable increase in evergreen oak pollen in the coastal region and suggest that the spread of these trees could correspond to the onset of the Mediterranean

climate (Jalut et al., 1997; Burjachs et al., 1997).

All the archaeological sites included in the second group are in the coastal area. The results of our models (see Table 8.3) demonstrate that these areas would delimit zones with lower and more irregular precipitation values (bio19 and bio13), as well as brusquer seasonal temperatures (bio9, bio8). As described in Section 4.2., the occurrence of *Quercus ilex* is more likely than that of *Quercus pubescens* in locations where seasonal precipitation has lower values (see Figure 8.5). Montane conifers (*Pinus sylvestris*-type and *Taxus baccata*) and deciduous oak assemblages are characteristic of the fourth and the fifth groups of Neolithic sites. It is important to note that the anthracological data from these sites shows that both oaks either appear with low frequencies or are non-existent, and these sites are located far from highly suitable habitats. The high representation of conifers could be due to the fact that deciduous oak forests probably do not grow at high elevations where mountain pines are more likely to persist.

The anthracological sequences of Cova Colomera and Bauma del Serrat Pont include different Neolithic periods. However, the anthracological data showed that Neolithic populations would have selected mesophilic vegetation throughout the Neolithic. Furthermore, MaxEnt's results showed that the area around these sites was more suitable for deciduous oak than evergreen oak. The diachronic continuity of the landscape around these two sites suggests that the Neolithic activities in the vicinity may not have markedly affected the surrounding forest structure during the Early to Late Neolithic (e.g., Alcalde et al., 2005; Mas et al., 2022). In relation to these considerations, Alcalde et al. (2005) found archaeological evidence of short occupations at Bauma del Serrat del Pont. Moreover, Martín and Oms (2022) have suggested that Cova Colomera also seems to have been used seasonally by Neolithic groups for livestock practices, mainly the stabling of small herds for short periods.

The anthracological sequences of Cova 120 and Cova de la Guineu showed differences in the plant community between the Early Neolithic and the Late Neolithic. Hence, anthracological data of Cova 120 showed an increase in mesophilic vegetation during the Late Neolithic (from group 2 to group 1). Likewise, Cova de la Guineu showed more

evergreen oak and thermophilic vegetation during the Late Neolithic (from group 1 to group 2). Moreover, MaxEnt's results suggested that the optimal environmental conditions for thermophilous vegetation and evergreen oak would not have occurred around Cova 120, as the area was not suitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. In contrast, the area around Cova de la Guineu would have been moderately suited to both oak species. This is probably due to the environmental differences related to seasonality in these two areas, especially the different precipitation (bio13 and bio19) and temperature (bio4, bio8, and bio9) regimes. Our results are consistent with the fact that the aridity episode of the 8.2 ka BP event gave rise to a variety of responses in the NE Iberian Peninsula, as suggested by Revelles et al. (2015). These authors argued that the effect of the 8.2 ka BP event was mild or non-existent in some sub-Mediterranean regions, although it may have led to a drier environment in Mediterranean coastal areas and in high mountain areas. A key feature of this period could thus be the local seasonality of rainfall distribution, an important parameter that might explain the instability of Mediterranean landscapes (Berger and Guilaine, 2009). Moreover, regional climatic conditions, mainly the increase in aridity starting 4.2 ka BP (e.g., Araus et al., 1997; Allué et al., 2009a, 2017b; Carrión et al., 2010a, 2010b) and the impact of human activities, would explain these diachronic changes in landscapes around these sites. These processes would favour an increase in shrub vegetation around Cova 120 with species such as *Buxus sempervirens* (temperate, humid area) and an increase in evergreen oaks and thermophilous vegetation in Cova de la Guineu (area with more seasonal climate and precipitation). Further studies related to forest management would definitely shed light on the impact of human activities on these vegetal formations (Delhon et al., 2009; Dufraisse et al., 2022).

Both the presence and the absence of different arboreal and shrubby species in Neolithic sites could be explained by the variations in local landscape composition and, in fact, environmental differences due primarily to aridity (Allué et al., 2009a, 2017b). Additionally, the different strategies of wood gathering could be an important factor in interpreting plant associations (Kabukcu and Chabal, 2021). Therefore, we suggest that these associations could correspond to a

local catchment area. As detailed above, the first and the second groups show the two types of woodlands that Neolithic human groups would have recurrently exploited. Both sub-Mediterranean deciduous oak and sclerophyllous woodland with evergreen oak were the most exploited landscapes in the NE Iberian Peninsula during the Middle Holocene. Nevertheless, montane pine forest (*Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* and *Pinus nigra*) was also harvested, although at a relatively reduced scale compared to oak. Our results show a good overlap between the two oak ENMs and the Neolithic sites that provided the anthracological data. This could be evidence that forest resources were exploited in locations close to settlements during the Neolithic, as some authors have suggested (e.g., Piqué et al., 2021). Wood harvesting is an activity that depends on social and economic contexts, and activities related to wood exploitation and forest management were probably partly conditioned by the environment.

8.6. Conclusions

Using MaxEnt, this study provides ecological niche models (ENM) for two oak species, the pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) and the holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), at present in the Iberian Peninsula and under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Differences between suitable habitats for the two oak species seem to be due to different environmental tolerances. Seasonal temperature factors and seasonal rainfall are influential bioclimatic variables for the occurrence of both species, whereas geographical factors are not highly significant. Based on anthracological data from the Neolithic, we have distinguished five main plant associations in which Neolithic populations recurrently exploited forest resources. This study suggests that the Neolithic populations in the study area were largely dependent on resources from the forest, mainly deciduous oak forest with mesophilous taxa, and from Mediterranean oak forest. Finally, the results obtained in the potential oak palaeo-vegetation maps demonstrate a good overlap with the locations of the Neolithic sites analysed. Thus, Neolithic human groups that settled in open air sites and took advantage of caves and rock shelters to pursue their specialised activities were well aware of the potential of forests

and probably gathered woody resources in the surrounding area. We found that the use of MaxEnt models improved our understanding of how climate dynamics might affect local patterns of vegetation distribution. We also highlight the importance of modelling palaeolandscape maps in order to shed light into human-environment interactions.

Funding

Bàrbara Mas is supported by a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) with financial sponsorship of the Generalitat de Catalunya, integrated in the project of the University of Barcelona, directed by professor S. Riera, "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterr´aneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)", 2021–2024, PID2020-117186GB-I00, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government. This work is supported by the project PID-2020-113960GB-100 (2021-2024) "El poblamiento del NE peninsular y su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial" from Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government, and by the "María de Maeztu excellence accreditation" (cex2019–000945-M) granted to the IPHES-CERCA research group, and by the projects 2021SGR_01237 (IPHES-CERCA, University Rovira i Virgili) and 2021SGR_00337 (SERP, University of Barcelona) of the Generalitat de Catalunya.

Acknowledgements

We are grateful to the two anonymous reviewers whose comments and suggestions helped us improve our manuscript. We would also like to thank Dr. Neftalí Sillero for providing us with help and recommendations regarding the MaxEnt methodology and evaluation metrics. Furthermore, we would like to thank the Bosch i Gimpera Fundation (University of Barcelona) for sponsoring the dedicated course on Ecological Niches Model of the Transmitting Science (Barcelona, Spain). Lastly, we would like to acknowledge Rupert Glasgow and Lisa Mann for reviewing the English language of both the first and revised versions of our manuscript. We are also thankful to the IPHES-CERCA for offering us use of their workspaces.

Supplementary data

Download all supplementary files included with this article: https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984

PARTE III



CAPÍTULO IX. Discusiones generales

Las discusiones generales de la presente tesis doctoral se centran en los siguientes aspectos: el uso de la leña en la organización del espacio en contextos de cazadores recolectores, la influencia de los factores climáticos, geográficos y antrópicos en la distribución de paisajes, y las áreas de captación de madera durante el Neolítico.

9.1 Uso de leña y organización del espacio en contextos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico

En los capítulos V y VI de la presente tesis doctoral, se ha llevado a cabo una investigación con el fin de comprender el uso del espacio y el comportamiento de diversas comunidades humanas. Para lograr este objetivo, se ha desarrollado y aplicado una metodología de análisis espacial que ha permitido examinar la densidad de fragmentos de carbón y la distribución de taxones leñosos en dos yacimientos arqueológicos que abarcan contextos relacionados con los últimos grupos de cazadores-recolectores en el noreste de la península ibérica. Los yacimientos estudiados son Molí del Salt (Mas et al., 2021; Capítulo V) y Cova del Parco (Capítulo VI). Los resultados obtenidos en el estudio de los conjuntos antracológicos de ambos yacimientos sugieren que la aplicación de técnicas geoestadísticas en fragmentos de carbón permite explorar y aportar información sobre la organización espacial de las actividades humanas. En este sentido, el análisis de distribución espacial con técnicas y herramientas SIG de los conjuntos antracológicos, que entendemos como residuos que se originaron a partir de distintos episodios de quema de madera, nos ha permitido analizar la presencia y delimitación de hogares superpuestos, y discernir el tipo de combustible utilizado en distintas áreas para la realización de actividades especializadas y cotidianas en ambos yacimientos. Por ello, destacamos la importancia de considerar la información espacial del registro antracológico, que implica evaluar tanto la cantidad o densidad de fragmentos como los taxones identificados.

El diseño de la metodología de análisis espacial de los fragmentos de carbón que hemos aplicado ha sido distinto en Molí del Salt y en Cova del Parco. Estas diferencias, específicamente en la aplicación de herramientas geoestadísticas, han respondido a la propia estrategia de recuperación de los fragmentos de carbón durante los trabajos de campo de cada yacimiento. En el caso de Molí del Salt, la técnica de flotación manual ha permitido la recuperación sistemática de la mayoría de los fragmentos de carbón de los sedimentos del nivel A. Por tanto, el análisis espacial ha requerido el uso de técnicas estadísticas específicas, como *random point*, la estandarización de los valores del conjunto con

relación al área (m^2) y la estimación de densidad de Kernel con el índice I-Moran. La aplicación de este conjunto de técnicas y herramientas de SIG han permitido caracterizar el patrón de distribución de los taxones identificados, esto es, si los distintos taxones vegetales se agrupaban de manera aleatoria, como en el caso de *Pinus* tipo *sylvestris*, agrupada, como *Juniperus* sp. y dispersa, como *Prunus* sp. En Cova del Parco, por otro lado, los fragmentos de carbón se recuperaron manualmente y en base a ciertos criterios como, por ejemplo, el tamaño, descartándose gran parte de los fragmentos de carbón de menor tamaño. Esta técnica de recuperación de los fragmentos de carbón ha generado un conjunto con una baja cantidad de fragmentos de carbón, especialmente en el nivel III, lo que dificulta el análisis espacial con las técnicas y herramientas estadísticas que se han aplicado en Molí del Salt. En este caso, la metodología de análisis espacial de los fragmentos de carbón en Cova del Parco ha requerido el uso de una sola técnica estadística, la estimación de densidad de Kernel *per se*. Asimismo, cabe destacar que las curvas de acumulación generadas a partir de los fragmentos recuperados muestran una buena estabilidad (Figura 9.1.). Además,

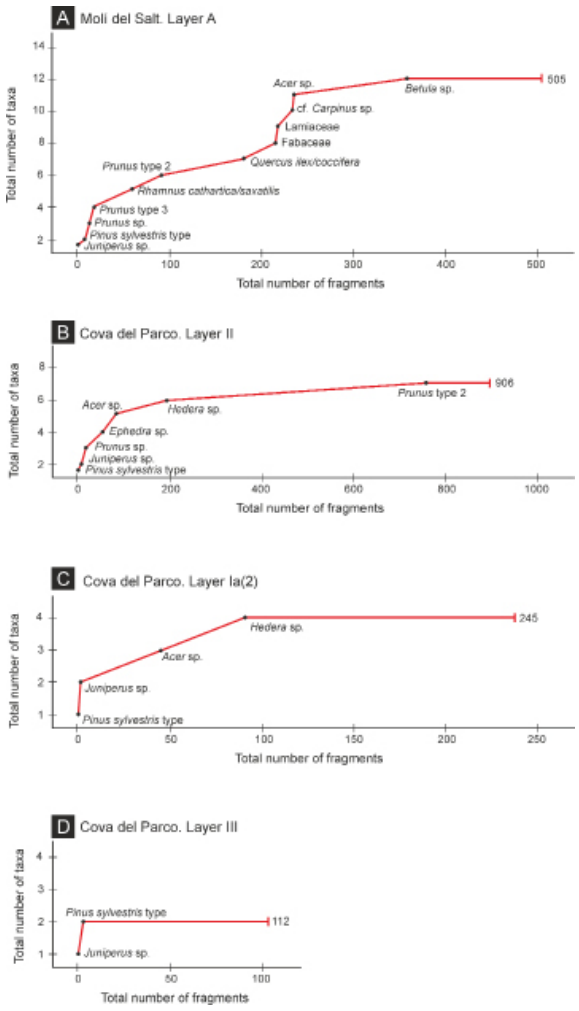


Figura 9.1. Tamaño de los conjuntos antracológicos analizados según las curvas de acumulación de los fragmentos de carbón dispersos analizados (eje X) y taxones documentados (eje Y); a) nivel A de Molí del Salt; b) nivel II de Cova del Parco; c) nivel Ia(2) de Cova del Parco y; d) nivel III de Cova del Parco.

los resultados espaciales obtenidos en los fragmentos de carbón recuperados a mano pueden considerarse representativos, a pesar de que la técnica de flotación manual es la más ampliamente considerada para recuperar fragmentos de carbón de los sedimentos arqueológicos (Wright, 2005; Pearsall, 2015;

Kabukcu y Chabal, 2021). Por tanto, los datos obtenidos tanto en Cova del Parco como en Molí del Salt pueden considerarse representativos para la interpretación de los conjuntos analizados. Sin embargo, debemos ser cautelosos al interpretar el conjunto antracológico recuperado del nivel III de Cova del Parco (ver Figura 9.1.D.), ya que este nivel arqueológico aún se encuentra en proceso de excavación y su potencia sedimentaria no ha sido completamente agotada.

Los capítulos V y VI presentan un análisis detallado de los resultados obtenidos en la investigación espacial realizada en los contextos antracológicos de Molí del Salt y Cova del Parco. Este estudio ha permitido una mayor comprensión de la organización espacial de las actividades humanas alrededor de los hogares y de las estrategias de uso de leña como combustible en ambos asentamientos. Cada uno de estos capítulos detalla las particularidades observadas en cada yacimiento, lo que proporciona una visión completa y detallada de los resultados obtenidos. Sin embargo, se han identificado similitudes significativas entre ambos asentamientos que caben mencionar.

En primer lugar, en ambos yacimientos se ha observado una mayor concentración de fragmentos en áreas específicas, lo que sugiere que ciertas actividades se realizaban con mayor frecuencia en ciertos lugares dentro de los dos asentamientos. De entre los diferentes taxones leñosos que identificamos, *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. son los que aparecen con mayor frecuencia en ambas secuencias antracológicas. Además, detectamos diferentes patrones de distribución espacial entre estos dos taxones, que sugieren una distribución distinta y recurrente en ciertas áreas específicas. Al relacionar los resultados con la presencia y cantidad de otros elementos del registro arqueológico, como los fragmentos de talla y los restos óseos, así como la disposición de algunos bloques, detectamos en planta (plano horizontal) una mayor concentración de estos elementos en las áreas donde la densidad de *Pinus* tipo *sylvestris* es mayor. Por el contrario, en las áreas donde la densidad de *Juniperus* sp. es mayor, se registra una menor concentración de restos arqueológicos. Se detecta una fuerte asociación espacial entre la densidad de ambos taxones leñosos y la acumulación de otros elementos arqueológicos, a pesar de que las áreas de actividad se determinaron

previamente mediante la identificación de acumulaciones de restos de talla y restos óseos en relación con la delimitación de los palimpsestos de los hogares (Bergadà, 1998; Vaquero, 2004; Mangado et al., 2014, 2015). Asimismo, los resultados del análisis espacial en sentido vertical (sección de los niveles) muestran que, de manera recurrente, los focos de densidad de los fragmentos de carbón de *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. no se encuentran próximos entre sí. Es importante tener en cuenta que los niveles arqueológicos son palimpsestos acumulativos, lo que significa que no es posible discernir la resolución temporal de la formación. Por ello, dado que los niveles arqueológicos son el resultado de múltiples actividades humanas superpuestas a lo largo del tiempo, resulta difícil caracterizar de qué manera se produjo la quema del combustible de cada taxón. Sin embargo, los resultados de los patrones de distribución espacial sugieren la posibilidad de eventos individuales de quema en los que se utilizó uno u otro taxón como combustible.

En segundo lugar, resulta relevante destacar que tanto en el yacimiento Molí del Salt como en Cova del Parco se detectan altas densidades de fragmentos de *Juniperus* sp. en localizaciones distantes de las paredes, especialmente concentradas en la zona del abrigo. Esta observación nos plantea la hipótesis de que la ubicación de los hogares para la quema de madera de *Juniperus* sp. pudo haber sido seleccionada intencionalmente. En este sentido, Kedar y colaboradores (2020, 2022) plantean que la densidad del humo generado por la combustión podría haber influido en la ubicación de los hogares en asentamientos paleolíticos en cueva y abrigo. Específicamente, los autores argumentan que la circulación del aire y una ventilación adecuada serían consideraciones importantes en la elección de la ubicación de los hogares. Aunque ni en Molí del Salt ni en Cova del Parco se han llevado a cabo trabajos experimentales sobre la circulación de aire o sobre las condiciones nocivas que pudieran producirse por el humo (p.ej., Fuente-Fernández, 2022), podemos cuestionarnos en este punto si las áreas más abiertas o alejadas de las paredes de la cueva y el abrigo podrían haber sido más adecuadas para disipar el humo generado por combustiones de *Juniperus* sp., y si éstas pudieran haber estado relacionadas con trabajos especializados como el ahumado de alimentos y pieles. En acuerdo

con esto, la quema de madera de *Juniperus* sp. es adecuada para ahumar y también para desinfectar espacios (Turner, 1988). Pudiendo apoyar esta hipótesis, Rufà (2017) documenta la casi exclusiva y recurrente representatividad de los lepóridos en el conjunto faunístico de Molí del Salt, en el que identifica al agente humano como principal acumulador. En este sentido, la obtención de pieles de los lepóridos es una actividad que se sugiere en el nivel A de Molí del Salt, aunque no se han documentado evidencias del ahumado (Allué et al., 2010; Luengo, 2017; Rufà y Vaquero, 2018). Asimismo, los resultados obtenidos en el estudio de los fitolitos realizado en Cova del Parco sugieren acumulaciones de hojas de plantas en un hogar localizado en la zona del abrigo, que permitió plantear que en esa área se llevarían a cabo actividades relacionadas con el procesamiento de alimentos y el ahumado (Albert et al., 1999).

En definitiva, los resultados obtenidos en ambos yacimientos sugieren plantearnos si las comunidades humanas que ocuparon Molí del Salt y Cova del Parco hicieron un uso selectivo de ciertos taxones vegetales para destinarlos a ciertas actividades que requirieran un tipo de combustible específico. En este punto, es posible cuestionarse si los resultados obtenidos en ambos yacimientos pueden explicarse por el uso selectivo de ciertos taxones, y que éstos serían utilizados como combustible de manera diferenciada en los hogares. En efecto, los datos sugieren la necesidad de profundizar en esta hipótesis para entender mejor las dinámicas de uso y explotación de los recursos leñosos por parte de las comunidades humanas cazadoras y recolectoras.

El uso de la leña como combustible ha sido una práctica común en diversas comunidades humanas a lo largo de la historia. En el caso del Paleolítico superior final y Epipaleolítico, el análisis de los contextos antracológicos ha brindado una comprensión más profunda de las actividades humanas en torno a los hogares y las estrategias de uso de la leña como combustible (Galobart et al., 1991; Mir y Freixas, 1993; Piqué, 1998, 2002; Allué et al., 2000, 2007a, 2010, 2012a, 2012b, 2013a; García-Argüelles et al., 2014, 2020; Alcolea, 2017; Piqué et al., 2022). Los fragmentos de carbón recuperados en los asentamientos arqueológicos, ya sea en cuevas, abrigos o al aire libre, son una evidencia clara del papel fundamental que desempeñó el fuego en la vida diaria de las comunidades humanas. A

lo largo de las décadas, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre el uso del fuego y su impacto en diferentes aspectos, cómo la influencia en la organización social del espacio (Galanidou, 2000; Vaquero y Pastó, 2001; Vallverdú et al., 2012; Shahack-Gross et al., 2014; Mallol y Henry, 2017), el desarrollo cognitivo (Roebroeks y Villa, 2011; Gowlett, 2016) y las prácticas tecnológicas (Lombardo et al., 2016; Courty, 2017; Aranguren et al., 2018; Halbrucker et al., 2021). Es innegable el papel que el fuego ha desempeñado en la subsistencia y en el desarrollo de la cultura humana, ya que ha proporcionado calor, luz, mejorado la higiene y la seguridad en los espacios, así como ha tenido un significado simbólico. Además, el fuego ha tenido la capacidad de alterar las características de ciertos materiales y ha sido esencial en la preparación de alimentos, entre otras utilidades y actividades indispensables (Pausas y Keeley, 2009; Barakai et al., 2017; De Lumley, 2017; Dibble et al., 2017; Burguet-Coca, 2020).

Como hemos detallado ampliamente a lo largo de esta tesis doctoral, los análisis sobre la distribución espacial de la cultura material aportan información relevante sobre la organización de las actividades humanas en un espacio de hábitat (Yellen, 1977; Binford, 1978, 1980, 1982, 1983, 1996; Vaquero y Pastó, 2001; Vallverdú et al., 2012; Vaquero et al., 2015; Clark et al., 2022a, 2022b; Gabucio et al., 2023, entre otros). Estos tipos de análisis son frecuentes en los restos líticos y faunísticos, mientras que resultan actualmente poco explorados en fragmentos de carbón (p. ej., Vidal-Matutano, 2017; Out et al., 2022). Así, destacamos que los estudios sobre patrones espaciales *intra-site* son importantes para entender cómo se gestionaba y utilizaba la leña, un recurso esencial para el uso del fuego. La gestión de la leña involucra una serie de actividades, como la selección, la recolección, el transporte y un almacenamiento adecuado (Allué et al., 2007b). Tal y como sugieren Allué y colaboradores (2017a), la capacidad de gestionar este recurso de manera eficaz habría sido crucial para la supervivencia de las comunidades humanas, especialmente en el contexto de cazadores-recolectores.

La selección cultural o funcional de los taxones leñosos utilizados como combustible ha sido objeto de discusión en la disciplina antracológica durante décadas (Chrzazvez et al., 2008; Allué et al., 2013c; Caruso y Piqué, 2014; Henry y Théry-Parisot, 2014; Théry-

Parisot et al., 2016; Allué y Mas, 2020; Vidal-Matutano, 2017). Algunos autores proponen que esta estrategia cubriría las necesidades energéticas para el desarrollo de actividades cotidianas y especializadas (Deforce and Haneca, 2012; Allué et al., 2017a; Poggiali et al., 2017; Piqué et al., 2018b; Carrión et al., 2021). En este sentido, Ll. Picornell-Gelabert (2020) observó que distintas culturas seminómadas actuales utilizan ciertas especies de árboles como combustible en las zonas de cocina, mientras que otras especies no se usan en la cocina, pero sí como combustible en otros espacios sociales. Asimismo, otros estudios han sugerido que las comunidades humanas tienen una preferencia por ciertos taxones leñosos en función de sus características, como por ejemplo el alto poder calorífico o una tasa rápida de crecimiento (p. ej., Alix, 2005, 2012; Dufraisse et al., 2022; Picornell-Gelabert et al., 2020), así como también por los que permitan, a la vez, el abastecimiento de alimentos (frutos y semillas) y bebida (McGovern et al., 2004; Morales-Molino et al., 2015; Altolaguirre et al., 2021). Dentro de la selección cultural o funcional de los taxones leñosos utilizados como combustible, también es importante tener en cuenta el estado de la madera (Théry-Parisot, 2001). Así, la selección de madera muerta o biodegradada, seca o verde puede estar relacionada con el tipo de actividad que se desarrollaría durante la utilización del combustible (Théry-Parisot et al., 2010, 2012, 2016; Vidal-Matutano et al., 2017). Por ejemplo, la madera seca puede ser más adecuada para encender rápidamente un fuego y mantenerlo durante un corto período de tiempo, mientras que la madera verde puede ser más adecuada para mantener un fuego durante un período de tiempo más largo (Théry-Parisot et al., 2012). Además, la madera muerta o biodegradada puede tener un poder calorífico diferente al de la madera viva, lo que también puede influir en la elección de la madera como combustible (Henry y Théry-Parisot, 2014; Vidal-Matutano et al., 2017). En definitiva, la selección de la madera como combustible es un tema complejo que puede estar influenciado por una variedad de factores culturales, por lo que consideramos importante tener en cuenta todos estos factores al interpretar los conjuntos antracológicos.

La selección de determinados taxones como recursos leñosos puede verse influenciada, también, por la disponibilidad local de los

mismos (Allué et al., 2007b, 2010, 2012a, 2013c). En el caso de *Pinus* tipo *sylvestris,* es un taxón recurrente y dominante en los conjuntos antracológicos recuperados en asentamientos en cuevas y abrigos. No obstante, es plausible que esté excesivamente representado debido a su capacidad para generar una considerable cantidad de biomasa muerta o semiseca, lo cual facilita su recolección (Allué et al., 2017a, 2018a; Allué y Mas, 2020; Alcolea et al., 2021). Por ejemplo, Alcolea y colaboradores (2021) encontraron que las estrategias de selección y uso de ramas muertas y de pequeño calibre de *Pinus* tipo *sylvestris* eran recurrentes en el registro mesolítico/neolítico de Esplugón (Villobas, Prepirineo central), y no encontraron diferencias significativas entre los recursos forestales leñosos seleccionados por los cazadores recolectores y los primeros agricultores. Esto, sugiere que este taxón estaría ampliamente disponible en la zona y sería utilizado por distintas comunidades humanas a lo largo del tiempo. Asimismo, la selección también puede verse influenciada por factores culturales que eviten la explotación de determinados taxones, aunque estén disponibles en el entorno (Henry y Théry-Parisot, 2014). Basándonos en estas observaciones, resulta relevante destacar que en los conjuntos antracológicos de Molí del Salt y Cova del Parco no se han identificado taxones leñosos asociados a áreas ribereñas, a pesar de la cercanía de ambos asentamientos a cursos fluviales. Sin embargo, en el caso específico de Cova del Parco, se ha interpretado que los gasterópodos fluviales recuperados podrían haber sido recolectados en las inmediaciones del asentamiento (Tejero et al., 2008). Por otro lado, en el caso de Molí del Salt, no se ha documentado la explotación de recursos fluviales de ningún tipo (Vaquero, 2004; Allué et al., 2010). Estas diferencias en la explotación de recursos fluviales entre ambos yacimientos nos generan interrogantes sobre las estrategias de subsistencia y adaptación de las comunidades humanas en estas áreas. Así, la falta de evidencia de la utilización de recursos leñosos provenientes de los ríos en estos asentamientos sugiere la influencia de diversos factores, como la limitada disponibilidad de recursos leñosos fluviales o la preferencia por otros recursos leñosos en función de las necesidades energéticas o preferencias específicas de estas comunidades.

La interpretación antracológica sugiere, pues, que en los distintos contextos

generados por ocupaciones humanas cazadoras-recolectoras, la recolección de leña para combustible sería una estrategia influenciada por una combinación de factores, incluyendo la disponibilidad en el entorno inmediato al asentamiento, las preferencias culturales y las consideraciones funcionales, así como el tiempo de ocupación de un sitio y la complejidad o grado de organización del grupo (como su nivel de movilidad). Igualmente, la abundancia y presencia de los taxones en los conjuntos antracológicos debe entenderse como un uso selectivo de los taxones más favorecidos por las comunidades humanas.

Finalmente, y a modo de conclusión, la investigación sobre el combustible vegetal leñoso puede proporcionar información valiosa sobre la disponibilidad y distribución de especies de plantas leñosas en el pasado (Chabal y Heinz, 2021). A pesar de que la reconstrucción de la disponibilidad y el uso de taxones puede presentar ciertas limitaciones debido al sesgo de los datos disponibles, no se puede subestimar su papel en la comprensión de cómo las comunidades humanas aprovechaban los recursos leñosos. Los resultados de los análisis de distribución espacial del material arqueológico, como restos de fauna o de industria lítica, aportan información para comprender las actividades que se llevaban a cabo alrededor del fuego. No obstante, el análisis espacial de los taxones vegetales leñosos que se usaron como combustible permite mejorar la identificación de diferentes áreas de actividad en los asentamientos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados se han obtenido en dos yacimientos arqueológicos que fueron usados como asentamientos por distintas comunidades humanas cazadoras y recolectoras, en distintos episodios de ocupación. Por lo tanto, consideramos necesarios más casos de estudio que identifiquen estas pautas de comportamiento entorno a la selección y uso del combustible en el contexto de grupos cazadores-recolectores, y explorar más a fondo la relación entre la utilización de diferentes combustibles y la organización funcional de los hogares.

9.2 El rol de los factores climáticos, geográficos y antrópicos en la transformación y distribución de los paleopaisajes

9.2.1. Factores medioambientales

En los trabajos realizados sobre los conjuntos antracológicos de Molí del Salt (Mas et al., 2021) y Cova del Parco (Capítulo VI), hemos presentado unas discusiones amplias sobre cómo los cambios climáticos producidos durante la transición del último estadio glacial (GS2a) (ca. 16 mil años BP) hasta inicios del Holoceno temprano (ca. 11.7 mil años BP). Estos cambios habrían afectado a la distribución de las distintas formaciones vegetales en la zona de estudio. Así, se observa que la dinámica de transformación de la vegetación se vería influenciada por factores climáticos, especialmente por la incidencia de la aridez y el régimen de precipitaciones, que incidieron de manera desigual en las áreas locales de Molí del Salt (sur del valle del Ebro) y Cova del Parco (Prepirineo). La variabilidad espacial de los factores climáticos y también la diversa orografía pudieron conllevar que el bosque de coníferas, que anteriormente estaba ampliamente distribuido en el área de estudio (Allué et al., 2018a), retrocediese significativamente. En cambio, otros tipos de bosques y paisajes submediterráneos y algunas formaciones arbustivas meso-termófilas habrían experimentado una distribución desigual en el área de estudio.

La investigación presentada en el Capítulo VIII de esta tesis doctoral, ha permitido identificar qué variables bioclimáticas son, actualmente, relevantes para la presencia de formaciones submediterráneas de robledales y encinares en la península ibérica, resultados que han sido proyectados al escenario climático del Holoceno medio (8,2-4,2 mil años BP) (Mas et al., 2023). Este escenario se ha utilizado para representar la misma serie de datos bioclimáticos con valores modelados y estimados (Hijmans et al., 2005) para el noreste de la península ibérica. Ello, nos ha ofrecido una mejor comprensión de cómo podrían haberse distribuido ambos bosques durante este período, y nos ha permitido localizar las zonas dónde ocurrirían las condiciones climáticas que les son más favorables.

Los resultados muestran que la estacionalidad de la temperatura (bio

4), medida que indica la variabilidad de temperatura a lo largo del año, es la variable bioclimática más importante o explicativa en la modelación de los hábitats adecuados para ambas especies. Los valores de las curvas de respuesta marginal para esta variable indican que el roble pubescente se distribuye en valores más altos que la encina, lo que sugiere que podría estar mejor adaptado a la variación de la temperatura estacional que la encina, que requeriría temperaturas relativamente constantes a lo largo del año. Asimismo, observamos distintas respuestas de ambas especies a los factores relacionados con temperatura y precipitación trimestrales. En cuanto a la temperatura media del trimestre más seco (bio9), el roble pubescente se distribuye en un rango de valores más bajos de la curva de respuesta marginal, lo que sugiere que requiere de un clima más frío durante el mes más seco en comparación con la encina, que se distribuye en rangos de temperaturas más elevados. Por otro lado, la distribución de ambas especies en las curvas marginales de las variables con datos sobre los regímenes de precipitación durante el trimestre más frío (bio19) y durante el mes más húmedo (bio13) indican que el roble requiere valores más altos de humedad que la encina en ambos casos. No obstante, aunque detectamos una diferencia entre los valores máximos y mínimos en la respuesta de ambas especies en la variable bio13, los rangos resultan similares.

Estos resultados detectados en ambos ENM son coincidentes con las características ecológicas conocidas de ambos árboles, lo que sugiere su validez y utilidad para comprender mejor las respuestas de robles y encinas a los cambios ambientales. Asimismo, el roble pubescente puede soportar condiciones de aridez moderada y tiene la capacidad de adaptarse y colonizar distintos tipos de hábitat (Torre et al., 2014; Rellstab et al., 2016). Además, ciertas características biológicas limitan su capacidad de prosperar en hábitats muy cálidos (Kijowska-Oberc et al., 2020) y requiere condiciones de sequía poco frecuentes (San-Miguel-Ayanz et al., 2016). Por otro lado, ciertas características biológicas de la encina le permiten soportar períodos de sequía más duraderos (Früchtenicht et al., 2018), aunque resulta vulnerable al estrés hídrico (San-Miguel-Ayanz et al., 2016).

Asimismo, los resultados obtenidos han detectado que la altitud no ha tenido un papel significativo en la distribución de las

especies estudiadas en ninguno de los modelos. Es posible que esto se deba a la amplia distribución geográfica de estas especies, las cuales se desarrollan en altitudes muy variables. A pesar de que la altitud y la pendiente no han mostrado influencia en la contribución de los modelos, es importante tener en cuenta que la temperatura, la humedad y la precipitación son factores ambientales que varían con la altitud (Tang y Ohsawa, 1997; Paulsen y Körner, 2014). Asimismo, la meridionalidad y la proximidad al mar son factores ambientales que pueden tener un impacto significativo en las condiciones climáticas y ambientales de una región y, por lo tanto, pueden influir en la distribución de la vegetación (Ros, 1996; Allué et al., 2009a; 2017b).

Frente al cambio climático, la vegetación se desplaza a áreas más favorables (Carrión et al., 2010b; Uzquiano et al., 2016; Bhadra et al., 2022), modifica su fenotipo a través de su plasticidad (Jiménez et al., 2004; Valladares et al., 2014) o se ajusta a las nuevas condiciones ecológicas a partir de la diversidad genética presente (Vaz et al., 2010). Los factores de temperatura y precipitación estacional son más cambiantes y variables en comparación con las características orográficas, puesto que pueden variar en un período relativamente corto de tiempo, lo que puede afectar el éxito reproductivo y la supervivencia de la vegetación en un área determinada.

Los resultados obtenidos en las proyecciones de ambos ENM al escenario climático del Holoceno medio permiten discutir acerca de la posible distribución de estas especies en un clima diferente al actual, brindando una mejor comprensión de cómo estas especies podrían haber respondido la variabilidad climática del pasado (Figura 9.2.).

Diferentes métodos de reconstrucción de las precipitaciones muestran patrones de humedad máxima superior a los actuales (Ilvonen et al., 2022), que favorecerían un clima más suave y húmedo que en la actualidad, especialmente en la región sur de la península ibérica. Es relevante destacar que las precipitaciones podrían haberse distribuido de manera más uniforme a lo largo del año, sin una marcada estacionalidad como la que se observa actualmente en la zona de influencia mediterránea. Además, durante este período, se observa la aparición de especies vegetales que podrían estar mejor adaptadas a las nuevas condiciones climáticas más suaves

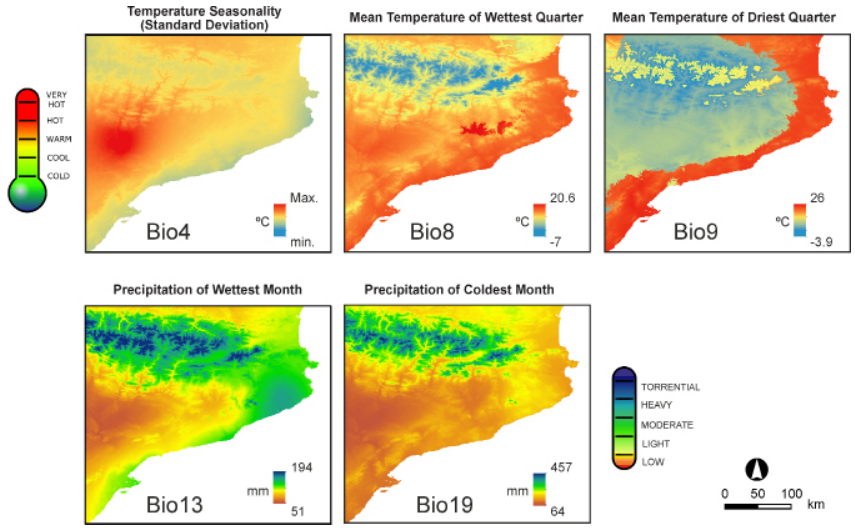


Figura 9.2. Biovariables más influyentes durante el Holoceno medio en el noreste de la península ibérica (Fick y Hijmans, 2017).

y húmedas (Piqué et al., 2021; Revelles et al., 2022), así como una disminución de las especies dominantes anteriores, adaptadas a condiciones climáticas más frías, como los bosques de coníferas (Allué et al., 2018a).

En este contexto, es importante destacar la necesidad de seguir desarrollando nuevos métodos y proxis para una mejor comprensión de los escenarios climáticos y ambientales del pasado. Esto se debe a que, aunque los estudios antracológicos son valiosos para interpretar las características ecológicas y ambientales de las comunidades vegetales del pasado, todavía se generan debates en torno a su interpretación climática y ambiental (Pescini et al 2018). De manera general, la interpretación climática de los estudios antracológicos se basa en las características ecológicas y ambientales de la comunidad vegetal identificada. Asimismo, para obtener una comprensión más completa del escenario climático y ambiental, es común recurrir a diferentes proxis paleoclimáticos y paleoambientales. Por ejemplo, des de un punto de vista local y en caso de que estén disponibles, suelen relacionarse datos polínicos de sedimentos arqueológicos, lacustres y turbosos (p. ej., Jalut, 1997, 2000, 2009; Cabanes et al., 2009; Pérez-Obiol et al., 2011; Revelles et al., 2022), así como datos sobre isotopos estables de oxígeno δ18O y carbono δ13C de plantas y fragmentos de carbón (Euba et al., 2016; Daux et al., 2018; Dufraisse et al., 2022), datos sedimentológicos en la geomorfología de los yacimientos (Bergadà et al., 1992, 1999, 2018) y datos

sobre la asociación de microvertebrados de las secuencias estratigráficas de los yacimientos (Oms et al., 2009b; López-García et al., 2010, 2012), entre otros proxis. Des de un punto de vista regional, es común recurrir a los datos y curvas climáticas procedentes de los sondeos glaciales y marinos (Cacho et al., 2006; Lowe et al., 2008; Rasmussen et al., 2014). Es importante tener en cuenta, pues, que las comunidades vegetales son dinámicas y evolucionan constantemente en respuesta a los cambios en el ambiente. Por lo tanto, es necesario considerar las características específicas de cada especie al analizar su distribución geográfica. Además, resulta fundamental estudiar el impacto climático a nivel local, ya que esto nos permite comprender cómo los ecosistemas particulares pudieron verse afectados.

9.2.2. La movilidad de las primeras comunidades pastoriles

El Capítulo VII sobre Cova Colomera destaca la relevancia de la alimentación del ganado y el uso de la madera destinada a actividades emergentes de pastoreo y mantenimiento de pequeños rebaños en el Prepirineo Central. La secuencia antracológica obtenida no muestra impactos evidentes causados por las actividades humanas en la transformación del paisaje vegetal, en un período discontinuo desde el Neolítico antiguo hasta el Bronce medio (7.100-3.400 mil años cal BP). La baja intensidad y/o corta duración de las ocupaciones, que se estiman estacionales durante la primavera y el otoño, sugiere que Cova Colomera sería un asentamiento transitorio utilizado durante los desplazamientos de los rebaños, lo que sugiere que la explotación de recursos sería una actividad puntual sobre el paisaje (Martín y Oms, 2021).

Así, los resultados antracológicos obtenidos en Cova Colomera indican una explotación de los recursos forestales basada, principalmente, en la obtención de madera de *Quercus* sp. caducifolios y *Buxus sempervirens*. En relación con *Buxus sempervirens*, puede desarrollarse como una formación dominante en algunas localizaciones templadas del Mediterráneo, como los bojedales, pero su presencia en robledales submediterráneos puede ser un indicador de áreas degradadas o antropizadas por la actividad humana, dada su capacidad colonizadora (Panareda, 2008; Carreras et al., 2015; Pascual, 2015). En base a esto, algunas prácticas de gestión

de bosques, como la limpieza mediante incendios intencionales, han sido sugeridas en comunidades humanas del Neolítico para promover la regeneración de pastos más jóvenes y la obtención de nuevos espacios (Reille y Pons, 1992; Riera y Esteban, 1994; Burjachs y Riera, 1996; Riera, 1996; Riera et al., 2007; Woodbridge et al., 2018; Revelles et al., 2015; Marinova y Ntinou, 2018). Además, la presencia de arbustos colonizadores en registros antracológicos también podría indicar una estrategia de gestión para mantener los claros en los bosques abiertos (Mas y Allué, 2020; Piqué et al., 2021). Sin embargo, en el caso de Cova Colomera, es difícil determinar si las actividades humanas tuvieron un efecto significativo en la transformación del paisaje local, ya que la secuencia antracológica sugiere cierta homogeneidad en las frecuencias relativas de *Quercus* sp. caducifolio, *Buxus sempervirens* y, presumiblemente de menor uniformidad, *Pinus* tipo *sylvestris*.

La relación entre la movilidad de las comunidades humanas y la explotación de un territorio como área de captación de madera ha sido ampliamente discutida en la literatura académica (Badal y Heinz, 1991; Allué et al., 2007a; Henry et al., 2009; Henry y Théry-Parisot, 2014; Vidal-Matutano y Pardo-Gordó, 2020). En general, podríamos considerar que una mayor movilidad de las comunidades humanas pastoriles les permitiría acceder a una mayor variedad de recursos y evitar la sobreexplotación en un área localizada. No obstante, evaluar el impacto de la movilidad de los rebaños sobre el paisaje no debe limitarse únicamente al estudio de la explotación forestal, pues también se generaría presión sobre la vegetación herbácea y podría generar erosión del suelo en las zonas de actividades de pastoreo intensivas (Tipping et al., 2009; Depaermentier et al., 2020; Kempf, 2020). Por tanto, resulta fundamental tener en cuenta varios factores al evaluar el impacto de las actividades pastoriles de estas comunidades sobre los paisajes locales (Cano-Cano et al., 2022). Asimismo, el tamaño de los rebaños también sería un factor importante que considerar, ya que un mayor número de animales implicaría una mayor presión sobre los paisajes y, en consecuencia, una transformación del paisaje local. En este sentido, la aplicación de técnicas dendroantracológicas en los fragmentos de carbón podría proporcionar información sobre la explotación selectiva o no de los

recursos forestales y sobre los patrones de regeneración de la vegetación (Alcolea et al., 2021; Dufraisse et al., 2022).

En el área de estudio, el conocimiento actual sobre las posibles rutas de pastoreo en zonas montañosas y la movilidad de estas comunidades del Neolítico y de la Edad del Bronce es limitado. Sin embargo, se han sugerido posibles rutas regionales al norte de los Pirineos (Delhon et al., 2023) y rutas estacionales entre el valle del Ebro y las altitudes elevadas del Pirineo Central (Tornero et al., 2018). En la zona del Prepirineo y cercanos a Cova Colomera, se han encontrado evidencias de actividades relacionadas con la gestión de rebaños ovicaprinos en los yacimientos Cova del Parco (Petit, 1996) y Cova Gran de Santa Linya (Polo-Díaz et al., 2014; Burguet-Coca et al., 2020), así como Cova del Sardo, localizado a mayor altitud (Gassiot et al., 2021; Obea et al., 2021). De entre estos yacimientos, Cova Gran de Santa Linya destaca por la interpretación de los niveles de estabulación que sugieren que este abrigo habría sido utilizado para el resguardo de grandes rebaños (Polo-Díaz et al., 2014). Además, se plantea la hipótesis de que el abrigo habría tenido un papel vertebrador en la organización de una red de movimientos pastoriles a nivel regional. Asimismo, en zonas de fondo de valle y en el litoral, Can Sadurní (Edo et al., 2011), Cova de la Guineu, así como Cova del Frare y Cova del Vidre (Bergadà, 1997), también han aportado evidencias de estabulación de rebaños. Sin embargo, las ocupaciones humanas en los yacimientos del área de estudio no son continuas y su conexión resulta difícil de interpretar, lo que complica la comprensión del papel que jugaron en la organización de la red de movimientos poblacionales y pastoriles a nivel regional (Oms et al., 2013, 2014, 2015; Oms, 2017; Oms y Martín, 2018; Gassiot et al., 2021; Terradas et al., 2021). Por tanto, vemos necesario seguir investigando para obtener una imagen más completa de cómo estas comunidades humanas del Neolítico hasta la Edad del Bronce interactuaron con el paisaje y los recursos forestales, y cómo la movilidad y las estrategias de pastoreo pudieron influir en la transformación de los paisajes.

9.2.3 Paisajes vegetales y áreas de captación de madera durante el Neolítico

En el Capítulo VIII, se ha realizado una presentación de resultados sobre la detección de cinco tipos de formaciones vegetales que podrían haber existido en el noreste de la península ibérica y en el Pirineo andorrano, donde incluimos el nivel C3b de Balma Margineda (Heinz y Vernet, 1995) y la unidad FS29 Camp del Colomer (Piqué et al., 2015b), ambos adscritos al período del Neolítico antiguo. La agrupación de yacimientos que hemos presentado se obtuvo mediante el análisis de las frecuencias relativas de 54 taxones vegetales leñosos identificados en los conjuntos antracológicos del Neolítico antiguo-medio y final-Calcolítico. Nuestros resultados mostraron que el roble explicaría el 42,4% y la encina el 17,7% de los conjuntos antracológicos del Neolítico antiguo y medio, mientras que, para el Neolítico final-Calcolítico, ambos taxones explicarían el 47,1% y el 28%, respectivamente (ver Figura 8.6, Capítulo VIII).

La síntesis de datos antracológicos del período Neolítico sugiere que *Quercus* sp. caducifolio y otros taxones acompañantes, como boj (*Buxus sempervirens*) y arce *(Acer* sp.), así como el tejo (*Taxus baccata*) en zonas de mayor altitud, serían el conjunto de taxones leñosos más seleccionados para obtener madera (Piqué et al., 2015b, 2022; Uzquiano et al., 2015; Mas et al., 2022, 2023). Asimismo, los taxones termófilos, especialmente *Quercus* sp. perennifolio y aladiernos/labiérnagos (*Rhamnus alaternus*/ *Phillyrea*), y formaciones de maquia (p.ej., *Olea europaea, Pistacia lentiscus*) se seleccionarían con más frecuencia en yacimientos cercanos a las cordilleras litorales o zonas costeras (Ros, 1996, entre otros). En relación con las formaciones arbustivas, estas estarían más representadas en los asentamientos al aire libre, en comparación con las identificadas en cuevas y abrigos (Allué, 2002). Por otro lado, en zonas montañosas continuaría la selección de las maderas de pino montano (*Pinus* tipo *sylvestris*) y de enebro (*Juniperus* sp.) en algunos casos (Gassiot et al., 2015; Alcolea, 2017; Obea et al., 2021). Si bien los conjuntos antracológicos permiten identificar los taxones leñosos que fueron consumidos por las distintas culturas humanas, el modelado del hábitat adecuado de las especies leñosas dominantes en algunas formaciones boscosas

permite inferir las áreas adecuadas en las que se podría haber recolectado la madera durante el Holoceno medio (8.200-4.200 años cal BP).

En el desarrollo de nuestra investigación, hemos detectado que existen ciertos taxones que son clave para diferenciar las comunidades vegetales reflejadas en los conjuntos antracológicos. En concreto, las frecuencias relativas de los taxones *Quercus* sp. caducifolio, *Buxus sempervirens*, *Quercus* sp. perennifolio, *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. suelen representar entre el 50% y el 95% de los conjuntos, tal como se muestra en la Tabla 9.1. Por consiguiente, consideramos que estos cinco taxones podrían ofrecer información sobre cómo podrían estar configurados los estratos arbóreos y arbustivos dominantes de las áreas de captación de madera en el noreste de la península ibérica. Sin embargo, es importante señalar que la presencia o ausencia de estos taxones debe interpretarse en el contexto de la selección humana (Chabal, 1992, 1997).

La siguiente figura (Figura 9.3) muestra la agrupación de los yacimientos arqueológicos del Neolítico según los cinco taxones vegetales leñosos más relevantes de los conjuntos antracológicos. En esta clasificación, pueden distinguirse cuatro agrupaciones principales, que se presentan en la siguiente tabla (ver Tabla 9.1).

Se observa que los yacimientos del **grupo 1** presentan una clara preferencia por la selección de madera coníferas. En particular, dr destaca el consumo de madera de *Pinus* tipo *sylvestris* y arbustos, especialmente boj (*Buxus sempervirens*), en los yacimientos Cova del Vidre, Coves del Fem y Cova del Sardo. La agrupación de los datos antracológicos de estos tres yacimientos, en cueva y abrigo, es coherente con las características de las zonas en las que se ubican, ya que se encuentran en zonas montañosas y en altitudes superiores a los 1.000 msnm (Gassiot et al., 2015; Alcolea, 2017, Obea et al., 2021). En relación con nuestros modelos, estos tres yacimientos se situarían en hábitats no adecuados para el encinar, y únicamente Cova del Vidre y Coves del Fem se localizarían en hábitats poco adecuados para el robledal (Figura 9.4 y Figura 9.5). Por tanto, es plausible deducir que la predilección por la utilización de madera de coníferas y arbustos se relacione con la disponibilidad de estos recursos en las zonas montañosas, en las que las formaciones de

Tabla 9.1. Recopilación de las frecuencias relativas de los taxones *Buxus sempervirens*, *Juniperus* sp., *Pinus* tipo *sylvestris*, *Quercus* sp. perennifolio y caducifolio, con la clasificación de los yacimientos arqueológicos en los grupos generados. A. period: período arqueológico. En la columna Total % se resaltan en negrita los conjuntos antracológicos en los que los cinco taxones no representan más del 50% del conjunto antracológico.

						Relative frequencies						
Id	**Cluster**	**Sites**	**A.period**	**Aspect**	**Location**	***B. sempervirens***	***Juniperus* sp.**	***P. sylvestris* type**	***Q.* sp. evergreen**	***Q.* sp. deciduous**	**Total %**	**Reference**
22	1	Cove del Vidre	EN	Cave	S. Ebro valley	12.3	2.4	29.5	0.7	6.8	51.70	Alcolea, 2017
16	1	Coves del Fem	EN	Cave	S. Ebro valley	0	6	76	2	3.5	87.50	Alcolea, 2017
18a	1	Cova del Sardo	EN	Rock shelter	Central Pyrenees	0	7	39	0	2.2	**48.20**	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
18b	1	Cova del Sardo	LN	Rock shelter	Central Pyrenees	0	5	30	0	2	**37.00**	Gassiot et al., 2015; Obea et al., 2021
17	2	Auvelles	EN-MN	Rock shelter	Prepyrenees	0	0	0.3	37.8	56.8	94.90	Martín and Piqué, 2008; Martín-Seijo, in press
21	2	Barranc d'en Fabra	EN	Open air	S. Ebro valley	0	2.1	0	25.7	0	**27.80**	Bosch et al., 1996; Ros, 1996
1	2	Ca n'Isach	MN	Open air	North and inner	0	0	0	33.4	0	**33.40**	Ros, 1996; Tarrús et al., 2016
12	2	Can Sadurni	EN	Cave	Anoia-Llobregat basins	0	1.5	0	22.9	34.1	58.50	Antolín et al., 2013; Edo and Antolín, 2016
15b	2	Cova de la Guineu	LN	Cave	Anoia-Llobregat basins	0	0.2	0	20.6	35.6	56.40	Allué et al., 2009
13	2	Santa Maria dels Horts	LN	Open air	Anoia-Llobregat basins	0	0	0	34.8	23.9	58.70	Senabre and Socias, 1993
15a	3	Cova de la Guineu	EN	Cave	Anoia-Llobregat basins	0	0	0.8	7.11	46.56	54.47	Allué et al., 2009
10	3	Cova del Frare	EN	Cave	North and inner	1	3.9	0	4.8	47.6	57.30	Martín et al., 1981; Ros, 1996
3a	3	Cova d'en Pau IV	EN	Cave	North and inner	14.3	0	0	1.2	61.6	77.10	Tarrús and Bosch, 1990
3b	3	Cova d'en Pau IV	LN	Cave	North and inner	7.69	0	0	0	53.85	61.54	Tarrús and Bosch, 1990
2	3	La Draga	EN	Open air	North and inner	18.4	0	0.04	0	47.6	66.04	Caruso and Piqué, 2014
5b	3	Bauma del Serrat del Pont	LN	Rock shelter	North and inner	17.4	0.3	0	6.5	44.2	68.40	Alcalde et al., 2002; Piqué, 2005
6	3	Plansallosa	EN	Open air	Prepyrenees	10.5	0	0.3	8.7	70.3	89.80	Ros, 1995a; Piqué, 2005
11	4	Cova Bonica	EN	Cave	Anoia-Llobregat basins	0.3	6.9	11.7	6.9	14.2	**40.00**	Daura et al., 2019
4b	4	Cova 120	LN	Cave	North and inner	12.6	7.6	10.4	8.1	21.8	60.50	Alcalde et al., 1989; Piqué, 2005
4a	4	Cova 120	EN	Cave	North and inner	4.8	27.1	9.2	4.3	15	60.40	Alcalde et al., 1989; Piqué, 2005
19a	4	Cova Colomera	EN	Cave	Prepyrenees	34.98	9.42	13.68	2.75	22.03	82.86	Mas et al., 2022
19b	4	Cova Colomera	LN	Cave	Prepyrenees	26.87	6.72	11.44	1.37	25.17	71.57	Mas et al., 2022
7	4	Cova de l'Avellaner	EN	Cave	North and inner	35.2	0	0	4.9	22.1	62.20	Ros, 1996
9	4	Cova del Toll	EN	Cave	North and inner	39.6	0	0	1.5	22.3	63.40	Mas and Allué, 2020
5a	4	Bauma del Serrat del Pont	EN	Rock shelter	North and inner	28.9	0	0	8.9	40	77.80	Alcalde et al., 2002; Piqué, 2005
8	4	La Prunera	LN	Open air	North and inner	46	0.4	0.2	2.7	26.4	75.70	Piqué, 2005
14	outlayer	La Serreta	EN	Open air	Anoia-Llobregat basins	0	0	0	9.4	5.4	**14.80**	Allué, 2010; Oms et al., 2014
20	outlayer	Roques del Sarró	LN	Open air	North and inner	0	0	0	13.1	0	**13.10**	Equip-Sarró, 2000; Vila and Piqué, 2012

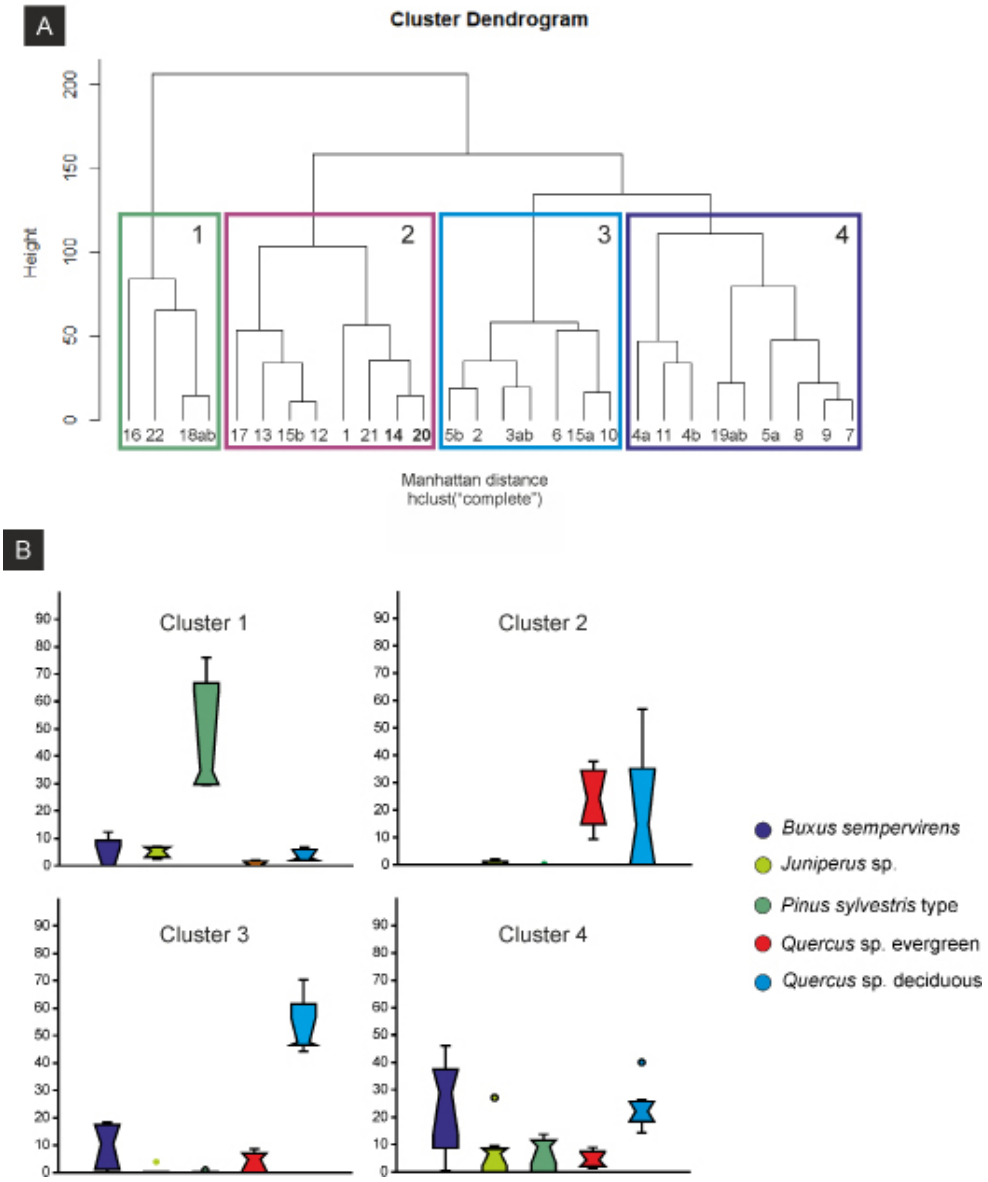


Figura 9.3. A: Dendrograma generado utilizando el método de distancia Manhattan, que muestra cuatro grupos principales de yacimientos y niveles arqueológicos que han sido agrupados a partir de las frecuencias relativas de los principales taxones leñosos presentes en los registros antracológicos (*Buxus sempervirens*, *Juniperus* sp. *Pinus* tipo *sylvestris* y *Quercus* caducifolios y perennifolios). Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3a) Cova d'en Pau IV; 4a) Cova 120; 5a) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15a) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18a) Cova del Sardo; 19a) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) **La Serreta**. Neolítico final: 3b) Cova d'en Pau IV; 4b) Cova 120; 5b) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15b) Cova de la Guineu; 18b) Cova del Sardo; 19b) Cova Colomera; **20) Roques del Sarró**. En negrita se marcan los yacimientos que hemos considerado atípicos. B) Distribución de los datos según los grupos generados por el dendrograma.

robledales y encinares no se desarrollarían en el área local de los asentamientos.

En contraste con los yacimientos del grupo 1, los yacimientos arqueológicos que conforman el grupo 2, como Can Sadurní, Ca n'Isach,

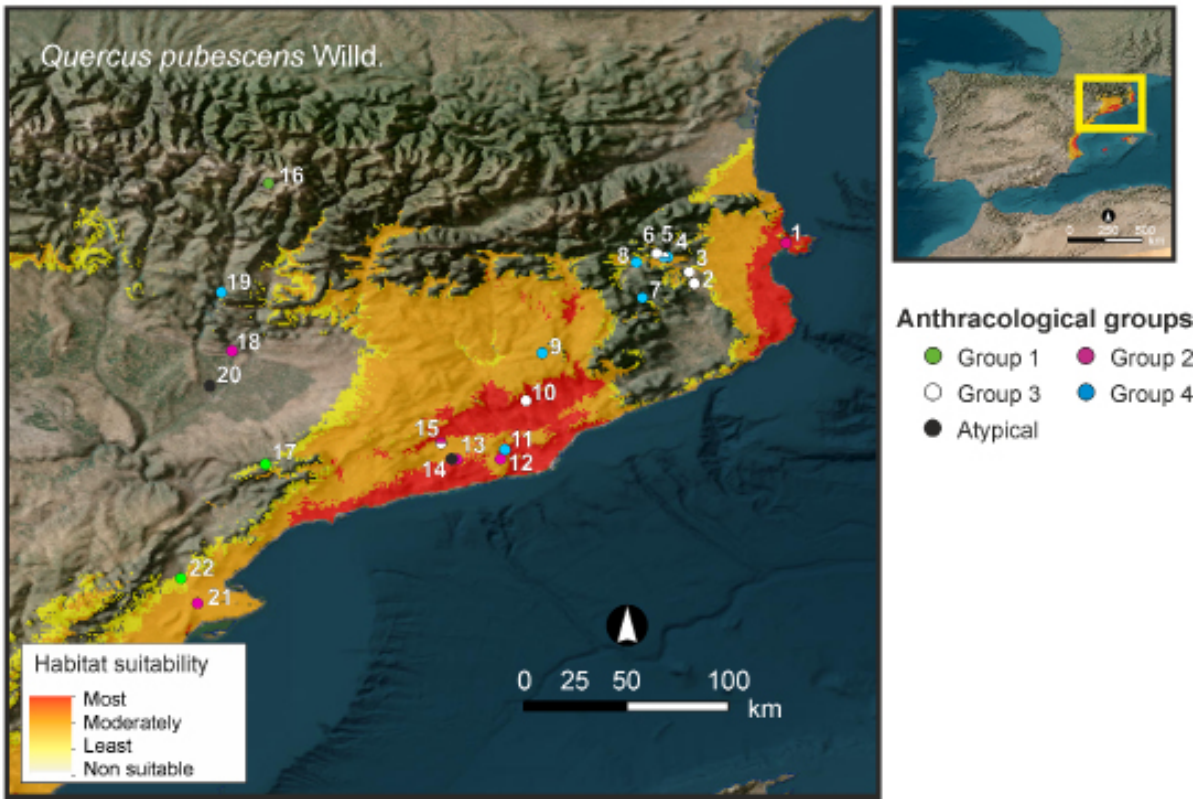


Figura 9.4. Distribución del hábitat adecuado para la especie *Quercus pubescens* Willd, proyectado al escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la península ibérica, con relación a la localización de los yacimientos con ocupaciones humanas durante el Neolítico, los cuales cuentan con datos antracológicos. Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) La Serreta. Neolítico final: 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15) Cova de la Guineu; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 20) Roques del Sarró.

Cova de la Guineu, La Serreta y Santa Maria dels Horts, se encuentran en hábitats que varían entre moderados y altamente adecuados para la presencia de formaciones de robledal y encinar (ver Figura 9.4 y Figura 9.5). Así, las comunidades humanas que se asentaron en estos yacimientos podrían haber hecho uso de una variedad de recursos forestales, tal como se interpreta en los datos antracológicos (Senabre y Socias, 1993; Ros, 1996; Allué et al., 2009a; Allué, 2010; Antolín et al., 2013; Edo y Antolín, 2016; Tarrús et al., 2016). A pesar de esta tendencia, existen excepciones como los yacimientos Auvelles y Roques del Sarró, yacimientos que se localizarían en zonas no adecuadas para ambas formaciones, y Barranc d'en Fabra se localizaría en una zona que no sería adecuada para el encinar.

En el caso de Auvelles, el 90% del conjunto antracológico corresponde a *Quercus*

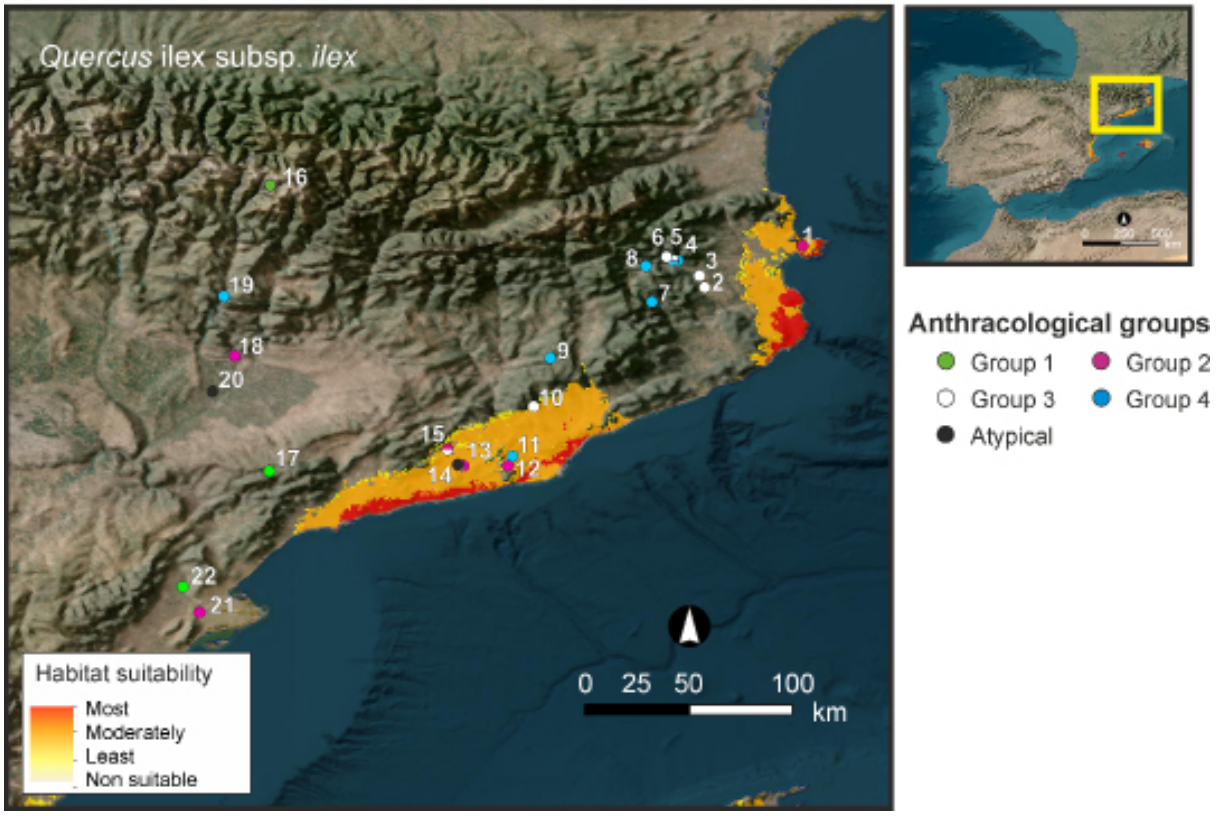


Figura 9.5. Distribución del hábitat adecuado para la especie *Quercus ilex* subsp. *ilex* proyectado al escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la península ibérica, con relación a la localización de los yacimientos con ocupaciones humanas durante el Neolítico, los cuales cuentan con datos antracológicos. Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) La Serreta. Neolítico final: 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15) Cova de la Guineu; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 20) Roques del Sarró.

sp. caducifolios y perennifolios, lo que sugiere un paisaje de bosque mixto de robles y encinas (Martín-Seijo y Piqué, 2008; Martín-Seijo, en prensa). En Roques del Sarró, el lentisco (*Pistacia lentiscus*) sería el taxon más consumido, seguido por *Quercus* sp. perennifolio, rosáceas y romero (*Salvia rosmarinus,* antes *Rosmarinus officinalis*), lo que ha sugerido que la zona explotada constaría de una formación abierta de arbustos y matorrales esclerófilos (Equip-Sarró, 2000; Vila y Piqué, 2012). En Barranc d'en Fabra, el registro antracológico sugiere la explotación preferencial de *Quercus* sp. perennifolio, pino mediterráneo (*Pinus halepensis/pinaster*) y matorrales, como lentiscos (*Pistacia lentiscus*) y acebuches (*Olea europaea*), y otros taxones que serían propios de las formaciones de maquias y bosques

litorales (Ros, 1996). Finalmente, en el **grupo 3**, el área de captación de estos yacimientos podría corresponderse con formaciones de robledal abierto o degradado (roble y boj) y formaciones secundarias de bosque mixto (roble y encinar), como sugieren los datos antracológicos (Tarrús y Bosch, 1990; Ros, 1995a, 1996; Piqué, 2005; Allué et al., 2009a; Caruso y Piqué, 2014; Piqué, 2005). Los datos antracológicos del **grupo 4** reflejan valores más altos de *Quercus* sp. caducifolios y de los taxones arbustivos termófilos, especialmente *Buxus sempervirens*, respecto al anterior grupo (Alcalde et al., 1989, 2002; Ros, 1996; Piqué, 2005; Daura et al., 2019; Mas y Allué, 2020). Asimismo, la selección de madera de *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. también se observa destacable en algunos de estos yacimientos, como Cova Bonica, Cova 120 y Cova Colomera (Piqué, 2005; Daura et al., 2019; Mas et al., 2022). Es interesante observar que la mayoría de los yacimientos pertenecientes a los grupos 3 y 4 se localizarían en hábitats no adecuados para el encinar, y que el taxón *Quercus* sp. perennifolio no está representado o no supera el 9% en los conjuntos antracológicos. En contraste, las frecuencias relativas de *Quercus* sp. caducifolios son altas y se localizan en hábitats que serían de poco a moderadamente para el robledal. Como excepción a esta generalidad, únicamente los yacimientos Cova del Frare, Cova Bonica y Cova de la Guineu se localizarían en zonas donde el hábitat sería poco adecuado para el encinar. En este sentido, en los tres yacimientos se han identificado las frecuencias relativas más altas de *Quercus* sp. perennifolio (de entre 4,8 y 8,1%) en comparación con el resto de los yacimientos agrupados. Asimismo, *Quercus* sp. caducifolio representa frecuencias alrededor del 40%, aunque Cova Bonica sería una excepción. En este yacimiento, la explotación de la madera de *Arbutus unedo*, *Quercus* sp. caducifolio y perennifolio y *Pinus halepensis* no supera el 20% de las frecuencias relativas del conjunto (Daura et al., 2017).

En este punto, vemos posible cuestionar si los *Quercus* esclerófilos mediterráneos identificados pudieran corresponder a otros tipos de formaciones. En la zona de estudio, *Quercus ilex* se divide actualmente en dos subespecies: *Quercus ilex* subsp. *ilex*, la encina modelada, y *Quercus ilex* subsp. *ballota* (=*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), la carrasca (Vericat et al., 2011). Asimismo, los encinares y carrascales

tienen distribuciones geográficas distintas en el noreste de la península ibérica. Los encinares suelen desarrollarse en zonas con condiciones climáticas sub-mediterráneas, y suelen crecer en suelos profundos y preferentemente silicios de la Cordillera Prelitoral, especialmente en las zonas más lluviosas del cuadrante noreste. En cambio, los carrascales son propios áreas con clima continental o semicontinental, o zonas con sequía estival, y se desarrollan en suelos pedregosos del Prepirineo occidental, la Depresión Central y en llanuras del litoral (Vericat et al., 2011). Además, en zonas secas y soleadas dónde el encinar se degrada se desarrollan formaciones de *Quercus coccifera*, la coscoja, por lo que actualmente coexisten en muchas localizaciones (Baquedano y Castillo, 2007). Aunque estos tres taxones presentan diferencias morfológicas, son genéticamente similares y no pueden distinguirse a nivel anatómico (Schweingruber, 1990; Jiménez et al., 2004; López de Heredia et al., 2007). Por lo tanto, en antracología, la interpretación entre encinas, carrascas y coscojales se basa en diferencias ecológicas más que en la anatomía de la madera. Considerando este escenario, resulta interesante abordar la necesidad de continuar investigando con el fin de profundizar en los modelos de hábitats idóneos para estos taxones, con el propósito de explorar más pruebas que nos permitan ampliar nuestro conocimiento acerca de la posible distribución de estas formaciones.

En definitiva, los resultados obtenidos muestran que *Quercus* sp. caducifolios y perennifolios fueron una fuente importante de madera para las distintas comunidades humanas del Neolítico. Tal y como hemos explicado, la localización de los asentamientos con relación a la distribución de los hábitats adecuados de robles y encinas mantienen cierta coherencia con los datos antracológicos. En el área de estudio, la interpretación de los registros arqueológicos que evidencian el uso de cuevas, abrigos y asentamientos al aire libre resulta muy compleja, ya que estos lugares fueron utilizados de manera multifuncional por diferentes grupos humanos a lo largo del tiempo (Oms y Martín, 2018). Además, cabe considerar que existirían distintas estrategias sobre la gestión del combustible que se limitarían a las necesidades domésticas, sino que también se relacionarían con actividades más complejas (Allué, 2002). En este sentido, la obtención de madera también estaría estrechamente vinculada con el uso

de subproductos de actividades agrícolas y ganaderas, así como para finalidades constructivas (Caruso y Piqué, 2014; López-Bultó y Piqué, 2018). Por tanto, consideramos necesario relacionar la gestión de los recursos leñosos con las actividades económicas reconocibles en los distintos yacimientos arqueológicos.

Conclusiones

(I) Los yacimientos Molí del Salt, ubicado al sur del valle del Ebro, y Cova del Parco, situado en el Prepirineo, proporcionan nuevas secuencias antracológicas que contribuyen al conocimiento de las transformaciones de la cobertura vegetal y la formación de los bosques preforestales. Los datos antracológicos de ambos yacimientos detectan una fase de retroceso de las formaciones forestales de *Pinus* tipo *sylvestris* y el augmento de formaciones vegetales más abiertas dominadas por *Juniperus* sp. (Fase pino-enebro). En Molí del Salt, la transformación de la cobertura vegetal se ha documentado entre los 14.540 – 12.690 años cal BP, y en Cova del Parco se ha documentado en un período comprendido entre los 16.400-12.740 años cal BP. Estas secuencias abarcan el período desde el estadio glacial GS-2a en transición hasta el último evento isotópico del interestadial GI-1. Por una parte, la secuencia antracológica de Molí del Salt muestra la expansión de taxones leñosos meso-termófilos propios de las formaciones preforestales de los bosques submediterráneos, como *Acer* sp., *Prunus* sp. y *Rhamnus cathartica/saxatilis*. En relación con otros indicadores ambientales, los resultados sugieren que este cambio en la vegetación podría haber sido impulsado por un aumento en el régimen de precipitaciones y al establecimiento de unas condiciones climáticas más templadas. Por otra parte, la secuencia antracológica de Cova del Parco, en relación con otros indicadores ambientales, sugiere que la transformación de la cobertura vegetal podría haberse influenciado por unas condiciones climáticas menos estables, dado el impacto de eventos climáticos más fríos con distintos episodios fríos-semiáridos y fríos-húmedos. Asimismo, los resultados obtenidos sugieren que los factores climáticos, especialmente la aridez y los regímenes de precipitaciones, desempeñaron un papel importante en la dinámica de transformación de los paisajes vegetales, afectando de manera desigual a ambas áreas locales.

(II) Los resultados del análisis espacial *intra-site* de los conjuntos antracológicos en los yacimientos de Molí del Salt y Cova del Parco han proporcionado datos significativos sobre la organización del espacio y el uso de la leña como combustible por parte de distintas comunidades humanas del Paleolítico superior final y del Epipaleolítico. Los resultados sugieren

que las actividades relacionadas con el uso del fuego serían recurrentes y frecuentemente se organizarían en lugares específicos del asentamiento. Además, se sugiere un uso selectivo de la madera de *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp. en distintos episodios de quema, puesto que ambos taxones se distribuyen en localizaciones distintas del asentamiento. Asimismo, se plantea la posibilidad de que la ubicación de los hogares corresponda a un hecho intencional, considerando la circulación del aire y la ventilación del humo.

(III) El yacimiento Cova Colomera, ubicado en el Prepirineo Central, proporciona una nueva secuencia antracológica que aporta datos sobre la transformación de los bosques caducifolios submediterráneos en el área local, en un período que abarca los 7.163 – 3.400 años cal BP. Los datos antracológicos para el período del Neolítico sugieren el dominio de los bosques de roble caducifolio (*Quercus* sp. caducifolios) que se acompañarían por *Buxus sempervirens* y *Acer* sp. y otros taxones meso-termófilos que aparecen de manera esporádica, junto a otras formaciones de bosque de *Pinus* tipo *sylvestris* con *Juniperus* sp. y *Taxus baccata* se desarrollarían en el área local. La secuencia antracológica no muestra cambios significativos para el período de la Edad del Bronce, por lo que los resultados sugieren cierta estabilidad en las comunidades vegetales. En relación con otros indicadores ambientales, el área local de Cova Colomera podría haberse influenciado de condiciones climáticas suaves y relativamente húmedas, así como de un bajo impacto de la actividad humana sobre los paisajes, principalmente de gestión y pastoreo de pequeños rebaños.

(IV) Los resultados obtenidos en los modelos de nicho ecológico (ENM) de las especies *Quercus ilex* subsp. *ilex* (encina) y *Quercus pubescens* Willd. (roble pubescente) sugieren diferencias significativas en la distribución del tipo de ambos hábitats adecuados, y que estas diferencias corresponden a las distintas tolerancias ambientales de cada especie. Así, se detecta la importancia de la influencia que aporta la estacionalidad de la temperatura anual (Bio4), que resultó la biovariable más influyente en ambos modelos. Los resultados sugieren, por una parte, que el hábitat potencialmente adecuado para la especie *Quercus ilex* subsp *ilex* responde a variaciones entre los 4-5 ºC de temperatura anual, a la

media de temperaturas constantes entre 12-20ºC durante el mes más húmedo (Bio8) y a unos regímenes de precipitación de 140-150 mm y 90-110 mm durante el trimestre más frío (Bio19) y durante el trimestre más húmedo (Bio13), respectivamente. Durante el Holoceno medio (8.200-4.200 años BP), esta especie pudo haberse desarrollado en hábitats potencialmente adecuados que se situarían en algunas zonas de la Sierra Litoral y en llanuras costeras, y en hábitats moderadamente adecuados en algunas localizaciones de la Depresión Prelitoral. Por otra parte, *Quercus pubescens* Willd. mostró preferencias por variaciones entre los 5-6ºC de temperatura anual (Bio4), a la media de temperaturas constantes entre 8-16ºC durante el mes más seco (Bio9) y a unos regímenes de precipitación entre 100-150 mm durante el trimestre más húmedo (Bio13). Durante el Holoceno medio, esta especie pudo haber ocupado hábitats potencialmente adecuados que se situarían en la Sierra Prelitoral, la Sierra Litoral y la Sierra Transversal, y en hábitats moderadamente adecuados en algunas localizaciones de la Depresión Litoral y Central hasta el Prepirineo.

(V) Los yacimientos arqueológicos del noreste de la península ibérica y el Pirineo andorrano durante el período del Neolítico antiguo y medio mostraron una preferencia por el consumo de madera de roble y encina. Mientras, durante el Neolítico final y Calcolítico, la preferencia se mantuvo para el roble, pero se incrementó significativamente para la encina. La presencia de cinco principales taxones leñosos, como *Quercus* sp. caducifolio, *Buxus sempervirens*, *Quercus* sp. *perennifolio*, *Pinus* tipo *sylvestris* y *Juniperus* sp., fue clave para diferenciar las comunidades vegetales en los conjuntos antracológicos. Las frecuencias relativas de estos taxones representaron entre el 50% y el 95% de los conjuntos analizados, lo que sugiere su importancia en la obtención de madera. La distribución de los yacimientos arqueológicos en grupos basados en las frecuencias relativas de los cinco taxones mencionados sugiere que los yacimientos del grupo 1, ubicados en zonas montañosas, mostraron una preferencia por la selección de madera de coníferas (*Pinus* tipo *sylvestris*) y arbustos (*Juniperus* sp.). Los resultados de los ENM sugieren la falta de desarrollo de formaciones de robledales y encinares en esas áreas. Asimismo, los yacimientos del grupo 2, ubicados en hábitats moderados y altamente

adecuados para formaciones de robledal y encinar, evidenciaron una mayor preferencia en la selección de madera de *Quercus* sp. caducifolios y perennifolios. Finalmente, la mayoría de los yacimientos de los grupos 3 y 4 se encuentran en hábitats no adecuados para el encinar, y el taxón *Quercus* sp. perennifolio está poco representado en los conjuntos antracológicos. En base a los resultados obtenidos, se plantea la posibilidad de que los *Quercus* sp. perennifolios mediterráneos identificados en estos yacimientos puedan corresponder a otras formaciones, como coscojales (*Quercus coccifera*) o carrascales (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*).

Perspectivas de futuro

La presente tesis doctoral ha dado lugar a nuevos interrogantes y propuestas que consideramos de relevancia para futuras investigaciones en el campo de la arqueología y, específicamente en el campo de la arqueología del paisaje. Las perspectivas de futuro y las líneas de estudio que se proponen tienen el objetivo principal de ampliar el conocimiento sobre las interacciones entre los seres humanos y el entorno vegetal y ambiental del pasado. En primer lugar, se sugiere ampliar el área de excavación en el yacimiento Molí del Salt, con el propósito de abordar el estudio de las estrategias humanas relacionadas con la organización y el uso del espacio, tanto en la zona adyacente a la pared natural del abrigo como en el área exterior. La ampliación de la zona excavada permitiría obtener una visión más completa de estas estrategias en el contexto específico de los cazadores-recolectores de la crono-cultura del Magdaleniense superior y superior final. Asimismo, se propone la aplicación del análisis de distribución espacial *intra-site* al conjunto antracológico disponible en toda la secuencia arqueológica excavada. Esto, permitiría evaluar los patrones de organización del espacio y la

ubicación de los hogares desde una perspectiva diacrónica, abarcando los diferentes niveles y fases de ocupación., lo cual ha demostrado ser relevante en Cova del Parco. En este sentido, se destaca la necesidad de continuar investigando en ambos yacimientos a medida que se avance en los trabajos de campo. Asimismo, se considera fundamental aplicar el análisis espacial *intra-site* de los fragmentos de carbón en más yacimientos arqueológicos, con la finalidad de obtener una visión más completa en distintos contextos de ocupación humana.

En segundo lugar, se destaca la necesidad de profundizar en el estudio de la selección de combustible basado en el estado de la madera. Aunque se realizó un análisis preliminar de la nueva muestra analizada de Cova del Parco, no se lograron discernir patrones claros en este aspecto. Por tanto, se considera necesario invertir tiempo y esfuerzo en mejorar la investigación sobre las alteraciones tafonómicas de los conjuntos antracológicos.

En tercer lugar, se propone la obtención de nuevos datos paleoambientales y de diversidad vegetal leñosa que amplíen el conocimiento tanto en la cronología abordada como en el marco geográfico, tomando en consideración la diversidad de microbioregiones presentes en el noreste de la península ibérica. En este sentido, las metodologías en desarrollo, como las técnicas dendro-antracológicas, que analizan los diámetros de los anillos de crecimiento de la madera, podrían ser aplicadas a los conjuntos antracológicos para obtener una mejor caracterización de las estrategias de recolección de leña por parte de las comunidades humanas del pasado. Además, se propone el estudio y la detección de los isotopos ambientales de carbono-13 (δ13C) presentes en los fragmentos de carbón, lo cual proporcionaría curvas de variaciones ambientales más precisas. Asimismo, se considera necesario seguir investigando y desarrollando modelos de hábitat potencial de los taxones leñosos que no pueden distinguirse de otras especies y géneros a partir del análisis de la anatomía de la madera, los cuales aportarían datos cuantitativos entre las características ambientales y la presencia-ausencia de los taxones analizados en escenarios pasados. Estas propuestas de análisis y el uso de distintas herramientas, poco exploradas

actualmente, ofrecerían más información sobre los efectos de las oscilaciones climáticas en el medio vegetal leñoso y contribuirían a una mejor comprensión de las transformaciones forestales.

Por último, una vez publicada la presente tesis doctoral, se considera necesario compartir toda la información que aportan los datos antracológicos obtenidos en repositorios paleoecológicos digitales, lo que contribuiría al avance del conocimiento en el campo de la antracología y de la investigación paleoecológica.

Referencias bibliográficas

A

ACBA. (2012). Protocol de recollida i mostreig de restes bioarqueològiques. In *Tribuna d'Arqueologia 2010-2011* (pp. 101-113). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

AEMet. (2021). *Resumen anual climatológico 2021* https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/anuales/res_anual_clim_2021.pdf

Albert, R. M., Mangado, X., & Calvo, M. (1997). *Raw materials supplies, microusewear and phytolith analysis of the lithic industry in level II of Cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Spain)* Man & Flint. proceedings of the VIth International Flint Symposium, Warsaw, 161-166

Alcalde, G., Güell, A., & Juan-Muns, N. (1989). *Memòria de la Cova 120 (Sales de Llierca, la Garrotxa)*. Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació, Generalitat de Catalunya

Alcalde, G., Molist, M., & Saña, M. (2002). *Procés d'ocupació de la Bauma del Serrat del Pont (la Garrotxa) entre 5480 i 2900 cal AC. Publicacions eventuals d'arqueologia de Girona, 7*. Museu Comarcal de la Garrotxa

Alcalde, G., Molist, M., & Saña, M. (2005). Les ocupacions neolítiques de la Balma del Serrat del Pont. In *Tribuna d'Arqueologia 2001-2002* (pp. 27-38). http://hdl.handle.net/10256/15370

Alcolea, M. (2017). *Paisaje vegetal y gestión de recursos leñosos durante la transición Epipaleolítico-Neolítico en el Valle del Ebro. Aportaciones desde la Antracología* [Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza]. Zaragoza.

Alcolea, M., Dufraisse, A., Royo, M., Mazo, C., de Luis, M., Longares, L. A., Utrilla, P., & Fábregas, R. (2021). Dendro-anthracological tools applied to Scots type pine forests exploitation as fuel during the Mesolithic-Neolithic transition in the southern central pre-Pyrenees (Spain). *Quaternary International*, *593-594*, 332-345. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.029

Alday, A., Domingo, R., Sebastián, M., Soto, A., Aranbarri, J., González-Sampériz, P., Sampietro-Vattuone, M. M., Utrilla, P., Montes, L., & Peña-Monné, J. L. (2018). The silence of the layers: Archaeological site visibility in the Pleistocene-Holocene transition at the Ebro Basin. *Quaternary Science Reviews*, *184*, 85-106. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.006

Alix, C. (2005). Deciphering the impact of change on the driftwood cycle: contribution to the study of human use of wood in the Arctic. *Global and Planetary Change*, *47*, 83-98. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.004

Alix, C. (2012). Using wood on King Island, Alaska. *Études/Inuit/Studies*, *36*, 89-112. https://doi.org/10.7202/1015955ar

Allen, K. M., Green, S., & Zubrow, E. (1990). *Interpreting Space: GIS and Archaeology* (Taylor and Francis ed.).

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(6)*, 483-486. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0483:HCIAPW>2.3.CO;2

Allué, E. (2002). *Dinámica de la vegetación y explotación del combustible leñoso durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno del Noreste de la Península Ibérica a partir del análisis antracológico* [Tesis doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona.

Allué, E. (2004). Anàlisi antracològica. In M. Vaquero (Ed.), *Els darrers caçadors-*

recol·lectors de la Conca de Barberà: El jaciment del Molí del Salt (Vimbodí). Excavacions 1999-2003 (pp. 187-192). Museu-Arxiu de Montblanc i Comarca

Allué, E. (2007). *Informe de l'anàlisi antracològica del jaciment de Mas d'en Boixos (Pacs del Penedés, Baix Penedés). Mostres del neolític, Edat del Bronze, Ferro i Ibèric*. Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES)

Allué, E. (2009). *Estudios antracológicos en la vertiente sur del Pirineo y áreas circundantes durante el Tardiglaciar. Una aproximación de la arqueología botánica al conocimiento del medio vegetal y su aprovechamiento* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 163-181

Allué, E. (2010). *Informe de l'estudi antracològic La Serreta - Vilafranca Centre (Vilafranca del Penedès). Excavació arqueològica del jaciment de La Serreta corresponent a la intervenció del projecte "Remodelació dels enllaços i implantació de peatges tancats a l'autopista AP-7. Enllaç Vilafranca Centre. Fase 3B' (Vilafranca del Penedès, Alt Penedès.*

Allué, E. (2011). Estudi antracològic del jaciment de Forat de Conqueta (Santa Linya, Lleida). *Treballs d'Arqueologia*, *17*, 27-35.

Allué, E. (2016). Charcoal Remains from Azokh 1 Cave: Preliminary Results. In Y. Fernández-Jalvo, T. King, L. Yepiskoposyan, & P. Andrews (Eds.), *Azokh Cave and the Transcaucasian Corridor. Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology* (pp. 297-304). Springer, Cham

Allué, E. (2022). La contribución a la antracología a la prehistoria desde los años noventa. In M. Díaz-Andreu & M. Portillo (Eds.), *Arqueología e interdisciplinariedad: la microhistoria de una revolución en la arqueología española (1970-2020)* (pp. 23-30). Edicions de la Universitat de Barcelona

Allué, E., Angelucci, D., Cáceres, I., Fiocchi, C., Fontanals, M., García, M., Huguet, R., Ollé, A., Saladié, P., Vergès, J. M., & Zaragoza, J. (2000). *El registro paleoecológico y arqueológico de la Cativera (El Catllar, Tarragona): datos preliminares sobre el límite Pleistoceno-Holoceno en el sur de Cataluña* 3º Congreso de Arqueología Peninsular, ADECAP, Porto, 81-98

Allué, E., Burjachs, F., Vernet, J. L., Morales, J. I., Rodríguez-Hidalgo, A., Cerbrià, A., & Rosell, J. (2013b). Cova del Toll (Moià, Bages): Perspectiva paleoambiental i arqueobotànica del Plistocè i Holocè. *Quadern de Prehistòria Catalana*, *21*, 21-38.

Allué, E., Cabanes, D., Solé, A., & Sala, R. (2012c). Hearth Functioning and Forest Resource Exploitation Based on the Archeobotanical Assemblage from Level J. In E. Carbonell i Roura (Ed.), *High Resolution Archaeology and Neanderthal Behavior: Time and Space in Level J of Abric Romaní (Capellades, Spain)* (pp. 373-385). Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3922-2_9

Allué, E., Euba, I., Cáceres, I., Esteban, M., & Pérez, M. J. (2007b). *Experimentación sobre recogida de leña en el parque faunístico de los Pirineos "Lacuniacha" (Huesca). Una aproximación a la tafonomía del registro antracológico* Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría, Girona, 295-303

Allué, E., Euba, I., Picornell, L., & Solé, A. (2013c). Perspectivas teóricas y metodológicas en antracología para el estudio de las relaciones entre las sociedades humanas y su entorno. *Arkeogatze*, *3*, 27-49.

Allué, E., Euba, I., & Rodríguez, A. (2012b). Cambios de paisaje y aprovechamiento

de los recursos vegetales durante la transición Pleistoceno-Holoceno en el noreste de la Península Ibérica. *Cuaternario y Geomorfología*, *26(3-4)*, 47-60.

Allué, E., Expósito, I., Tumung, L., Ollé, A., & Bazgir, B. (2018b). Early evidence of Prunus and Prunus cf. amygdalus from Palaeolithic sites in the Khorramabad Valley, western Iran. *Comptes Rendus Palevol*, *17(6)*, 335-345. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2018.01.001

Allué, E., Fullola, J. M., Mangado, X., Petit, M. A., Bartolí, R., & Tejero, J. M. (2013a). La séquence anthracologique de la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, Espagne): paysages et gestion du combustible chez les derniers chasseurs-cueilleurs. *L'anthropologie*, *117*, 420-435.

Allué, E., & García-Antón, I. (2006). La transformación de un recurso biótico en abiótico: aspectos teóricos sobre la explotación del combustible leñoso en la prehistoria. In *Sociedades prehistóricas, recursos abióticos y territorio. III Reunión de trabajo sobre el aprovisionamento de recursos abióticos en la prehistoria* (pp. 19-31).

Allué, E., Ibáñez, N., Saladié, P., & Vaquero, M. (2010). Small preys and plant explotation by late pleistocene hunter-gatherers. A case study from the Northeast of the Iberian Peninsula. *Archaeologic Anthropological Science*, *2*, 11-24.

Allué, E., Martínez-Moreno, J., Alonso, N., & Mora, R. (2012a). 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). *C.R. Palevol*, *11*, 507-518. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.04.004

Allué, E., Martínez-Moreno, J., Roy, M., Benito-Calvo, A., & Mora, R. (2018a). Montane pine forests in NE Iberia during MIS 3 and MIS 2. A study based on new anthracological evidence from Cova Gran (Santa Linya, Iberian Pre-Pyrenees). *Review of Palaeobotany and Palynology*, *258*, 62-72. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.06.012

Allué, E., & Mas, B. (2020). The meaning of Pinus sylvestris-type charcoal taphonomic markers in Palaeolithic sites in NE Iberia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *30*, 102231. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102231

Allué, E., Nadal, J., Estrada, A., & García-Argüelles, P. (2007a). Los datos antracológicos de la Balma del Gai (Bagues, Barcelona): Una aportación al conocimiento de la vegetación y la explotación de los recursos forestales durante el Tardiglaciar en el NE Peninsular. *Trabajos de Prehistória*, *64 (1)*, 87-97. https://doi.org/10.3989/tp.2007.v64.i1.95

Allué, E., Picornell-Gelabert, L., Daura, J., & Sanz, M. (2017b). Reconstruction of the palaeoenvironment and anthropogenic activity from the Upper Pleistocene/Holocene anthracological records of the NE Iberian Peninsula (Barcelona, Spain). *Quaternary International*, *457*, 172-189. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.024

Allué, E., Solé, A., & Burguet-Coca, A. (2017a). Fuel exploitation among Neanderthals based on the anthracological record from Abric Romaní (Capellades, NE Spain). *Quaternary International*, *431, Part A*, 6-15. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.046

Allué, E., Vernet, J. L., & Cebrià, A. (2009a). Holocene vegetational landscapes of NE Iberia: charcoal analysis from Cova de la Guineu, Barcelona, Spain. *The Holocene*, *19*, 765-773.

Altolaguirre, Y., Schulz, M., Gibert, L., & Bruch, A. A. (2021). Mapping Early Pleistocene environments and the availability of plant food as a potential driver of early Homo presence in the

Guadix-Baza Basin (Spain). *Journal of Human Evolution*, *155*, 102986. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2021.102986

Álvarez-Fernández, E., Bécares, J., Jordá Pardo, J. F., Agirre-Uribesalgo, A., Álvarez-Alonso, D., Aparicio, M. T., Barrera-Mellado, I., Carral, P., Carriol, R.-P., Cubas, M., Cueto, M., Douka, K., Elorza, M., Fernández-Gómez, M.-J., Gabriel, S., García-Ibaibarriaga, N., Iriarte-Chiapusso, M.-J., Llave, C., Maestro, A., Martín-Jarque, S., Portero, R., Suárez-Bilbao, A., Tarriño, A., Teira, L. C., Uzquiano, P., & Arias, P. (2020). Palaeoenvironmental and chronological context of human occupations at El Cierro cave (Northern Spain) during the transition from the late Upper Pleistocene to the early Holocene. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *29*, 102138. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102138

Amaral, J. (1986). Juniperus L. In S. Castroviejo, M. Laínz, G. López, P. Montserrat, F. Muñoz, J. Paiva, & L. Villar (Eds.), *Flora iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares* (Vol. Vol. I, pp. 181-188). Real Jardín Botánico

Andersen, K. K., Svensson, A., Johnsen, S. J., Rasmussen, S. O., Bigler, M., Röthlisberger, R., Ruth, U., Siggaard-Andersen, M. L., Steffensen, J. P., Dahl-Jensen, D., Vinther, B. M., & Clausen, H. B. (2006). The greenland ice core chronology 2005, 15-42 ka. Part 1: Constructing the time scale. *Quaternary Science Reviews*, *25*, 3246-3257. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.08.002

Andersson, G. (1896). *Die Geschichte der Vegetation Schwedens*. Verlag von Wilhelm Engelmann

Angelucci, D. E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A., & Vergès, J. M. (2009). Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeology*, *41(2)*, 191-214. https://doi.org/10.1080/00438240902843659

Angevin, R. (2012). Magdalenian societies in the Massif Central (France): Paleohistorical perspectives on the long-term (16.5–11.5 ka BP). *Quaternary International*, *272-273*, 166-175. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.013

Antolín, F., Berihuete, M., & López, O. (2016). Archaeobotany of wild plant use: Approaches to the exploitation of wild plant resources in the past and its social implications. *Quaternary International*, *404*, 1-3. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.029

Antolín, F., & Jacomet, S. (2015). Wild fuit use among early farmers in the Neolithic (5400-2300 cal BC) in the north-east of the Iberian Peninsula: an intensive practice? *Vegetation History and Archaeobotany*, *24(1)*, 19-33.

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.

Antolín, F., Piqué, R., Ballesteros, A., Burjachs, F., Buxó, R., Mensua, C., & Edo, M. (2013). *A Changes in the perception of and the interaction with the environment from the Mesolithic (10300-8500 cal BC) to the Early Neolithic (c. 5400 cal BC) in Can Sadurní Cave (Begues, Barcelona province, Spain). A view from the archaeobotanical data* Proceedings of the Fourth International Meeting of Anthracology (Brussels, 8-13/09/2008). Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Oxford, 19-30

Aranguren, B., Revedin, A., Amico, N., Cavulli, F., Giachi, G., Grimaldi, S., Macchioni, N., & Santaniello, F. (2018). Wooden tools and fire technology in the early Neanderthal site of Poggetti Vecchi (Italy). *PNAS*, *115(9)*, 2054-2059. https://doi.org/10.1073/pnas.1716068115

Araus, J. L., Febrero, A., Buxó, R., Camalich, M. D., Martín, D., Molina, F., Rodríguez-Ariza, M. O., & Romagosa, I. (1997). Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean Basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental evidence of a differential change in aridity during the late Holocene. *3(2)*, 107-118. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00056.x

Arenas-Castro, S., & Sillero, N. (2021). Cross-scale monitoring of habitat suitability changes using satellite time series and ecological niche models. *Science of The Total Environment*, *784*, 147172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147172

Arnan, X., Quevedo, L., & Rodrigo, A. (2013). Forest fire occurrence increases the distribution of a scarce forest type in the Mediterranean Basin. *Acta Oecologica*, *46*, 39-47.

Arnold, J. R., & Libby, W. F. (1949). Age determinations by radiocarbon content: checks with samples of known age. *Science*, *110(2869)*, 678-680. https://doi.org/10.1126/science.110.2869.678

Arranz-Otaegui, A. (2017). Evaluating the impact of water flotation and the state of the wood in archaeological wood charcoal remains: Implications for the reconstruction of past vegetation and identification of firewood gathering strategies at Tell Qarassa North (south Syria). *Quaternary International*, *457*, 60-73. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.030

Asgarian, A., & Soffianian, A. (2023). Past and potential future distribution of white mangroves in an arid estuarine environment: Integration of Maxent and CA-Markov models. *Marine Policy*, *147*, 105345. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105345

Asouti, E., & Austin, P. (2005). Reconstructing woodland vegetation and its explotation by past societies, based on the analysis and interpretation of Archaeological wood charcol macro-remains. *Environmental Archaeology*, *10*, 1-18.

Asouti, E., & Kabukcu, C. (2021). Anthracology: Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology. *Quaternary International*, *593-594*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.013

Aura, J. E., Carrión-Marco, Y., García, O., Jardón, P., Jordá, J. F., Molina, L., Morales, J. V., Pascual, J. L., Pérez, G., Pérez, M. J., Rodrigo, M. J., & Verdasco, C. C. (2006). Epipaleolítico-Mesolítico en las comarcas centrales valencianas. In A. Alday (Ed.), *El Mesolítico de muescas y denticulados en la cuenca del Ebro y el litoral mediterráneo peninsular* (pp. 65-120). Diputación Foral de Álava, Departamento de Cultura

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 (2)*, 348-359. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2011.01.023

Aura, J. E., Tiffagom, M., Jordá Pardo, J. F., Duarte, E., Fernández de la Vega, J., Santamaría, D., de la Rasilla, M., Vadillo, M., & Pérez Ripoll, M. (2012). The Solutrean-Magdalenian transition: A view from Iberia. *Quaternary International*, *272-273*, 75-87. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.020

Azuara, J., Sabatier, P., Lebreton, V., Jalali, B., Sicre, M.-A., Dezileau, L., Bassetti, M.-A., Frigola, J., & Combourieu-Nebout, N. (2020). Mid- to Late-Holocene Mediterranean climate variability: Contribution of multi-proxy and multi-sequence comparison using wavelet spectral analysis in the northwestern Mediterranean basin. *Earth-Science Reviews*, *208*,

103232. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103232

B

Baales, M. (2001). From Lithics to Spatial and Social Organization: Interpreting the Lithic Distribution and Raw Material Composition at the Final Palaeolithic Site of Kettig (Central Rhineland, Germany). *Journal of Archaeological Science*, *28*, 127-141. https://doi.org/10.1006/jasc.1999.0545

Badal, E. (1984). *Contribución al estudio de la vegetación prehistórica del sur de Valencia y el norte de Alicante a través del análisis antracológico* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Valencia.

Badal, E. (1987). La Antracología: Método de recogida y estudio del carbón prehistórico. *Saguntum*, *21*, 169-182.

Badal, E. (1990). *Aportaciones de la antracologia al estudio del paisaje vegetal y su evolución en el cuaternario reciente, en la costa mediterránea del País Valenciano y Andalucía (18000-3000 BP)* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Valencia.

Badal, E. (1992). *L'anthracologie préhistorique: à propos de certains problèmes méthodologiques* Butlletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques 1992-2/3/4. Les charbons de bois les anciens écosystémes et le rôle de l'homme. , Colloque organisé à Montpellier du 10 au 13 septembre 1991, 167-189

Badal, E. (2004). Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). In P. Utrilla & J. M. Rodanés (Eds.), *Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de los Baños (Ariño, Teruel)* (pp. 63-74).

Badal, E. (2005). *Nuevas aplicaciones de la antracología o de la identificación botánica del carbón y la madera* VI Congreso Ibérico de Arqueometría, Girona, 37-44

Badal, E., Bernabeu, J., & Vernet, J. L. (1994). Vegetation changes and human action from the Neolithic to Bronze Age (7000-4000 B.P.). *Vegetation History and Archaeobotany*, *3*, 155-166.

Badal, E., Carrión, Y., Figueiral, I., & Oliva, M. (2013). Pinares y enebrales. El paisaje solutrense en Iberia. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología*, *1(5)*, 259-271. https://doi.org/10.5944/etfi.5.2012.9268

Badal, E., Carrión, Y., Macías, M., & Ntinou, M. (Eds.). (2012). *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History* (Vol. 13). Universitat de València, Departament de Prehistòria i Arqueologia de la Facultat de Geografia i Història.

Badal, E., Carrión, Y., Ntinou, M., Moskal-del Hoyo, M., & Vidal, P. (2016). *Punto de encuentro: los bosques neolíticos en varias regiones de Europa* Del neolític a l'edat del bronze en el Mediterrani occidental. Estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver. Trabajos varios del SIP 119, Valencia, 269-285

Badal, E., Carrión, Y., Rivera, D., & Uzquiano, P. (2003). La Arqueobotánica en cuevas y abrigos: objetivos y métodos de muestreo. In R. Buxó & R. Piqué (Eds.), *La recogida de muestras en arqueobotánica: objetivos y propuestas metodológicas. La gestión de los recursos vegetales y la transformación del paleopaisaje en el Mediterráneo occidental. Encuentro del Grupo de Trabajo de Arqueobotánica de la Península Ibérica* (pp. 19-29). Bellaterra

Badal, E., & Heinz, C. (1991). Méthodes utilisées en Anthracologie pour l'étude de sites préhistoriques. *BAR International Series*, *573*, 17-47.

Bailey, G. (2007). Time prespectives, palimpsests and the archaeology of time. *Journal of Anthropological*

Archaeology, *26(2)*, 198-223. https://doi.org/10.1016/J.JAA.2006.08.002

Banks, W. E., Antunes, N., Rigaud, S., & Francesco, d. E. (2013). Ecological constraints on the first prehistoric farmers in Europe. *Journal of Archaeological Science*, *40(6)*, 2746-2753. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.02.013

Baquedano, E., & Castillo, F. J. (2007). Drought tolerance in the Mediterranean species Quercus coccifera, Quercus ilex, Pinus halepensis, and Juniperus phoenicea. *Photosynthetica*, *45(2)*, 229-238. https://doi.org/10.1007/s11099-007-0037-x

Barakai, R., Rosell, J., Blasco, R., & Gopher, A. (2017). Fire for a Reason. Barbecue at Middle Pleistocene Qesem Cave, Israel. *Current Anthropology (58)*, *16*, in press.

Barbaza, M. (2011). Environmental changes and cultural dynamics along the northern slope of the Pyrenees during the Younger Dryas. *Quaternary International*, *242(2)*, 313-327. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.03.012

Barbieri, A., Maier, A., Lauer, T., Mischka, C., Hattermann, M., & Uthmeier, T. (2022). Post-LGM environments and foragers on the move: New data from the lower Altmühl Valley (Franconian Jura, SE Germany). *Journal of Human Evolution*, *173*, 103267. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2022.103267

Baretta-Kuipers, T. (1981). Wood anatomy of Leguminosae: its relevance to taxonomy. In R. M. Polhill & P. H. Raven (Eds.), *Advances in legume systematics 2 Royal Botanic Gardens* (pp. 677-705).

Bargalló, A., Gabucio, M. J., Soler, B. G. d., Chacón, M. G., & Vaquero, M. (2020). Rebuilding the daily scenario of Neanderthal settlement. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *29*, 102139. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102139

Barker, G. (2006). *The Agricultural Revolution in Prehistory: Why did Foragers become Farmers?* Oxford University Press

Bartolomé, J. (2014, 9-12 junio 2014). *Control del sotobosque mediante pastoreo con ovino en un bosque mixto de pino silvestre y roble* 53ª Reunión Científica de la SEEP "Pastos y Pac 2014-2020", Potes, Cantabria, 579-586

Bartolomé, J., Franch, J., Plaixats, J., & Seligman, N. G. (1998). Diet selection by sheep and goats on Mediterranean heathwoodland range. *Journal of Range Management*, *51(4)*, 383-391. https://doi.org/10.2307/4003322

Barton, C. M., Aura Tortosa, J. E., Garcia-Puchol, O., Riel-Salvatore, J. G., Gauthier, N., Vadillo Conesa, M., & Pothier Bouchard, G. (2018). Risk and resilience in the late glacial: A case study from the western Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, *184*, 68-84. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.015

Bartram, L. E., Kroll, E. M., & Bunn, H. T. (1991). Variability in Camp Structure and Bone Food Refuse Patterning at Kua San Hunter-Gatherer Camps. In E. M. Kroll & T. D. Price (Eds.), *The Interpretation of Archaeological Spatial Patterning* (pp. 77-148). Springer US.https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2602-9_5

Baxter, M. J., Beardah, C. C., & Wright, R. V. S. (1995). Some archaeological applications of kernel density estimates. *Journal of Archaeological Science*, *24*, 347-354.

Bazile-Robert, E. (1979). *Flore et végétation du sud de la France pendant la dernière glaciation d'après l'analyse anthracologique* [Thèse doctorale, Université de Montpellier II]. Montpellier.

Bazile-Robert, E. (1980). Le groupements a Amygdalus et Prunus de la fin du Tardi-glaciaire et du debut du Post-glaciaire en Mediterranee Nord-

occidentale. *Geobios*, *13(5)*, 777-781.

Bean, L. (1974). *Mukat's people. The Cahuilla Indians of Southern California*. University of California Press

Bedia, J., Herrera, S., & Gutiérrez, J. M. (2013). Dangers of using global bioclimatic datasets for ecological niche modeling. Limitations for future climate projections. *Global and Planetary Change*, *107*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.04.005

Behrensmeyer, A. K. (1990). Transport/ Hydrodynamics of bones. In D. E. G. Briggs & P. R. Crowther (Eds.), *Palaeobiology: a synthesis*. (pp. 232-235). Blackwell Scientific Publications

Bello, S. M., Crété, L., Galway-Witham, J., & Parfitt, S. A. (2021). Knapping tools in Magdalenian contexts: New evidence from Gough's Cave (Somerset, UK). *PLOS ONE*, *16(12)*, e0261031. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261031

Bergadà, M., Burjachs, F., & Fullola, J. M. (1999). Évolution paléoenvironnmentale de 14.500 a 10.000 BP dans les prépyrénées catalans: la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, Lleida, Espagne). *L'anthropologie*, *103(2)*, 249-264.

Bergadà, M. M. (1998). *Estudio geoarqueológico de los asentamientos prehistóricos del Pleistoceno Superior y Holoceno inicial en Catalunya*. BAR International Series 742

Bergadà, M. M., Cervelló, J. M., Edo, M., Cebrià, A., Oms, F. X., Martínez, P., Antolín, F., Morales, J. I., & Pedro, M. (2018). Chronostratigraphy in karst records from the Epipaleolithic to the Mid/Early Neolithic (c. 13.0–6.0 cal ka BP) in the Catalan Coastal Ranges of NE Iberia: environmental changes, sedimentary processes and human activity. *Quaternary Science Reviews*, *184*, 26-46. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.008

Bergadà, M. M., & Oms, F. X. (2021). Pastoral practices, bedding and fodder during the Early Neolithic through micromorphology at Cova Colomera (Southeastern Pre-Pyrenees, Iberia). *Open Archaeology*, *7(1)*, 1258-1273. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0183

Berger, J.-F., & Guilaine, J. (2009). The 8200calBP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective. *Quaternary International*, *200*, 31-49. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.013

Berihuete-Azorín, M. (2013). First archaeobotanical approach to plant use among Selknam hunter-gatherers (Tierra del Fuego, Argentina). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *5(3)*, 255-266. https://doi.org/10.1007/s12520-013-0137-4

Bernabeu Aubán, J., García Puchol, O., & Orozco-Köhler, T. (2018). New insigths relating to the beginning of the Neolithic in the eastern Spain: Evaluating empirical data and modelled predictions. *Quaternary International*, *470*, 439-450. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.071

Bernabeu, J. (1996). Indigenismo y migracionismo. Aspectos de la neolitización en la fachada oriental de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistória*, *53(2)*, 37-54.

Bernabeu, J. (1999). Pots, symbols and territories: the archaeological context of the neolithisations in Mediterranean Spain. *Documenta Praehistorica*, *26*, 101-118.

Bhadra, P., Maitra, S., Shankar, T., Hossain, A., Praharaj, S., & Aftab, T. (2022). Chapter 1 - Climate change impact on plants: Plant responses and adaptations. In T. Aftab & A. Roychoudhury (Eds.), *Plant Perspectives to Global Climate Changes* (pp. 1-24). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85665-2.00004-2

Binford, L. R. (1978). *Nunamiut Ethnoarchaeology*.

Binford, L. R. (1980). Willow smoke and dogs' tails: hunter-gatherer settlement systems and archaeological site formation. *American Antiquity*, *45*, 4-20.

Binford, L. R. (1982). The Archaeology of Place. *Journal of Anthropological Archaeology*, *1*, 5-31.

Binford, L. R. (1983). *En busca del pasado. Descifrando el registro arqueológico*. Crítica

Binford, L. R. (1996). *Hearth and home: the Spatial Analysis of Ethnographically documented rock shelter occupations as a template for distinguishing between human and hominid use of sheltered space* XIII UISPP Congress Proceedings, Forlì, 229-239

Binford, L. R. (2001). *Constructing Frames of Reference. An Analytical Method for Archaeological Theory Building Using Hunter-Gatherer and Environmental Data Sets*. University of California Press

Binford, S. R., & Binford, L. R. (Eds.). (1968). *New perspectives in archeology*. Aldine Pub. Co. https://doi.org/10.1002/ajpa.1330320207.

Bivand, R., Keitt, T., & Rowlingson, B. (2022). *rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library. R package version 1.6.2*. In https://CRAN.R-project.org/package=rgdal

Björck, S. (2007). Younger Dryas oscillation, global evidence. In S. Elias (Ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (Vol. 3, pp. 1987-1994). Elsevier

Björck, S., Walker, M. J. C., Cwynar, L. C., Johnsen, S., Knudsen, K.-L., Lowe, J. J., & Wohlfarth, B. (1998). An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record: a proposal by the INTIMATE group. *Journal of Quaternary Science*, *13(4)*, 283-292. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1417(199807/08)13:4<283::AID-JQS386>3.0.CO;2-A

Blanco, E., Casado, M. A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M., Gómez, A., Gómez, F., Moreno, J. C., Morla, C., Regato, P., & Sáinz, H. (1997). *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta

Blasco, R., Rosell, J., Sañudo, P., Gopher, A., & Barkai, R. (2016). What happens around a fire: Faunal processing sequences and spatial distribution at Qesem Cave (300 ka), Israel. *Quaternary International*, *398*, 190-209. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.04.031

Blondel, J. (2006). The 'Design' of Mediterranean Landscapes: A Millennial Story of Humans and Ecological Systems during the Historic Period. *Human Ecology*, *34(5)*, 713-729. https://doi.org/10.1007/s10745-006-9030-4

Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., & Boeuf, G. (2010). *The Mediterranean region: biological diversity in space and time*. Oxford University Press

Blondel, J., Isenmann, P., Maistre, M., & Perret, P. (1992). What Are the Consequences of Being a Downy Oak (Quercus pubescens) or a Holm Oak (Q. ilex) for Breeding Blue Tits (Parus caeruleus)? *Vegetatio*, *99/100*, 129-136. http://www.jstor.org/stable/20046142

Bohl, C. L., Kass, J. M., & Anderson, R. P. (2019). A new null model approach to quantify performance and significance for ecological niche models of species distributions. *Journal of Biogeography*, *46(6)*, 1101-1111. https://doi.org/10.1111/jbi.13573

Bolòs, O., & Vigo, J. (1984-2001). *Flora dels Països Catalans* (Vol. I-IV). Barcino

Bolòs, O., Vigo, J., Masalles, R., & Ninot, J. (1990). *Flora. Manual dels països Catalans* (Vol. 9). Pòrtic

Bond, G., Showers, W., & Cheseby, M. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, *278*, 57-66. https://doi.org/10.1126/science.278.5341.1257

Boonman, C. C. F., Benítez-López, A., Schipper, A. M., Thuiller, W., Anand, M., Cerabolini, B. E. L., Cornelissen, J. H. C., Gonzalez-Melo, A., Hattingh, W. N., Higuchi, P., Laughlin, D. C., Onipchenko, V. G., Peñuelas, J., Poorter, L., Soudzilovskaia, N. A., Huijbregts, M. A. J., & Santini, L. (2020). Assessing the reliability of predicted plant trait distributions at the global scale. *Global Ecology and Biogeography*, *29(6)*, 1034-1051. https://doi.org/10.1111/geb.13086

Borrell, J. (2018). *Identificación de las áreas de descanso y reposo en el nivel O del Abric Romaní (Capellades, Noreste de la Península Ibérica)* [Master Thesis Dissertation, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona.

Bosch, J. (2001). Les ocupacions prehistòriques de caçadors-recol·lectors a la Cova del Vidre (Roquetes). Assentament i clima. *Recerca*, *5*, 9-20.

Bosch, J., Villalbí, M. M., & Forcadell, A. (1996). El barranc d'en Fabra (Amposta, Montsià): un assentament neolític a l'aire lliure. In *Tribuna d'Arqueologia, 1994-1995* (pp. 51-62). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

Braadbaart, F., Reidsma, F. H., Roebroeks, W., Chiotti, L., Slon, V., Meyer, M., Théry-Parisot, I., van Hoesel, A., Nierop, K. G. J., Kaal, J., van Os, B., & Marquer, L. (2020). Heating histories and taphonomy of ancient fireplaces: A multi-proxy case study from the Upper Palaeolithic sequence of Abri Pataud (Les Eyzies-de-Tayac, France). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *33*, 102468. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102468

Bradie, J., & Leung, B. (2017). A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*, *14*, 1344-1361. http://doi.org/10.1111/jbi.12894

Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H., & Bollmann, K. (2013). Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography*, *36(9)*, 971-983. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x

Breuil, H. (1903). Les fouilles dans la grotte du Mas d'Azil (Ariège). In *Bulletin archéologique* (pp. 421-436). Comité des travaux historiques et scientifiques

Breuil, H. (1913). *Les subdivisions du Paléolithique Supérieur et leur signification* Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie préhistoriques. Compte rendu de la 14ème session, Genève, 1912, 165-238

Brochier, J. E. (1983). Bergeries et feus de bois néolithiques dans le Midi de la France. Caractérisation et incidence sur le raisonnement sédimentologique. *Quartär*, *33/34*, 119-135.

Brochier, J. E. (1991). Géoarchéologie du monde agropastoral. In J. Guilaine (Ed.), *Pour une Archéologie agraire* (pp. 303-322). Armand Colin

Brochier, J. E. (1996). Feuilles ou fumiers ? Observations sur le rôle des poussières sphérolitiques dans l'interprétation des dépôts archéologiques holocènes. *Anthropozoologica*, *24*, 19-30.

Bronk-Ramsey, C. (2009). Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, *51*, 337-360. https://doi.org/10.1017/S0033822200033865

Bronk-Ramsey, C. (2020). OxCal software version 4.4. In: https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html.

Brouwer Burg, M. (2017). It must be right, GIS told me so! Questioning the

infallibility of GIS as a methodological tool. *Journal of Archaeological Science*, *84*, 115-120. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.05.010

Burguet-Coca, A. (2020). *El fuego en la Prehistoria. Una aproximación arqueo-experimental al registro piroarqueológico a través de la microarqueología* [Tesis Doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona. http://hdl.handle.net/10803/671874

Burguet-Coca, A., Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A., Allué, E., Mora, R., & Cabanes, D. (2020). Pen management and livestock activities based on phytoliths, dung spherulites, and minerals from Cova Gran de Santa Linya (Southeastern pre-Pyrenees). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *12(7)*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s12520-020-01101-6

Burjachs, F. (1995). Anàlisi pol·línica. In S. Boquer, J. Bosch, W. Cruells, J. Miret, M. Molist, & T. Rodón (Eds.), *El jaciment de l'Institut de batxillerat Antoni Pous. Un assentament a l'aire lliure de finals del calcolític (Manlleu, Osona)* (Vol. 15, pp. 149-150). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

Burjachs, F. (2009). *Paleoambient del Tardiglacial al sud dels Pirineus vist a través de la Palinologia* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 151-162

Burjachs, F., Giralt, S., Roca, J. R., Seret, G., & Julià, R. (1997). Palinología holocénica y desertización en el Mediterráneo occidental. In J. J. Ibáñez, B. Valero-Garcés, & C. Machado (Eds.), *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo: implicaciones en la desertización* (pp. 379-394). Geoforma ediciones

Burjachs, F., Pérez-Obiol, R., Picornell-Gelabert, L., Revelles, J., Servera-Vives, G., Expósito, I., & Yll, E.-I. (2017). Overview of environmental changes and human colonization in the Balearic Islands (Western Mediterranean) and their impacts on vegetation composition during the Holocene. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *12*, 845-859. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.018

Burjachs, F., & Riera, S. (1996). *Canvis vegetals i climàtics durant el neolític a la façana mediterrània ibèrica* I Congrés del Neolític a la Península Ibèrica, Gavà, Museu de Gavà, 21-24

Butzer, K. W. (1989). *Arqueología. Una ecología del hombre* (Bellaterra, Ed.).

C

Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I., Rodríquez, A., Allué, E., Euba, I., & Vergès, 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.

Cacho, I., Grimalt, J. O., Canals, M., Sbaffi, L., Shackleton, N., Schonfeld, 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 change. *Paleoceanography*, *16 (1)*, 40-52.

Cacho, I., Shackleton, N., Elderfield, H., Sierro, F. J., & Grimalt, J. O. (2006). Glacial rapid variability in deep-water temperature and d18O from the Western Mediterranean Sea. *Quaternary Science Reviews*, *25*, 3294-3311. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.10.004

Calaciura, B., & Spinelli, O. (2008). *Management of Natura 2000 habitats. 5210 Arborescent matorral with Juniperus spp.* European Commmission

Calvo, M. (1997). Análisis funcional y actividades documentadas en el nivel II de la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera). *Pyrenae*, *28*, 9-23.

Calvo, M. (2004). La memoria del útil. Análisis funcional de la industria lítica de la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida). In *Monografies del SERP 5*.

Calvo, M., Fullola, J. M., Mangado, X., & Petit, M. A. (2008). Los raspadores y el procesado de la piel en la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, Lleida, España). *VELEIA*, *24-25*, 493-530.

Cameron, A. C. (2014). Inference for Health Econometrics: Inference, Model Tests, Diagnostics, Multiple Tests, and Bootstrap. In A. J. Culyer (Ed.), *Encyclopedia of Health Economics* (pp. 47-52). Elsevier.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375678-7.00706-9

Cano-Cano, N., Burguet-Coca, A., Euba, I., Expósito, I., & Allué, E. (2022). Forest Management and Agriculture Practices at El Mirador Cave. In E. Allué, P. Martín, & J. M. Vergès (Eds.), *Prehistoric Herders and Farmers: A Transdisciplinary Overview to the Archeological Record from El Mirador Cave* (pp. 271-293). Springer International Publishing.https://doi.org/10.1007/978-3-031-12278-1_14

Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Vigo, J., & Mercadé, A. (2009). Modern pollen—vegetation relationships along an altitudinal transect in the central Pyrenees (southwestern Europe). *The Holocene*, *19*, 1185-1200. 10.1177/0959683609345082

Carbonell, E., & Castro-Curel, Z. (1992). Palaeolithic wooden artefacts from the Abric Romani (Capellades, Barcelona, Spain). *Journal of Archaeological Science*, *19(6)*, 707-719. https://doi.org/10.1016/0305-4403(92)90040-A

Carbonell, E., Cebrià, A., Esteban, A., García, J. F., García, L., Lucas, J. M., Maestro, E., Miralles, J., Miret, J., Miró, J., Mora, R., Parra, I., Puig, X., Sala, R., & Verdaguer, E. (1985). *Sota Palou-Campdevànol. Un Centre d'Intervenció prehistòrica postglaciar a l'aire lliure*. Centre d'Investigacions Arqueològiques de la Diputació de Girona

Carbonell, E., & Mora, R. (1985). Anàlisi espacial d'un campament prehistòric del post-glacial: Sota Palou (Campdevànol). *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *5*, 37-47.

Carboni, M., Calderon-Sanou, I., Pollock, L., Violle, C., Consortium, D., & Thuiller, W. (2018). Functional traits modulate the response of alien plants along abiotic and biotic gradients. *Global Ecology and Biogeography*, *27(10)*, 1173-1185. https://doi.org/10.1111/geb.12775

Carcaillet, C., & Vernet, J. L. (2001). Comments on "The Full-Glacial Forests of Central and Southeastern Europe" by Willis et al. *Quaternary Research*, *55*, 385-387. https://doi.org/10.1006/qres.2001.2226

Carey, J. (2023). Unearthing the origins of agriculture. *PNAS*, *120(15)*, e2304407120. https://doi.org/10.1073/pnas.2304407120

Carreras, J., & Ferré, A. (2014). *Cartografia dels hàbitats a Catalunya Versió 2. Manual d'interpretació*. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya

Carreras, J., Ferré, A., & Vigo, J. (2015). *Manual dels hàbitats de Catalunya: catàleg dels hàbitats naturals reconeguts en el territori català d'acord amb els criteris establerts pel CORNE biotopes manual de la Unió Europea* (J. Carreras, A. Ferré, & J. Vigo, Eds. Vol. VI). Departament de

Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya

Carrión, J. (2005). *La vegetación mediterránea y atlántica de la Península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas*. Museu de Prehistòria de València, Serie Trabajos Varios 104

Carrión, J., & Badal, E. (2004). *La presencia de hongos e insectos xilófagos en el carbón arqueológico. Propuestas de interpretación* Actas del V Congreso Ibérico de Arqueometría 2003, Cádiz, 98-106

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. (2010b). 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. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.12.007

Carrión, J. S., Fernández, S., Jiménez-Moreno, G., Fauquette, S., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., & Finlayson, C. (2010a). The historical origins of aridity and vegetation degradation in southeastern Spain. *Journal of Arid Environments*, *74(7)*, 731-736. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.11.014

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. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.08.016

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.03.013

Carrión, J. S., Munuera, M., Ochando, J., López-Sáez, J. A., Casas-Gallego, M., González-Sampériz, P., Badal, E., Pérez-Díaz, S., Carrión-Marco, Y., Jiménez-Moreno, G., López-Merino, L., Burjachs, F., Abel-Schaad, D., Fernández, S., Morales-Molino, C., Alba-Sánchez, F., Peña-Chocarro, L., Barrón, E., Postigo-Mijarra, J. M., Gil-García, M. J., Rubiales, J. M., Vidal-Matutano, P., Aranbarri, J., Ramos-Román, M. J., Camuera, J., Magri, D., Revelles, J., Altolaguirre, Y., Ruiz-Zapata, B., Luelmo, R., Uzquiano, P., Allué, E., Anderson, S., Dupré, M., Gil-Romera, G., Piqué, R., García-Antón, M., Amorós, G., Yll, R., Pérez-Jordá, G., Scott, L., Figueiral, I., Rodríguez-Ariza, M. O., Morla-Jauristi, C., García-Amorena, I., Montoya, E., Val-Peón, C., Ejarque, A., Riera, S., Peñalba, C., Fierro, E., Expósito, I., Pérez-Obiol, R., Vieira, M., Gómez-Manzaneque, F., Maldonado, J., Leunda, M., Franco, F., Albert, R. M., Díez, M. J., Marín-Arroyo, A. B., Manzano, S., DiRita, F., Andrade, A., Parra, I., Zapata, L., Pérez, A., Grau, E., Alcolea, M., Mesa-Fernández, J. M., Miras, Y., Ruiz-Alonso, M., Génova, M., García-Alvarez, S., Moreno, E., Olmedo-Cobo, J. A., Gómez-Zotano, J., Pardo-Martínez, R., Mas, B., Monteiro, P., Antolín, F., Obea, L., Martín-Seijo, M., Alonso, N., Amorós, A., Fernández-Díaz, M., Reyes, P. P., Sánchez-Giner, V., Gómez-Rodríguez, M., Rull, V., Vegas-Villarrúbia, T., López-Bultó, O., Bianco, S., Trapote, M. C., Picornell-Gelabert, L., Sureda, P., Brisset, E., Servera-Vives, G., Girona, A., Celant, A., Michelangeli, F., & Sánchez-Morales, M. (2022b). *Paleoflora y Paleovegetación Ibérica III: Holoceno*. Ministerio de Ciencia e Innovación y Fundación Séneca www.paleofloraiberica.org

Carrión, J. S., Ochando, J., Munuera, M., Casas-Gallego, M., González-Sampériz, P., López-Sáez, J. A., Postigo-Mijarra, J. M., Barrón, E., Badal, E., Carrión-Marco, Y., López-Merino, L., Rubiales, J. M., Burjachs, F., Fernández, S., Uzquiano, P., Jiménez-Moreno, G., Montoya, E., García-Antón, M., Gil-García, M. J., Altolaguirre, Y., Ruiz-Zapata, B., Allué, E., Morales-Molino, C., Alba Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Amorós, G., Camuera , J., Ramos-Román, M. J., Aranbarri, J., Vieira, M., Vidal-Matutano, P., Peña-Chocarro, L., Anderson, S., Albert, R. M., Riera, S., Leroy, S., Fletcher, W., Gil-Romera, G., Expósito, I., Rodríguez-Ariza, M. O., Martínez-Varea, C. M., López-Avilés, A., Pérez, A., Luelmo, R., Arroyo, J., Verdú, M., Di Rita, F., Magri, D., Jiménez-Espejo, F., Yll, R., Morla-Jauristi, C., Scott, L., Peñalba, C., Fierro, E., García Amorena, I., Val-Peón, C., Parra, I., Gómez-Manzaneque, F., Figueiral, I., Michelangeli, F., Finlayson, C., Finlayson, G., Jiménez-Arenas, J. M., De la Peña, P., Marín-Arroyo, A. B., Piqué, R., Pérez-Jordá, G., Ruiz-Alonso, M., Iglesias, R., Alonso, N., Alcolea, M., Jones, S., Gómez-Rodriguez, M., Amorós, A., Sánchez-Giner, V., Fernández-Díaz, M., Reyes, P. P., Martín-Lerma, I., Girona, A., & Dupré, M. (2022a). *Paleoflora y Paleovegetación Ibérica II: Pleistoceno*. Ministerio de Ciencia e Innovación y Fundación Séneca www.paleofloraiberica.org

Carrión Marco, Y., Ramis, D., & Coll Conesa, J. (2021). Landscape and fuel management in the context of prehistoric and historical occupations of Cova des Moro (Manacor, Mallorca, Spain). *Quaternary International*, *593-594*, 118-128. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.021

Caruso-Fermé, L. (2014). Los usos de la madera entre los cazadores-recolectores Selk'Nam. In J. Oría & A. Tivoli (Eds.), *Cazadores de mar y tierra. Estudios recientes en arqueología fueguina* (pp. 335-359). Editora Cultural Tierra del Fuego

Caruso-Fermé, L., Civalero, M. T., & Aschero, C. A. (2021a). Wood Technology: Production Sequences and Use of Woody Raw Materials among Hunter-Gatherer Patagonian Groups (Argentina). *Environmental Archaeology*, 1-14. 10.1080/14614103.2021.1911769

Caruso-Fermé, L., Mineo, M., Ntinou, M., Remolins, G., Mazzucco, N., & Gibaja, J. F. (2021b). Woodworking technology during the early Neolithic: First results at the site of La MARMOTTA (Italy). *Quaternary International*, *593-594*, 399-406. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.067

Caruso, L., & Piqué, R. (2014). Landscape and forest exploitation at the ancient Neolithic site of La Draga (Banyoles, Spain). *The Holocene*, *24(3)*, 266-273. https://doi.org/10.1177/0959683613517400

Cascalheira, J., Alcaraz-Castaño, M., Alcolea-González, J., de Andrés-Herrero, M., Arrizabalaga, A., Aura Tortosa, J. E., Garcia-Ibaibarriaga, N., & Iriarte-Chiapusso, M.-J. (2021). Paleoenvironments and human adaptations during the Last Glacial Maximum in the Iberian Peninsula: A review. *Quaternary International*, *581-582*, 28-51. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.08.005

Castroviejo, S., Laínz, M., López-González, G., Montserrat, P., Muñoz-Garmendia, F., Paiva, J., & Villar, L. (1990). *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. II. Platanaceae-Plumbaginaceae (patrim)* (Vol. Vol. II. Platanaceae-Plumbaginaceae (patrim)). Real Jardín Botánico, CSIC

Caudullo, G., Welk, E., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief*, *12*, 662-666. https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007

Cavender-Bares, J., Ackerly, D. D., Baum, D. A., & Bazzaz, F. a. (2004). Phylogenetic Overdispersion in Floridian Oak Communities. *The American Naturalist*, *163*, 823-843.

Cebrià, A., Fullola, J. M., García-Argüelles, P., García, V., & Millán, M. (1981). Avance al estudio de los asentamientos con cerámica del Filador (Margalef de Montsant, Priorat, Tarragona). *SAGVNTVM*, *16*, 37-61.

Chabal, L. (1982). *Méthode de prélèvement des bois carbonisés protohisoriques pour l'ètude des relations Homme-végétation (Exemple d'un habitat de l'Age du Fer: Le Marduel - Saint Bonnet du gard - Fin VIII- fin ler siècle avant J.C.)* [DEA, Université des Sciences et Thecniques du Languedoc]. Montpellier.

Chabal, L. (1990). L'étude paléoécologique de sites protohistoriques à partir des charbons de bois: la question de l'unité de mesure. Dénombrements de fragments ou pesées? Wood and archaeology: acts of the European Symposium held at Louvain-la-Neuve. Bois et archéologie: actes du Symposium Européen tenu à Louvain-la-Neuve, Octobre 1987, Belgique.

Chabal, L. (1991). *L'homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des áges des métaux à la période romaine: recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du Bas Languedoc* Université des Sciences et Thecniques du Languedoc]. Montpellier.

Chabal, L. (1992). La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. *Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques*, *139*, 213-236.

Chabal, L. (1994). Apports récents de l'anthracologie à la connaissance des paysages passés : performances et limites. *Histoire & Mesure*, *9*, 317-338. http://www.jstor.org/stable/24566099

Chabal, L. (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive): l'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Éditions de la Maison de Sciences de l'Homme

Chabal, L., Fabre, L., Terral, J. F., & Théry-Parisot, I. (1999). La botanique. In Errance (Ed.), *Collection Archéologiques* (pp. 43-104). Revue archéologique du Centre de la France

Chabal, L., & Heinz, C. (2021). Reconstructing the heterogeneity of past woodlands in anthracology using the spatial distribution of charcoals in archaeological layers: Applied to the postglacial occupation of the Abeurador cave (Hérault) in the South of France. *Quaternary International*, *593-594 (1)*, 19-35. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.080

Charles, D. J. (2012). Juniper. In *Antioxidant Properties of Spices. Herbs and Other Sources* (pp. 357-362). Springer

Chiang, C.-H. (2015). "Houses" in the Wansan Society, Neolithic Taiwan. *Journal of Anthropological Archaeology*, *39*, 151-163. https://doi.org/10.1016/j.jaa.2015.03.003

Chrzazvez, J., Henry, A., & Théry-Parisot, I. (2008). *Identificando estrategias de adquisición del combustible leñoso en antracología: ¿puede contribuir la experimentación a determinar el calibre de los carbones en contexto arqueológico?* La investigación experimental aplicada a la Arqueología Experimental. Actas del IIdo Congreso Internacional de Arqueología Experimental, Ronda, Málaga, 205-2011

Chrzazvez, J., Théry-Parisot, I., Fiorucci, G., Terral, J. F., & Thibaut, B. (2014). Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. *Journal of Archaeological Science*, *44*, 30-42. https://doi.org/10.1016/j.

jas.2014.01.006

Church, T., Brandon, J., & Burgett, G. R. (2000). GIS applications in archaeology: Method in search of Theory. In K. Wescott & J. Brandon (Eds.), *Practical applications of GIS for archaeologist. A predictive modeling kit* (pp. 135-155). Taylor y Francis

Chybicki, I. J., & Oleksa, A. (2018). Seed and pollen gene dispersal in Taxus baccata, a dioecious conifer in the face of strong population fragmentation. *Annals of Botany*, *122*, 409-421. 10.1093/aob/mcy081 %J Annals of Botany

Clark, A. E., & Gingerich, J. A. M. (Eds.). (2022b). *Intrasite spatial analysis of mobile and semisedentary peoples: Analytical approaches to reconstructing occupation history*. University of Utah Presshttps://uofupress.lib.utah.edu/intrasite-spatial-analysis-of-mobile-and-semisedentary-peoples/.

Clark, A. E., Ranlett, S., & Stiner, M. C. (2022a). Domestic spaces as crucibles of Paleolithic culture: An archaeological perspective. *Journal of Human Evolution*, *172*, 103266. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2022.103266

Clarke, D. L. (1977). *Spatial archaeology* (Academic Press ed.).

Clarke, P. J., & Evans, F. C. (1955). On some aspects of spatial pattern in biological populations. *Science*, *121*, 397-398.

Coles, J. M., Heal, S. V. E., & Orme, B. J. (1978). The Use and Character of Wood in Prehistoric Britain and Ireland. *Proceedings of the Prehistoric Society*, *44*, 1-45. https://doi.org/10.1017/S0079497X00009968

Colville, J. F., Beale, C. M., Forest, F., Altwegg, R., Huntley, B., & Cowling, R. M. (2020). Plant richness, turnover, and evolutionary diversity track gradients of stability and ecological opportunity in a megadiversity center. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117(33)*, 20027. https://doi.org/10.1073/pnas.1915646117

Conolly, J., & Lake, M. (2006). *Geographical Information Systems in archaeology* (Cambridge University Press ed.).

Costa, M., Gómez, F., Morla, C., & Sainz, H. (1993). Valoración fitogeográfica de la flora vascular de los sabinares albares de la Península Ibérica. *Ecología*, *7*, 127-148.

Costa, M., Morla, C., Sainz, H., & (eds). (1997). *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Editorial Planeta

Courty, M.-A. (2017). Fuel origin and firing product preservation in archaeological occupation contexts. *Quaternary International*, *431 (Part A)*, 116-130. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.067

Courty, M.-A., Allue, E., & Henry, A. (2020). Forming mechanisms of vitrified charcoals in archaeological firing-assemblages. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *30*, 102215. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102215

Couvert, M. (1969). Étude de quelques charbons préhistoriques de la grotte Capeletti. *Lybica*, *17*, 213-128.

Couvert, M. (1976). Traduction des elements de la flore préhistorique en facteurs climatiques. *Lybica*, *24*, 9-20.

D

D'Ambrosio, U., Garnatje, T., Gras, A., Parada, M., & Vallès, J. (2020). *Plantes medicinals de Catalunya*. Farell editors

Damesin, C., Rambal, S., & Joffre, R. (1998). Co-occurrence of trees with different leaf habit: A functional approach on Mediterranean oaks. *Acta Oecologica*, *19(3)*, 195-204. https://doi.

org/10.1016/S1146-609X(98)80024-6

Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdottir, A. E., Jouzel, J., & Bond, G. (1993). Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, *364*, 218-220. https://doi.org/10.1038/364218a0

Dansgaard, W., White, J. W. C., & Johnsen, S. J. (1989). The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature*, *339*, 532-534. https://doi.org/10.1038/339532a0

Daura, J., Sanz, M., Oms, F. X., Pedro, M., Martínez, P., Mendiela, S., Oliva-Poveda, M., Gibaja, J. F., Mozota, M., Alonso-Eguíluz, M., Albert, R. M., Allué, E., Bañuls-Cardona, S., López-García, J. M., Santos-Arévalo, F. J., & Fullola, J. M. (2019). Deciphering Neolithic activities from a Cardial burial site (Cova Bonica) on the western Mediterranean coast. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *23*, 324-347. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.10.036

Daux, V., Michelot-Antalik, A., Lavergne, A., Pierre, M., Stievenard, M., Bréda, N., & Damesin, C. (2018). Comparisons of the Performance of δ13C and δ18O of Fagus sylvatica, Pinus sylvestris, and Quercus petraea in the Record of Past Climate Variations. *123*, 1145-1160. https://doi.org/10.1002/2017JG004203

de la Peña, P., Colino, F., Francesco, d. E., Wadley, L., Banks, W. E., Stratford, D., & Backwell, L. (2022). Lithic technological and spatial analysis of the final Pleistocene at Border Cave, South Africa. *Quaternary Science Reviews*, *296*, 107802. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107802

De Lumley, H. (2017). *La domestication du feu aux temps paléolithiques*. Odile Jacob

de Vries, H. (1958). Atomic Bomb Effect: Variation of Radiocarbon in Plants, Shells, and Snails in the Past 4 Years. *Science*, *128(3318)*, 250-251. https:/doi.org/10.1126/science.128.3318.250

Debussche, M., & Lepart, J. (1992). Establishment of woody plants i mediterranean old fields: opportunity in space and time. *Landscape Ecology*, *6*, 133-145.

Deforce, K., & Haneca, K. (2012). Ashes to ashes. Fuelwood selection in Roman cremation rituals in northern Gaul. *Journal of Archaeological Science*, *39(5)*, 1338-1348. https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.024

Del Valle, H., Cáceres, I., Tornero, C., Burguet-Coca, A., Moclán, A., & Vergès, J. M. (2022). ATR-FTIR to distinguish Holocene fumier facies. A perspective from bone diagenesis at El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Spain). *Journal of Archaeological Science*, *141*, 105582. https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105582

Delhon, C., Martin, L., & Thiébault, S. (2023). Neolithic shepherds and sheepfold caves in Southern France and adjacent areas: An overview from 40 years of bioarchaeological analyses. *Quaternary International*, *in press*. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.03.004

Delhon, C., Thiébault, S., & Berger, J. F. (2009). Environment and landscape management during the Middle Neolithic in Southern France: Evidence for agro-sylvo-pastoral systems in the Middle Rhone Valley. *Quaternary International*, *200(1-2)*, 50-65. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.008

Delhon, C., Thiébault, S., Brochier, J. L., & Berger, J. F. (2010). Dynamiques de végétation au Tardiglaciaire et à Holocène ancien en moyenne vallée du Rhône d□ après les données anthracologiques. *Quaternaire*, *21(3)*, 281-293. https://doi.org/0.4000/

quaternaire.5620

Depaermentier, M. L. C., Osztás, A., Bánffy, E., Alt, K. W., & Kempf, M. (2020). Neolithic land-use, subsistence, and mobility patterns in Transdanubia: A multiproxy isotope and environmental analysis from Alsónyék – Bátaszék and Mórágy – Tűzkődomb. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *33*, 102529. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102529

Descola, P. (1988). *La selva culta. Simbolismo y praxis en la ecología de los Achuar*. Abya-Yala

Di Cola, V., Broennimann, O., Petitpierre, B., Breiner, F. T., D'Amen, M., Randin, C., Engler, R., Pottier, J., Pio, D., Dubuis, A., Pellissier, L., Mateo, R. G., Hordijk, W., Salamin, N., & Guisan, A. (2017). ecospat: an R package to support spatial analyses and modeling of species niches and distributions. *Ecography*, *40(6)*, 774-787. https://doi.org/10.1111/ecog.02671

Di Iorio, A., Lasserre, B., Scippa, G. S., & Chiatante, D. (2005). Root system architecture of Quercus pubescens trees growing on different sloping conditions. *Annals of Botany*, *95(2)*, 351-361. https://doi.org/10.1093/aob/mci033

Di Pasquale, G., Saracino, A., Bosso, L., Russo, D., Moroni, A., Bonanomi, G., & Allevato, E. (2020). Coastal pine-oak glacial refugia in the Mediterranean Basin: A biogeographic approach based on charcoal analysis and Spatial Modelling. *Forests*, *11*, 673, https://doi.org/610.3390/f11060673.

Di Rita, F., Fletcher, W. J., Aranbarri, J., Margaritelli, G., Lirer, F., & Magri, D. (2018). Holocene forest dynamics in central and western Mediterranean: periodicity, spatio-temporal patterns and climate influence. *Scientific Reports*, *8(1)*, 8929. https://doi.org/10.1038/s41598-018-27056-2

Dibble, H. L., Abodolahzadeh, A., Aldeias, V., Goldberg, P., McPherron, S. P., & Sandgathe, D. M. (2017). How Did Hominins Adapt to Ice Age Europe without Fire? *Current Anthropology*, *58 (S16)*, S278-S287. 10.1086/692628

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N. D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E. C., Jones, B., Barber, C. V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., Sechrest, W., Price, L., Baillie, J. E. M., Weeden, D., Suckling, K., Davis, C., Sizer, N., Moore, R., Thau, D., Birch, T., Potapov, P., Turubanova, S., Tyukavina, A., de Souza, N., Pintea, L., Brito, J. C., Llewellyn, O. A., Miller, A. G., Patzelt, A., Ghazanfar, S. A., Timberlake, J., Klöser, H., Shennan-Farpón, Y., Kindt, R., Lillesø, J.-P. B., van Breugel, P., Graudal, L., Voge, M., Al-Shammari, K. F., & Saleem, M. (2017). An Ecoregion-Based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, *67(6)*, 534-545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014

Domingo, I., & Roman, D. (2020). Beyond the Palaeolithic: Figurative final Palaeolithic art in Mediterranean Iberia. *Quaternary International*, *564*, 100-112. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.034

Domingo, M., & Borau, A. (1998). *Muntanyes de Prades. Paisatge i fauna* (Cossetania, Ed.). Cossetania

Domínguez-Rodrigo, M., & Cobo-Sánchez, L. (2017). A spatial analysis of stone tools and fossil bones at FLK Zinj 22 and PTK I (Bed I, Olduvai Gorge, Tanzania) and its bearing on the social organization of early humans. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, *488*, 21-34. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.04.010

Domínguez-Rodrigo, M., Uribelarrea, D., Santonja, M., Bunn, H. T., García-Pérez, A., Pérez-González, A.,

Panera, J., Rubio-Jara, S., Mabulla, A., Baquedano, E., Yravedra, J., & Díez-Martín, F. (2014). Autochthonous anisotropy of archaeological materials by the action of water: experimental and archaeological reassessment of the orientation patterns at the Olduvai sites. *Journal of Archaeological Science*, *41*, 44-68. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.025

Donaldson, L., Radotić, K., Kalauzi, A., Djikanović, D., & Jeremić, M. (2010). Quantification of compression wood severity in tracheids of Pinus radiata D. Don using confocal fluorescence imaging and spectral deconvolution. *Journal of Structural Biology*, *169*, 106-115. https://doi.org/10.1016/j.jsb.2009.09.006

Donaldson, L. A., Grace, J., & Downes, G. M. (2004). Within-tree variation in anatomical properties of compression wood in Radiata Pine. *IAWA Journal*, *25(3)*, 253-271. https://doi.org/10.1163/22941932-90000364

Dormann, C. F. (2007). Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology*, *8*, 387-397. https://doi.org/10.1016/j.baae.2006.11.001

Driscoll, K., Alcaina, J., Égüez, N., Mangado, X., Fullola, J.-M., & Tejero, J.-M. (2016). Trampled under foot: A quartz and chert human trampling experiment at the Cova del Parco rock shelter, Spain. *Quaternary International*, *424*, 130-142. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.04.054

Dudík, M., Phillips, S. J., & Schapire, R. E. (2007). Maximum Entropy Density Estimation with Generalized Regularization and an Application to Species Distribution Modeling. *Journal of Machine Learning Research*, *8(44)*, 1217-1260.

Dufraisse, A. (2014). Relation entre modes de collecte du bois de feu et état du milieu forestier: essai d'application du principe du moindre effort. In R. M. Arbogast & A. Greffier-Richard (Eds.), *Entre archéologie et écologie, une Préhistoire de tous les milieux. Mélanges offerts à Pierre Pétrequin* (Vol. Environnement, sociétés et archéologie 18, pp. 493-504). Presses universitaires de Franche-Comté

Dufraisse, A., Coubray, S., Girardclos, O., Nocus, N., Lemoine, M., Dupouey, J. C., & Marguerie, D. (2018). Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. *Quaternary International*, *463*, 232-249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065

Dufraisse, A., Coubray, S., Picornell-Gelabert, L., Alcolea, M., Girardclos, O., Delarue, F., & Nguyen Tu, T.-T. (2022). Taming Trees, Shaping Forests, and Managing Woodlands as Resources for Understanding Past Societies. Contributions and Current Limits of Dendro-Anthracology and Anthraco-Isotopy [Mini Review]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 135. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.823968

Dufraisse, A., & García-Martínez, M. S. (2011). Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. *Outils dendrométriques et interprétation des données. Anthropobotanica*, *2*, 1-18.

Dussol, L., Elliott, M., & Théry-Parisot, I. (2017). Experimental anthracology: Evaluating the role of combustion processes in the representivity of archaeological charcoal records in tropical forests, a case study from the Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *12*, 480-490. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.02.020

E

Edo, M., & Antolín, F. (2016). Cova de Can Sadurní, la transformació d'un jaciment. L'episodi sepulcral del neolític postcardial. In *Tribuna d'Arqueologia 2012-2013* (pp. 80-104). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

Edo, M., Blasco, A., & Villalba, M. J. (2011). La cova de Can Sadurní, guio sintètic de la prehistòria recent de Garraf. In A. Blasco, M. Edo, & M. J. Villalba (Eds.), *La cova de Can Sadurní i la Prehistòria de Garraf. Recull de 30 anys d'investigació* (pp. 13-95). EDAR-Hugony

Eerkens, J. W., & Lipo, C. P. (2007). Cultural Transmission Theory and the Archaeological Record: Providing Context to Understanding Variation and Temporal Changes in Material Culture. *Journal of Archaeological Research*, *15*, 239-274. http://www.jstor.org/stable/41053240

Eklund, L., & Säll, H. (2000). The influence of wind on spiral grain formation in conifer trees. *Trees*, *14*, 324-328. https://www.proquest.com/scholarly-journals/influence-wind-on-spiral-grain-formation-conifer/docview/49282338/se-2?accountid=15293

Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M., & E. Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29(2)*, 129-151. https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *17(1)*, 43-57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Equip-Sarró. (2000). Les Roques del Sarró (Lleida, Segrià): Evolució de l'assentament entre 3600 cal. a.n.e. i el 175 a.n.e. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, *10*, 103-173.

Erostarbe-Tome, A., Tejero, J.-M., & Arrizabalaga, A. (2022). Technical and conceptual behaviours of bone and antler exploitation of last hunter-gatherers in Northern Iberia. The osseous industry from the Magdalenian layers of Ekain cave (Basque Country, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *41*, 103329. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103329

ESRI. (2011). *ArcGis Desktop: Release 10*. In CA: Environmental Systems Research Institute.

Esteve, X., Rovira, C., Fadrique, T., & Allué, E. (2012). L'estructura 378 de Mas d'en Boixos-1 (Pacs del Penedès, Alt Penedès): una tomba de cremació aïllada de l'ibèric antic. In M. C. Rovira, F. J. López-Cachero, & F. Mazière (Eds.), *Les necròpolis d'incineració entre l'Ebre i el Tíber (segles IX-VI aC): metodologia, pràctiques funeràries i societat* (pp. 119-125). Monografies de Barcelona, 14

Estrada, A., Tejero, J. M., Mangado, X., Petit, M. A., Fullola, J. M., Bartolí, R., & Esteve, X. (2010). *From Mediterranean Sea to The Segre River. Perforated shells from magdalenian levels of Parco's cave (Alòs de Balaguer, Lleida, Spain)* Proceedings of 2nd ICAZ malacological group Meeting, San Sebastián, 70-77

Euba, I., Allué, E., & Burjachs, F. (2016). Wood uses at El Mirador Cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International*, *414(1)*, 285-293. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.084

Evans, R. C., & Dickinson, T. (1999). Floral Ontogeny and Morphology in Subfamily Amygdaloideae T. & G. (Rosaceae). *International Journal of Plant Sciences*, *160(5)*, 955-979.

F

Feeser, I., Dörfler, W., Kneisel, J., Hinz, M., & Dreibrodt, S. (2019). Human impact and population dynamics in the Neolithic and Bronze Age: Multi-proxy evidence from north-western Central Europe. *The Holocene*, *29(10)*, 1596-1606. http://doi.org/10.1177/0959683619857223

Fernández-Laso, M. C., Rosell, J., Blasco, R., & Vaquero, M. (2020). Refitting bones: Spatial relationships between activity areas at the Abric Romaní Level M (Barcelona, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *29*, 102188. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102188

Fernández, J., Vergès, J. M., & Allué, E. (2013). Estudio de los procesos postdeposicionales de estructuras de combustión: una propuesta experimental en hogares al aire libre y en abrigo. *Quadern de Prehistòria Catalana*, *21*, 39-63.

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *37 (12)*, 4302-4315.

Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. SAGE

Figueiral, I. (1987). *Analyse anthracologique de deux gisements chalolithiques de l'Hérault: Borssarges et Richemont* [DEA, Université Paul Valéry]. Montpellier.

Figueiral, I. (1990). *Le nord-ouest du Portugal et les modifications de l'écosystème: du bronze final à l'époque romaine; d'après l'anthracoanalyse de sites archéologiques* [Thèse doctorale, Université des Sciences et techniques du Langedoc]. Montpellier.

Fitzpatrick, M. C., Lachmuth, S., & Haydt, N. T. (2021). The ODMAP protocol: a new tool for standardized reporting that could revolutionize species distribution modeling. *Ecography*, *44(7)*, 1067-1070. https://doi.org/10.1111/ecog.05700

Fletcher, W., Carrión, J. S., Fernández, S., González-Sampériz, P., López-Merino, L., Peña, L., Burjachs, F., López-Sáez, J. A., García-Antón, M., Carrión-Marco, Y., Uzquiano, P., Postigo, J. M., Barrón, E., Allué, E., Badal, E., Dupré, M., Fierro, E., Munuera, M., Rubiales, J. M., García-Amorena, I., Jiménez-Moreno, G., Gil-Romera, G., Leroy, S., García-Martínez, M. S., Montoya, E., Yll, E., Vieira, M., Rodríguez-Ariza, M. O., Anderson, S., Peñalba, C., Gil-García, M. J., Pérez-Sanz, A., Albert, R. M., Díez, M. J., Morales, C., Gómez-Manzaneque, F., Parra, I., Ruiz-Zapata, B., Riera, S., Zapata, L., Ejarque, A., Vegas, T., Rull, V., Scott, L., Andrade, A., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Moreno, E., Hernández-Mateo, L., Sánchez-Baena, J. J., Riquelme, J. A., Iglesias, R., Franco, F., Chaín, C., Figueiral, I., Grau, E., Matos, M., Jiménez-Espejo, F., Arribas, A., Garrido, G., Finlayson, G., Finlayson, C., Ruiz, M., Pérez-Jordà, G., & Miras, Y. (2012). *Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario*. Ministerio de Economía y Competitividad

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. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.07.002

Fliche, M. P. (1907). Note sur un charbon

quaternaire de Châtaignier (Castanea vulgaris Lamk) [Article]. *Bulletin de la Societe Botanique de France*, *54*, 132-136. https://doi.org/10.1080/00378941.1907.10831239

Ford, R. I. (1979). Paleoethnobotany in American Archaeology. *Advances in archaeological method and theory*, *2*, 285-336.

Fortea, J. (1973). *Los complejos microlaminares y geométricos del Epipaleolítico mediterráneo español.*

Früchtenicht, E., Neumann, L., Klein, N., Bonal, D., & Brüggemann, W. (2018). Response of Quercus robur and two potential climate change winners' Quercus pubescens and Quercus ilex—To two years summer drought in a semi-controlled competition study: I—Tree water status. *Environmental and Experimental Botany*, *152*, 107-117. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.01.002

Fuente-Fernández, Ó. (2022). Environmental conditions around fire inside paleolithic caves. The hearths of Tito Bustillo (Ribadesella, Asturias, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *45*, 103590. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103590

Fuentes, O., Lucas, C., & Robert, E. (2019). An approach to Palaeolithic networks: the question of symbolic territories and their interpretation through Magdalenian art. *Quaternary International*, *503(b)*, 233-247. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.017

Fullola, J. M., Bartolí, R., Bergadà, M., Burjachs, F., Meneses, D., & Nadal, J. (1997). *Le Magdalénien ancien en Catalogne: approche à l'étude des couches inférieures de la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida)* Actes del Col.loqui Internacional sobre el món mediterrani després del Pleniglacial (18.000-12.000 BP), Girona, 303-319

Fullola, J. M., Bergadà, M., & Bartolí, R. (1990). La cova del Parco (Alòs de Balaguer, Lleida): darreres campanyes d'excavacions (1988-90). In *Tribuna d'Arqueologia 1990-1991* (pp. 17-26). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

Fullola, J. M., Mangado, X., Estrada, A., & Nadal, J. (2006). Comunidades humanas y circulación de recursos, bióticos y abióticos, en el Paleolítico superior del Noreste de la Península Ibérica. *Zephyrus*, *59*, 89-96.

Fullola, J. M., Mangado, X., Tejero, J. M., Petit, M. A., Bergadà, M. M., Nadal, J., García-Argüelles, P., Bartolí, R., & Mercadal, O. (2012). The Magdalenian in Catalonia (northeast Iberia). *Quatern. Int.*, *272-273*, 55-74.

Fullola, J. M., Petit, M. A., Mangado, X., Bartolí, R., Albert, R. M., & Nadal, J. (2004). *Occupation épipaléolithique microlamellaire de la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, Catalogne, Espagne)* Actes del XIV Congrés de l'UISPP 2001, Lieja, 121128

Fyfe, R. M., Woodbridge, J., Palmisano, A., Bevan, A., Shennan, S., Burjachs, F., Legarra Herrero, B., García Puchol, O., Carrión, J.-S., Revelles, J., & Roberts, C. N. (2019). Prehistoric palaeodemographics and regional land cover change in eastern Iberia. *The Holocene*, *29(5)*, 799-815. https://doi.org/10.1177/0959683619826643

G

Gabucio, M. J., Bargalló, A., Saladié, P., Romagnoli, F., Chacón, M. G., Vallverdú, J., & Vaquero, M. (2023). Using GIS and Geostatistical Techniques to Identify Neanderthal Campsites at archaeolevel Ob at Abric Romaní. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *15*, 24. https://

doi.org/10.1007/s12520-023-01715-6

Galanidou, N. (2000). Patterns in Caves: Foragers, Horticulturists, and the Use of Space. *Journal of Anthropological Archaeology*, *19*, 243-275. https://doi.org/10.1006/jaar.1999.0362

Galobart, À., García, L., Güell, A., Millán, M., Ros, M. T., & Serrano, G. (1991). *Estudi de la fauna i flora fòssils de la Cova de la Guineu i el seu entorn*. Universitat Central de Barcelona

García-Argudo, G., Fernández-Marchena, J. L., Vergès, J. M., & Fullola, J. M. (2020). Contributions of microscopy to the study of the Upper Paleolithic Homalopoma sanguineum shell beads. *Quaternary International*, *569-570*, 23-38. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.08.049

García-Argüelles, P., Nadal, J., & Fullola, J. M. (2005). El abrigo del Filador (Margalef de Montsant, Tarragona) y su contextualización cultural y cronológica en el nordeste peninsular. *Trabajos de Prehistória*, *62(1)*, 65-83.

García-Argüelles, P., Nadal, J., Fullola, J. M., Bergadà, M. M., Domingo, I., Allué, E., & Lloveras, L. (2014). Nuevas interpretaciones del Paleolítico superior final de la Cataluña meridional: el yacmiento de l'Hort de la Boquera (Priorat, Tarragona). *Trabajos de Prehistória*, *71 (2)*, 242-260.

García-Argüelles, P., Nadal, J., Roman, D., Lloveras, L., & Bergadà, M. M. (2020). Las facies microlaminares del final del Paleolítico superior en el sur de Cataluña. In D. Roman, P. García-Argüelles, & J. M. Fullola (Eds.), *Facies microlaminares del final del Paleolítico en el Mediterráneo ibérico y el valle del Ebro* (Vol. 17, pp. 117-147). Monografies del Serp, 17

García-Catalán, S. (2007). La industria lítica del nivel Asup del Molí del Salt (Vimbodí, Tarragona) y su contextualización en el Paleolítico superior final de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistória*, *64 (2)*, 157-168.

García-Catalán, S., Gómez de Soler, B., Soto, M., & Vaquero, M. (2013). Los sistemas de producción lítica en el Paleolítico superior final: el caso del nivel ASup del Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Tarragona). *Zephyrus*, *LXXII*, 39-58.

García-Diez, M., & Vaquero, M. (2006). La variabilité graphique du Molí del Salt (Vimbodí, Catalogne, Espagne) et l'art mobilier de la fin du Paléolithique supérieur à l'est de la Péninsule Ibérique. *L'anthropologie*, *110(4)*, 453-481. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2006.07.009

García-Diez, M., & Vaquero, M. (2015). Looking at the camp: Paleolithic depiction of a hunter-gatherer campsite. *PLOS ONE*, *10 (12)*, e0143002. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143002

García-Esteban, L., de Palacios de Palacios, P., Guindeo Casasús, A., García-Esteban, L., Lázaro Durán, I., González Fernández, L., Rodríguez Labrador, Y., García Fernandez, F., Bobadilla Maldonado, I., & Camacho Atalaya, A. (2002). *Anatomía e identificación de maderas de coníferas a nivel de especie*. Fundación Conde del Valle de Salazar

García-Esteban, L., Guindeo-Casasús, A., Peraza-Oramas, C., & de-Palacios-de-Palacios, P. (2003). *La madera y su anatomía*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Mundi-Prensa, AITIM

García-Moreno, A. (2013). To see or to be seen. . . is that the question? An evaluation of palaeolithic sites' visual presence and their role in social organization. *Journal of Anthropological Archaeology*, *32*, 647-658.

García-Moreno, A. (2015). The Incidence of Potential Insolation on Settlement Dynamics and Site Location

Preferences: A Case Study From the Cantabrian Late Palaeolithic. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *3*, 90-99. http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.05.020

García-Moreno, A., Hutson, J. M., Villaluenga, A., Turner, E., & Gaudzinski-Windheuser, S. (2021). A detailed analysis of the spatial distribution of Schöningen 13II-4 Spear Horizon faunal remains. *Journal of Human Evolution*, *152*, 102947. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2020.102947

García Catalán, S., & Vaquero Rodríguez, M. (2015). La variabilidad tecnológica del Paleolítico superior final en el sur de Cataluña: la cueva de la Mallada (Perelló, Tarragona) y el abrigo de l'Areny (Vilanova d'Escornalbou, Tarragona). *Trabajos de Prehistória*, *72(1)*, 64-83. https://doi.org/10.3989/tp.2015.12144

García, I., Garrido, R., Rojo-Guerra, M., & Tejedor, C. (2012). Historia de un debate: planteamientos teóricos sobre la neolitización de Europa y la Península Ibérica. In M. Rojo-Guerra, R. Garrido-Pena, & Í. García-Martínez de Lagrán (Eds.), *El Neolítico en la Península Ibérica y su contexto europeo* (pp. 71-94). Editorial Cátedra

Gargett, R., & Hayden, B. (1991). Site Structure, Kinship, and Sharing in Aboriginal Australia. In E. M. Kroll & T. D. Price (Eds.), *The Interpretation of Archaeological Spatial Patterning* (pp. 11-32). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2602-9_2

Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Rodríguez, D., Obea, L., Quesada, M., & Díaz, S. (2017). The Beginning of High Mountain Occupations in the Pyrenees. Human Settlements and Mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC. In J. Catalan, J. M. Ninot, & M. M. Aniz (Eds.), *High Mountain Conservation in a Changing World* (pp. 75-105). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_4

Gassiot, E., Mazzucco, N., Díaz-Bonilla, S., Obea-Gómez, L., Rey-Lanaspa, J., Barba-Pérez, M., Garcia-Casas, D., Rodríguez-Antón, D., Salvador-Baiges, G., Salvador-Ortín, T., & Clemente-Conte, I. (2021). Mountains, Herds and Crops: Notes on New Evidence from the Early Neolithic in the Southern Central Pyrenees. *Open Archaeology*, *7(1)*, 1015-1034. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0193

Gassiot, E., Mazzucco, N., Obea, L., Tarifa, N., Antolín, F., Clop, X., Navarrete, V., & Saña, M. (2015). La Cova del Sardo de Boí i l'explotació de l'alta muntanya als Pirineus occidentals en època neolítica. In *Tribuna d'Arqueologia 2012-2013* (pp. 199-218). Generalitat de Catalunya

Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Burjachs, F., Antolín, F., & Ballesteros, A. (2012). Poblamiento, explotación y entorno natural de los estadios alpinos y subalpinos del Pirineo central durante la primera mitad del Holoceno. *Cuaternario y Geomorfología*, *26 (3-4)*, 29-45.

Gauvrit Roux, E., Cattin, M.-I., Yahemdi, I., & Beyries, S. (2020). Reconstructing Magdalenian hunting equipment through experimentation and functional analysis of backed bladelets. *Quaternary International*, *554*, 107-127. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.06.038

Gea-Izquierdo, G., Martín-Benito, D., Cherubini, P., & Cañellas, I. (2009). Climate-growth variability in Quercus ilex L. west Iberian open woodlands of different stand density. *Annals of Forest Science*, *66*, 802-802. http://doi.org/10.1051/forest/2009080

Gendek, A. (2015). Combustion heat and calorific value of the mix of sawdust and cones of common pine (Pinus sylvestris L.). *Annals of Warsaw*

University of Life Sciences, *66*, 137-144.

Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, *24(3)*, 189-206. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1992.tb00261.x

Gibaja, J. F., Morell, B., López-Onaindía, D., Zemour, A., Bosch, A., Tarrús, J., & Eulàlia-Subirà, M. (2018). Nuevos datos cronológicos sobre la cueva sepulcral neolítica de l'Avellaner (Les Planes d'Hostoles, Girona). *MUNIBE*, *69*, 145-155. https://doi.org/10.21630/maa.2018.69.01

Gillings, M., Hacigüzeller, P., & Lock, G. (Eds.). (2020). *Archaeology and spatial analysis*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781351243858.

Gkouma, M., & Karkanas, P. (2018). The physical environment in Northern Greece at the advent of the Neolithic. *Quaternary International*, *496*, 14-23. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.034

Gómez-Merino, G., Sarró, M. I., García-Diez, M., Vaquero, M., & Vallverdú, J. (2007). *Caracterización de materia colorante y agentes de deterioro en las placas grabadas paleolíticas del Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Conca de Barberà, Tarragona)* Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría, Universitat i Futur, Girona, 251-261

Gómez de Soler, B., Allué, E., Cámara, J., Campeny, G., Chacón, M. G., Díez-Canseco, C., Guinart, V., Mas, B., Soares-Remiseiro, M., Soto, M., Suesta, A., & Vallverdú, J. (2023). Cal Sitjo: A new Mesolithic to Neolithic sequence in a chert-rich region (Sant Martí de Tous, NE Iberia). *Journal of Lithic Studies*, *10(2)*, 25 p. https://doi.org/10.2218/jls.7487

González-Sampériz, 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. (2017). Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: A view from the lake records. *CATENA*, *149*, 668-688. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.041

González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Moreno, A., Morellón, M., Sevilla-Callejo, M., Leunda, M., Santos, L., Franco-Múgica, F., Andrade, A., Carrión, J. S., & Valero-Garcés, B. L. (2020). Strong continentality and effective moisture drove unforeseen vegetation dynamics since the last interglacial at inland Mediterranean areas: The Villarquemado sequence in NE Iberia. *Quaternary Science Reviews*, *242*, 106425. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106425

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(3)*, 427-457. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2010.03.009

González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B., Carrión, J. S., Peña-Monné, J. L., García-Ruíz, J. M., & Martí-Bono, C. (2005). Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: new data and a review. *Quaternary International*, *140-141*, 4-20. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.05.006

Gorczynski, C., & Molki, B. (1969). Anatomical changes of commonly used wood species from an anrchaeological excavation. *Archaeologica Polona*, *XI*, 147-171.

Gowlett, J. A. J. (2016). The discovery of fire by humans: a long and convoluted

process. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371(1696)*, 20150164. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0164

Grau, E. (1991). *El uso de la madera en yacimientos valencianos de la Edad del Bronce a la Época Visigoda. Datos etnobotánicos y reconstrucción ecológica según la Antracología* [Tesis doctoral, Universidad de Valencia]. Valencia.

Gravel-Miguel, C., & Wren, C. D. (2018). Agent-based least-cost path analysis and the diffusion of Cantabrian Lower Magdalenian engraved scapulae. *Journal of Archaeological Science*, *99*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.08.014

Grivet, D., & Petit, R. (2003). Chloroplast DNA phylogeography of the hornbeam in Europe: evidence for a bottleneck at the outset of postglacial colonization. *Conservation Genetics*, *4*, 47-56. https://doi.org/10.1023/A:1021804009832

Guilaine, J. (2018). A personal view of the neolithisation of the Western Mediterranean. *Quaternary International*, *470*, 211-225. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.019

Guilaine, J. (2019). The Neolithisation of Europe: An Arrhythmic Process. In B. Horejs & M. Brami (Eds.), *The Central/Western Anatolian Farming Frontier* (pp. 241-250). Verlag der Ã sterreichischen Akademie der Wissenschaftenhttp://www.austriaca.at:8080/0xc1aa5576_0x003b2954.pdf

Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J. J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P. E., McCarthy, M. A., Tingley, R., & Wintle, B. A. (2015). Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. *24*, 276-292. https://doi.org/10.1111/geb.12268

Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, *8*, 993-1009. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x

Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge University Press.https://doi.org/10.1017/9781139028271

Gutiérrez-Zugasti, I., & Cuenca-Solana, D. (2015). Ornaments from the Magdalenian burial area in El Mirón Cave (Cantabria, northern Spain). Were they grave goods? *Journal of Archaeological Science*, *60*, 112-124. https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.04.012

H

Halbrucker, É., Fiers, G., Vandendriessche, H., De Kock, T., Cnudde, V., & Crombé, P. (2021). Burning flint: An experimental approach to study the effect of fire on flint tools. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *36*, 102854. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102854

Halstead, P. (2018). Forest clearance and land use by early farmers in Europe: Insights from north Greek oral history. *Quaternary International*, *496*, 42-50. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.010

Halvorsen, R., Mazzoni, S., Dirksen, J. W., Næsset, E., Gobakken, T., & Ohlson, M. (2016). How important are choice of model selection method and spatial autocorrelation of presence data for distribution modelling by MaxEnt? *Ecological Modelling*, *328*, 108-118. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.02.021

Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, *143*, 29-

36. https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747

Hanson, C. B. (1980). Fluvial taphonomic processes: models and experiments. In A. K. Behrensmeyer & A. Hill (Eds.), *Fossils in the making* (pp. 156-181). University of Chicago Press

Harmon, C., & Manen, C. (2021). The Mechanisms of Neolithisation of Western Europe: Beyond a South/North Approach. *Open Archaeology*, *7(1)*, 718-735. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0164

Hartz, H., & Milthers, V. (1901). Det senglaciale Ler i Allerød Teglværksgrav. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, *8*, 31-60.

He, P., Li, J., Li, Y., Xu, N., Gao, Y., Guo, L., Huo, T., Peng, C., & Meng, F. (2021). Habitat protection and planning for three Ephedra using the MaxEnt and Marxan models. *Ecological Indicators*, *133*, 108399. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108399

Heer, O. (1865). *Die Pflanzen der Pfahlbauten*. Druck von Zürcher undFurrer

Heinz, C. (1983). *Analyse anthracologique et paléodendroclimatique du gisement préhistorique de l'Abeurador (Félines-Minervois), Hérault* [DEA, Université des Sciences et Thecniques du Languedoc]. Montpellier.

Heinz, C. (1990). Dynamique des végétations holocénes en mediterrannée nord-occidentale d'après l'anthracoanalyse de sites préhistoriques methodologie and paleoécologie. *Paleobiologie Continentale*, *XVI*, 1-212.

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(4)*, 299-324. http://doi.org/10.1016/0034-6667(91)90034-z

Heinz, C., & Barbaza, M. (1998). Environmental changes during the Late Glacial and Post-Glacial in the central Pyrenees (France): new charcoal analysis and archaeological data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *104 (1)*, 1-17.

Heinz, C., & Thiébault, S. (1998). Characterization and Palaeoecological Significance of Archaeological Charcoal Assemblages during Late and Post-Glacial Phases in Southern France. *Quaternary Research*, *50(1)*, 55-68. https://doi.org/10.1006/qres.1998.1978

Heinz, C., & Vernet, J. L. (1995). Anàlisi antracològica dels nivells mesolítics i del neolític antic de la Balma de la Margineda. Paleoecologia i relacions home-vegetació. In J. Guilaine & M. Marztluff (Eds.), *Les excavacions a La Balma de la Margineda (1979-1991)* (Vol. III, pp. 26-64). Govern d'Andorra, Ministeri d'Afers Socials i Cultura

Henry, A. (2011). *Paléoenvironnements et gestion des combustibles au Mésolithique dans le sud de la France: anthracologie, ethnoarchéologie et expérimentation* [Thèse doctorale, Université Nice Sophia Antipolis]. Nice.

Henry, A., Bouby, L., & Valdeyron, N. (2011). Environment and plant economy during the Mesolithic in the Haut-Quercy (Lot, France): anthracological and carpological data. *Saguntum Extra*, *11*, 79-80.

Henry, A., Coli, V. L., Valdeyron, N., & Théry-Parisot, I. (2020). Old taphonomy issues, new charcoal data for Mesolithic contexts: Impact of fragment size and sampling context on the assemblages of Escabasses cave (SW France). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *30*, 102232. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102232

Henry, A., & Théry-Parisot, I. (2014). From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for

identifying the use of rotten wood as fuel. *Journal of Archaeological Science*, *52*, 321-336. http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2014.09.005

Henry, A., Théry-Parisot, I., & Voronkova, E. (2009). La gestion du bois de feu en forêt boréale: problématique archéo-anthracologique et étude d'un cas ethnographique (Région de l'Amour, Sibérie). In I. Théry-Parisot, S. Costamagno, & A. Henry (Eds.), *Gestion des combustibles au paléolithique et au mésolithique Nouveaux outils, nouvelles interprétations. Fuel Management during the Palaeolithic and Mesolithic Periods New tools, new interpretations* (pp. 17-37). BAR 1914. https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00448652

Henry, A., Valdeyron, N., Boudy, L., & Théry-Parisot, I. (2013). History and evolution of Mesolithic landscapes in the Haut-Quercy (Lot, France): New charcoal data from archaeological context. *The Holocene*, *23(1)*, 127-136. https://doi.org/10.1177/0959683612455547

Henry, D. (2012). The palimpsest problem, hearth pattern analysis, and Middle Paleolithic site structure. *Quaternary International*, *247*, 246-266. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.10.013

Hijmans, R. J. (2012). Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *93(3)*, 679-688. https://doi.org/10.1890/11-0826.1

Hijmans, R. J. (2022). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.5-29*. In https://CRAN.R-project.org/package=raster

Hijmans, R. J., Phillips, S. J., Leathwick, J., & Elith, J. (2021). *dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.3-5*. In https://CRAN.R-project.org/package=dismo

Hirzel, A., & Guisan, A. (2002). Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. *Ecological Modelling*, *157(2)*, 331-341. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00203-X

Holden, T. G., Hather, J. G., & Watson, J. P. N. (1995). Mesolithic Plant Explotation at the Roc del Migdia, Catalonia. *Journal of Archaeological Science*, *22(6)*, 769-778. https://doi.org/10.1016/0305-4403(95)90006-3

Hughes, P. D., & Gibbard, P. L. (2015). A stratigraphical basis for the Last Glacial Maximum (LGM). *Quaternary International*, *383*, 174-185. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.006

Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, *22*, 415-427. https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039

I

Ibañez, N., & Saladié, P. (2004, April 8-11th). *El Molí del Salt (Vimbodí, La Conca de Barberà): Nuevos datos sobre el estudio de la fauna* Actas del 1º Congreso Peninsular de Estudiantes de Prehistoria, Tarragona, 254-261

Ilvonen, L., López-Sáez, J. A., Holmström, L., Alba-Sánchez, F., Pérez-Díaz, S., Carrión, J. S., Ramos-Román, M. J., Camuera, J., Jiménez-Moreno, G., Ruha, L., & Seppä, H. (2022). Spatial and temporal patterns of Holocene precipitation change in the Iberian Peninsula. *51*, 776-792. https://doi.org/10.1111/bor.12586

Iriarte-Chiapusso, M. J., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., Hernández-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernández 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. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.029

Irish, J. D., Bratlund, B., Schild, R., Kolstrup, E., Królik, H., Mańka, D., & Boroń, T. (2008). A late Magdalenian perinatal human skeleton from Wilczyce, Poland. *Journal of Human Evolution*, *55(4)*, 736-740. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.03.007

J

Jafarov, E. E., Loudermilk, L. E., Hiers, K. J., Williams, B., Linn, R., Jones, C., Hill, S. C., & Atchley, A. L. (2021). Linking habitat suitability with a longleaf pine-hardwood model: Building a species-predictive fire-land management framework. *Ecological Modelling*, *440*, 109387. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109387

Jalut, G., Dedoubat, J. J., Fontugne, M., & Otto, T. (2009). Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. *Quaternary International*, *200(1-2)*, 4-18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.03.012

Jalut, G., Esteban-Amat, A., Riera-Mora, S., Fontugne, M., Mook, R., Bonnet, L., & Gauquelin, T. (1997). Holocene climatic changes in the western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, *325(5)*, 327-334. https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)81380-8

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(3)*, 255-290. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00075-4

Jalut, G., Marti, J. M., Fontugne, M., Delibrias, G., Vilaplana, J. M., & Julia, R. (1992). Glacial to interglacial vegetation changes in the northern and southern Pyrénées: Deglaciation, vegetation cover and chronology. *Quaternary Science Reviews*, *11(4)*, 449-480. https://doi.org/10.1016/0277-3791(92)90027-6

Jalut, G., Turu i Michels, V., Dedoubat, J.-J., Otto, T., Ezquerra, J., Fontugne, M., Belet, J. M., Bonnet, L., de Celis, A. G., Redondo-Vega, J. M., Vidal-Romaní, J. R., & Santos, L. (2010). Palaeoenvironmental studies in NW Iberia (Cantabrian range): Vegetation history and synthetic approach of the last deglaciation phases in the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *297(2)*, 330-350. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.08.012

Jessen, K. (1935). Archaeological Dating in the History of North Jutland's Vegetation. In *Acta archaeologica* (pp. 185-214). Munksgaard

Jessen, K. (1938). Some west Baltic pollen diagrams. *Quartär-Internationales Jahrbuch zur Erforschung des Eiszeitalters und der Steinzeit*, *1*, 124-139.

Jiménez, P., de Heredia, U. L., Collada, C., Lorenzo, Z., & Gil, L. (2004). High variability of chloroplast DNA in three Mediterranean evergreen oaks indicates complex evolutionary history. *Heredity*, *93(5)*, 510-515. https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800551

Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dansgaard, W., Fuhrer, K., Gundestrup, N., Hammer, C. U., Iversen, S. J., Steffensen, J. P., Jouzel, J., & Stauffer, B. (1992). Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, *359*, 311-313.

Johnson, R. L. (1978). Timber Harvesting from Wetlands. In P. E. Greeson, J. R. Clark, & J. E. Clark (Eds.), *Wetland Functions and Values the state of our understanding* (pp. 163-170). American Water Resources Association

Jones, E. L., Straus, L. G., Marín-Arroyo, A. B., & González Morales, M. R. (2023). Structuring domestic space in the Lower Magdalenian: an analysis of the fauna from Level 115 of El Mirón Cave, Cantabria. *Antiquity*, *97*, 280-294. https://doi.org/10.15184/aqy.2023.9

Jordá, J. F., Mora, R., & Piqué, R. (1992). La secuencia litoestratigráfica y arqueológica del Yacimiento de la Font del Ros (Berga, Barcelona). *Cuaternario y Geomorfología*, *6*, 21-30.

Julien, M. (2006). À la recherche des campements d'hiver dans le Magdalénien du Bassin parisien. *Bulletin de la Société préhistorique française*, *103(4)*, 695-709. https://doi.org/10.3406/bspf.2006.13500

K

Kabukcu, C. (2018). Wood Charcoal Analysis in Archaeology. In E. Pişkin, A. Marciniak, & M. Bartkowiak (Eds.), *Environmental Archaeology: Current Theoretical and Methodological Approaches* (pp. 133-154). Springer International Publishing http://doi.org/10.1007/978-3-319-75082-8_7

Kabukcu, C., & Chabal, L. (2021). Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: Achievements and prospects. *Quaternary International*, *593-594*, 6-18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004

Kedar, Y., Kedar, G., & Barkai, R. (2020). Setting fire in a Paleolithic Cave: The influence of cave dimensions on smoke dispersal. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *29*, 102112. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102112

Kedar, Y., Kedar, G., & Barkai, R. (2022). The influence of smoke density on hearth location and activity areas at Lower Paleolithic Lazaret Cave, France. *Scientific Reports*, *12*, 1469. https://doi.org/10.1038/s41598-022-05517-z

Kempf, M. (2020). Neolithic land-use, landscape development, and environmental dynamics in the Carpathian Basin. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *34*, 102637. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102637

Kerig, T., & Shennan, S. (Eds.). (2015). *Connecting networks : characterising contact by measuring lithic exchange in the European neolithic*. Archeopress Publishing Ltd.

Kidder, T. R. (1997). Sugar Reflotation: An Alternative Method for Sorting Flotation-Derived Heavy Fraction Samples. *Journal of Field Archaeology*, *24(1)*, 39-45. https://doi.org/10.2307/530559

Kijowska-Oberc, J., Staszak, A. M., Kamiński, J., & Ratajczak, E. (2020). Adaptation of Forest Trees to Rapidly Changing Climate. *Forests*, *11(2)*, 123. https://doi.org/10.3390/f11020123

Kintigh, K. W., & Ammerman, A. J. (1982). Heuristic Approaches to Spatial Analysis in Archaeology. *American Antiquity*, *47(1)*, 31-63. https://doi.org/10.2307/280052

Knockaert, J., Balasse, M., Rendu, C., Burens, A., Campmajo, P., Carozza, L., Bousquet, D., Fiorillo, D., & Vigne, J.-D. (2018). Mountain adaptation of caprine herding in the eastern Pyrenees during the Bronze Age: A stable oxygen and carbon isotope analysis of teeth. *Quaternary International*, *484*, 60-74. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.029

Krauss-Marguet, I. (1981). Analyse anthracologique du gisement postglaciaire de la Poujade (Millau, Aveyron). *Paleobiologie Continentale*, *12(1)*, 93-110.

L

Laborda, R., Martínez-Moreno, J., Plasencia Figueroa, J., González Marcén, P., & Mora, R. (2021). Font del Ros y el Neolítico Antiguo en el nordeste de la península ibérica. *Trabajos de Prehistória*, *78*, 237-256. https://doi.org/10.3989/tp.2021.12274

Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., & Sambridge, M. (2014). Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *PNAS*, *111(43)*, 15296-15303. https://doi.org/10.1073/pnas.1411762111

Lancelotti, C., Madella, M., Ajithprasad, P., & Petrie, C. A. (2010). Temperature, compression and fragmentation: an experimental analysis to access the impact of taphonomic processes on charcoal preservation. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *2(4)*, 307-320. https://doi.org/10.1007/s12520-010-0046-8

Lancelotti, C., Negre Pérez, J., Alcaina-Mateos, J., & Carrer, F. (2017). Intra-site Spatial Analysis in Ethnoarchaeology. *Environmental Archaeology*, *22(4)*, 354-364. https://doi.org/10.1080/14614103.2017.1299908

Langlais, M. (2010). *Les Sociétés magdaléniennes de l'isthme pyrénéen.*

Langlais, M., Costamagno, S., Laroulandie, V., Pétillon, J.-M., Discamps, E., Mallye, J.-B., Cochard, D., & Kuntz, D. (2012). The evolution of Magdalenian societies in South-West France between 18,000 and 14,000 calBP: Changing environments, changing tool kits. *Quaternary International*, *272-273*, 138-149. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.02.053

Langley, M. C., & Street, M. (2013). Long range inland–coastal networks during the Late Magdalenian: Evidence for individual acquisition of marine resources at Andernach-Martinsberg, German Central Rhineland. *Journal of Human Evolution*, *64*, 457-465. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.01.015

Laplace, G. (1971). De l'application des coordennées cartésiennes à la fouille stratigraphique. *MUNIBE*, *XXIII (2/3)*, 223-236.

Laroulandie, V. (2016). Hunting fast-moving, low-turnover small game: The status of the snowy owl (Bubo scandiacus) in the Magdalenian. *Quaternary International*, *414*, 174-197. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.146

Lefebvre, A., Marín-Arroyo, A. B., Álvarez-Fernández, E., De la Rasilla Vives, M., Matías, E. D., Cueto, M., Tapia, J., Berganza, E., & Pétillon, J. M. (2021). Interconnected Magdalenian societies as revealed by the circulation of whale bone artefacts in the Pyreneo-Cantabrian region. *Quaternary Science Reviews*, *251*, 106692. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106692

Lefebvre, A., Pétillon, J. M., Cueto, M., Álvarez-Fernández, E., Arias, P., Ontañón, R., Berganza, E., & Marín-Arroyo, A. B. (2023). New insights into the use and circulation of reindeer antler in northern Iberia during the Magdalenian (ca. 21-13 cal ka BP). *Journal of Archaeological Science*, *150*, 105708. https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105708

Leroi-Gourhan, A. (1976). L'hábitat au Paléolithique supérieur. In *Les structures d'habitat au Paléolithique supérieur. IXe Congrès international de l'UISPP, Nice, 1976* (pp. 85-92). Colloque XIII

Leroi-Gourhan, A. (1979). Structures de combustion et structures d'excavation. *Revista do Museu Paulista*, *XXVI*, 9-10.

Leroy, S. A. G., Amini, A., Gregg, M. W., Marinova, E., Bendrey, R., Zha, Y., Beni, A. N., & Fazeli Nashli, H. (2019). Human responses to environmental change on the southern coastal plain of the Caspian Sea during the Mesolithic and Neolithic periods. *Quaternary Science Reviews*, *218*, 343-364. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.06.038

Leunda, M., Gil-Romera, G., Daniau, A.-L., Benito, B. M., & González-Sampériz, P. (2020). Holocene fire and vegetation dynamics in the Central Pyrenees (Spain). *CATENA*, *188*, 104411. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104411

Lévi-Strauss, C. (1966). The culinary triangle. *New Society*, *8*, 937-940.

Lévi-Strauss, C. (1982). *The way of the masks*. Johnathan Cape

Lévi-Strauss, C. (1987). *Anthropology and myth: Lectures 1951-1982*. Blackwell

Levin, S. A. (1981). The role of theoretical ecology in the description and understanding of populations in heterogeneous environments. *American Zoologist*, *21(4)*, 865-875. http://www.jstor.org/stable/3882739

Li, F., Wu, L., Zhu, C., Zheng, C., Sun, W., Wang, X., Shao, S., Zhou, Y., He, T., & Li, S. (2013). Spatial–temporal distribution and geographic context of Neolithic cultural sites in the Hanjiang River Basin, Southern Shaanxi, China. *Journal of Archaeological Science*, *40*, 3141-3152. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.010

Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A., & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, *17(2)*, 145-151. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x

Lombardo, T., Grolimund, D., Kienholz, A., Hubert, V., & Wörle, M. (2016). The use of flint-stone fragments as "fire-strikers" during the Neolithic period: Complementary micro-analytical evidences. *Microchemical Journal*, *125*, 254-259. https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.007

López-Bultó, O., & Piqué Huerta, R. (2018). Wood Procurement at the Early Neolithic site of La Draga (Banyoles, Barcelona). *Journal of Wetland Archaeology*, *18(1)*, 56-76. https://doi.org/10.1080/14732971.2018.1466415

López-García, J. M., Blain, H.-A., Allué, E., Bañuls, S., Bargalló, A., Martín, P., Morales, J. I., Pedro, M., Rodríguez, A., Solé, A., & Oms, F. X. (2010). First fossil evidence of an "interglacial refugium" in the Pyrenean region. *Naturwissenschaften*, *97(8)*, 753-761. https://doi.org/10.1007/s00114-010-0695-6

López-García, J. M., Blain, H.-A., Bennàsar, M., Euba, I., Bañuls, S., Bischoff, J., López-Ortega, E., Saladié, P., Uzquiano, P., & Vallverdú, J. (2012). A multiproxy reconstruction of the palaeoenvironment and palaeoclimate of the Late Pleistocene in northeastern Iberia: Cova dels Xaragalls, Vimbodí-Poblet, Paratge Natural de Poblet, Catalonia. *Boreas*, *41(2)*, 235-249. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00234.x

López-García, J. M., Soler, N., Maroto, J., Soler, J., Alcalde, G., Galobart, À., Bennàsar, M., & Burjachs, F. (2015). Palaeoenvironmental and palaeoclimatic reconstruction of the Latest Pleistocene of L'Arbreda Cave (Serinyà, Girona, northeastern Iberia) inferred from the small-mammal (insectivore and rodent) assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *435*, 244-253. https://

doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.022

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. *34*, 1505-1517. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01715.x

Lowe, J., Rasmussen, S. O., Björck, S., Hork, 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. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.09.016

Lucejko, J. J., Tamburini, D., Modugno, F., Ribechini, E., & Colombini, M. P. (2021). Analytical Pyrolysis and Mass Spectrometry to Characterise Lignin in Archaeological Wood. *Applied sciences*, *11*, 240. https://www.mdpi.com/2076-3417/11/1/240

Ludemann, T., & Nelle, O. (2017). Anthracology: local to global significance of charcoal science. *Quaternary International*, *457*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.003

Luengo, S. (2017). *Análisis funcional de raspadores en sílex del Molí del Salt. Aproximación experimental* [Master Thesis Dissertation, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona.

M

MacDougall, A. S., Gilbert, B., & Levine, J. M. (2009). Plant invasions and the niche. *Journal of Ecology*, *97(4)*, 609-615. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01514.x

Machado, M. C. (1994). *Primeros estudios antracológicos en el Archipiélago canario. Las comarcas de Icode y Daute, NW de Tenerife* [Tesis doctoral, Universidad de la Laguna]. Santa Cruz de Tenerife.

Madella, M., & Zurro, D. (2007). *Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis* (M. Madella, Ed.). Oxbow Books

Madritsch, S., Wischnitzki, E., Kotrade, P., Ashoub, A., Burg, A., Fluch, S., Brüggemann, W., & Sehr, E. M. (2019). Elucidating Drought Stress Tolerance in European Oaks Through Cross-Species Transcriptomics. *G3 Genes|Genomes|Genetics*, *9(10)*, 3181-3199. https://doi.org/10.1534/g3.119.400456

Maestre, F. T., Valladares, F., & Reynolds, J. F. (2005). Is the change of plant–plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *93(4)*, 748-757. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01017.x

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

Magyari, E. (2002). Holocene biogeography of Fagus sylvatica L. and Carpinus betulus L. in the Carpathian-Alpine region. *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis*, *26*, 15-35.

Mainland, I., Card, N., Saunders, M. K., Webster, C., Isaksen, L., Downes, J., & Littlewood, M. (2014). 'SmartFauna': a microscale GIS-based multi-dimensional approach to faunal deposition at the Ness of Brodgar, Orkney. *Journal of Archaeological Science*, *41*, 868-878. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.10.019

Mallol, C., & Henry, A. (2017).

Ethnoarchaeology of Paleolithic fire: methodological considerations. *Current Anthropology*, *58*, S217-S229. https://doi.org/10.1086/691422

Mangado, X., Bartolí, R., Calvo, M., Nadal, J., Fullola, J. M., & Petit, M. A. (2002). Evolución de los sistemas de captación de recursos entre el Magdaleniense superior final y el Epipaleolítico geométrico de la Cueva del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera, Lleida). *Zephyrus*, *55*, 143-155.

Mangado, X., Fullola, J. M., Tejero, J. M., Petit, M. A., Sánchez de la Torre, M., & Bartolí, R. (2015). Aportacions clau de la Cova del Parco (Alòs de Balaguer, la Noguera, Lleida) al Magdalenià: vint-i-cinc anys de recerca arqueològica. In *Tribuna d'Arqueologia 2012-2013* (pp. 86-99). Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura

Mangado, X., Petit, M. A., Fullola, J. M., & Bartolí, R. (2007). El Paleolític superior final de la cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera). *Revista d'Arqueologia de Ponent*, *16-17*, 45-62.

Mangado, X., Petit, M. A., Fullola, J. M., Bartolí, R., Bergadà, M. M., Esteve, X., Calvo, M., Tejero, J. M., & Estrada, A. (2009). *Els caçadors-recol·lectors de la cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida): el magdalenià superior* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 565-577

Mangado, X., & Sánchez de la Torre, M. (2016). *Memòria de la campanya 2016 a l'Abric del Xicotó (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida)*. Departament de Cultura, Direcció General del Patrimoni Cultural, Generalitat de Catalunya. http://hdl.handle.net/10687/439062

Mangado, X., Tejero, J. M., Fullola, J. M., Petit, M. A., García-Argüelles, P., García, M., Soler, N., & Vaquero, M. (2010). *Nuevos territorios, nuevos grafismos: una visión del Paleolítico superior en Catalunya a inicios del siglo XXI* El Paleolítico superior peninsular. Novedades del siglo XXI, Barcelona, 63-83

Mangado, X., Tejero, J. M., Fullola, J. M., Petit, M. A., & Sánchez, M. (2014). *La cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida). Secuencia del Magdaleniense* Los cazadores recolectores del pleistoceno y del holoceno en Iberia y el estrecho de Gibraltar, Burgos, 152-158

Mangerud, J., Andersen, S. T., Berglund, B. E., & Donner, J. J. (1974). Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, *3*, 109-126. https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1974.tb00669.x

Mareković, S., & Šoštarić, R. (2016). A comparison of the influences of flotation and wet sieving on certain carbonized legume and cereal remains. *Acta Botanica Croatica*, *75(1)*, 144 -148. https://doi.org/10.1515/botcro-2016-0019

Marinova, E., & Ntinou, M. (2018). Neolithic woodland management and land-use in south-eastern Europe: The anthracological evidence from Northern Greece and Bulgaria. *Quaternary International*, *496*, 51-67. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.004

Marinova, E., & Thiebault, S. (2008). Anthracological analysis from Kovacevo, southwest Bulgaria: woodland vegetation and its use during the earliest stages of the European Neolithic. *Vegetation History and Archaeobotany*, *17(2)*, 223-231. https://doi.org/10.1007/s00334-007-0103-0

Marshall, M. (2013). Hunter-gatherers got on fine with Europe's first farmers. *New Scientist*, *220*, 17. https://doi.org/10.1016/S0262-4079(13)62472-0

Martín-Seijo, M., & Piqué, R. (2008). *Consumo especializado de combustibles en el Neolítico : los datos antracológicos del yacimiento de Auvelles (Castelló de Farfanya, Lleida)* IV Congreso del Neolítico Peninsular, Alicante, 432–437

Martín, A., Edo, M., Tarrús, J., & Clop, X. (2010). Le Néolithique ancien de Catalogne (VIe première moitié du Ve millénaire av. J.C.). Les séquences chronoculturelles. In C. Manen, F. Convertini, D. Binder, & I. Sénépart (Eds.), *Premières Sociétés Paysannes de Méditerrannée Occidentale. Structure des Productions Cerámiques* (pp. 1-18). Sénace de la Sociéte Préhistorique Française

Martín, P., & Oms, F. X. (2021). Early Neolithic husbandry in the Pre-Pyrenean area. The management of herds at the Cova Colomera (Serra del Montsec, Spain) and its implications for the Early occupation of the region. *Open Archaeology*, *7(1)*, 1216-1234. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0190

Martínez-Molina, K. (2005). *Análisis funcional de industrias líticas el Pleistoceno superior. El Paleolítico medio del Abric Romaní (Capellades, Barcelona) y el Paleolítico superior de Üçagizili (Hatay, Turquía) y el Molí del Salt (Vimbodí). Cambios en los patrones funcionales entre Paleolítico medio y superior* [Tesis Doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona. http://hdl.handle.net/10803/8613

Martínez-Moreno, J., & Mora, R. (2009). Balma Guilanyà (Prepirineo de Lleida) y el Aziliense en el noreste de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistória*, *66 (2)*, 45-60.

Mas, B., & Allué, E. (2020). Estudi antracològic de la Cova del Toll (Moià). In J. Guilaine, M. Llongueras, M. A. Petit, & F. X. Oms (Eds.), *El Neolític i l'edat del Bronze a la Cova del Toll (Moià, Barcelona): les excavacions de 1976-1977* (Vol. 16, pp. 129-148). Monografies del SERP, 16

Mas, B., Allué, E., Alonso, E. S., & Vaquero, M. (2021). From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *13(12)*, 1-18. http://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2

Mas, B., Allué, E., Sánchez de la Torre, M., Parque, O., Tejero, J. M., Mangado, X., & Fullola, J. M. (2018). Settlement patterns during the Magdalenian in the south-eastern Pyrenees, Iberian Peninsula. A territorial study based on GIS. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *22*, 237-247. http://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.10.002

Mas, B., Oms, F. X., & Allué, E. (2022). Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: An anthracological approach. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *300*, 104624. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104624

Mas, B., Riera, S., & Allué, E. (2023). Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario. *Ecological Informatics*, *74*, 101984. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984

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(3)*, 243-255. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001

McGovern, P. E., Zhang, J., Tang, J., Zhang, Z., Hall, G. R., Moreau, R. A., Nuñez, A., Butrym, E. D., Richards, M. P.,

Wang, C. S., Cheng, G., Zhao, Z., & Wang, C. (2004). Fermented beverages of pre- and proto-historic China. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *101(51)*, 17593-17598. https://doi.org/10.1073/pnas.0407921102

McParland, L. C., Collinson, M. E., Scott, A. C., Campbell, G., & Veal, R. (2010). Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science*, *37 (10)*, 2679-2687.

McSweeney, C. F., Jones, R. G., Lee, R. W., & Rowell, D. P. (2015). Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. *Climate Dynamics*, *44(11)*, 3237-3260. http://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8

Médail, F., & Diadema, K. (2009). Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *36*, 1333-1345. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02051.x

Médail, F., Monnet, A.-C., Pavon, D., Nikolic, T., Dimopoulos, P., Bacchetta, G., Arroyo, J., Barina, Z., Albassatneh, M. C., Domina, G., Fady, B., Matevski, V., Mifsud, S., & Leriche, A. (2019). What is a tree in the Mediterranean Basin hotspot? A critical analysis. *Forest Ecosystems*, *6*, 17. https//doi.org/10.1186/s40663-019-0170-6

Mediavilla, S., & Escudero, A. (2004). Stomatal responses to drought of mature trees and seedlings of two co-occurring Mediterranean oaks. *Forest Ecology and Management*, *187(2)*, 281-294. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.006

Medina-Alcaide, M. Á., Sanchidrián Torti, J. L., & Zapata Peña, L. (2015). Lighting the dark: Wood charcoal analysis from Cueva de Nerja (Málaga, Spain) as a tool to explore the context of Palaeolithic rock art. *Comptes Rendus Palevol*, *14*, 411-422. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.03.010

Merow, C., Smith, M. J., & Silander Jr, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, *36(10)*, 1058-1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Mücher, C. A., & Watkins, J. W. (2005). A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, *14(6)*, 549-563. https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00190.x

Mir, A., & Freixas, A. (1993). La Font Voltada, un yacimiento de finales del Paleolítico superior en Montbrió de la Marca (la Conca de Barberà, Tarragona). *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *10*, 13-21.

Mircetich, S. M., & Matheron, M. E. (1976). Phytophthora Root and Crown Rot of cherry trees. *Phytopathology*, *66(5)*, 549-558.

Moclán, A., Huguet, R., Márquez, B., Álvarez-Fernández, A., Laplana, C., Arsuaga, J. L., Pérez-González, A., & Baquedano, E. (2023). Identifying activity areas in a neanderthal hunting camp (the Navalmaíllo Rock Shelter, Spain) via spatial analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *15*, 44. https://doi.org/10.1007/s12520-023-01746-z

Monforte-Barberán, A., Beamud, E., Breu, A., Cuscó, R., López-Bultó, O., Sisa-López de Pablo, J., Gallego, J. M., Martínez, P., & Molist, M. (2023). A multidisciplinary toolset to study a fifth millennium combustion structure from the northeastern coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *47*, 103760. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103760

Moor, H., Hylander, K., & Norberg, J. (2015). Predicting climate change effects on wetland ecosystem services using species distribution modeling and plant functional traits. *AMBIO*, *44(1)*,

113-126. 10.1007/s13280-014-0593-9

Mora, R., Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., Marcen, P. G., & De La Torre, I. (2011). Chrono-stratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (south-eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula). *Journal of Quaternary Science*, *26(6)*, 635-644. https://doi.org/10.1002/jqs.1486

Mora, R., Martínez-Moreno, J., & Benito Calvo, A. (2013). *Memòria d'excavació Cova Gran de Santa Linya (Les Avellanes i Santa Linya, La Noguera) (2012-2013)*. Departament de Cultura, Direcció General del Patrimoni Cultural, Generalitat de Catalunya. http://hdl.handle.net/10687/425763

Mora, R., Pizarro, J., Lou, M., Jordá-Pardo, J., & Benito-Calvo, A. (2009). El jaciment de Forat de Conqueta (Santa Linya, Lleida). Localització i característiques geològiques. *Treballs d'Arqueologia*, *16*, 7-15.

Morales-Molino, C., Vescovi, E., Krebs, P., Carlevaro, E., Kaltenrieder, P., Conedera, M., Tinner, W., & Colombaroli, D. (2015). The role of human-induced fire and sweet chestnut (Castanea sativa Mill.) cultivation on the long-term landscape dynamics of the southern Swiss Alps. *The Holocene*, *25(3)*, 482-494. https://doi.org/10.1177/0959683614561884

Morales, J. I., Burjachs, F., Allué, E., Fontanals, M., Soto, M., Expósito, I., Gassiot, E., Pèlachs, A., Pérez-Obiols, R., Soriano, J. M., Vergès, J. M., & Yll, E. (2012). Paleogeografía humana durante el Tardiglaciar y Holoceno incial en el ámbito mediterráneo del NE Ibérico. *Cuaternario y Geomorfología*, *26 (3-4)*, 11-28.

Morales, J. I., Vergès, J. M., Fontanals, M., Ollé, A., Allué, E., & Angelucci, D. E. (2013). Procesos técnicos y culturales durante el Holoceno inicial en el noroeste de la Península Ibérica. Los niveles B y Bb de La Cativera (El Catllar, Tarragona). *Trabajos de Prehistória*, *70(1)*, 54-75. https://doi.org/10.3989/tp.2013.12102

Morellón, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Sampériz, P., Mata, P., Romero, O., Maestro, M., & Navas, A. (2008). Holocene palaeohydrology and climate variability in northeastern Spain: The sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range). *Quaternary International*, *181*, 15-31. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.021

Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., & Alberdi, I. (2021). Shrub richness is primarily driven by climate conditions in Southwestern European woodlands. *Annals of Forest Science*, *78(4)*, 98. http://doi.org/10.1007/s13595-021-01117-5

Morgado, S., Morgado, M., Plácido, A. I., Roque, F., & Duarte, A. P. (2018). Arbutus unedo L.: From traditional medicine to potential uses in modern pharmacotherapy. *Journal of Ethnopharmacology*, *225*, 90-102. https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.07.004

Moskal-del Hoyo, M., Wachowiak, M., & Blanchette, R. A. (2010). Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, *37(9)*, 2106-2116. https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.02.007

Movius, H. L. (1966). The Hearths of the Upper Périgordian and Aurignacian Horizons at the Abri Pataud, Les Eyzies (Dordogne), and Their Possible Significance. *American Anthropologist*, *68*, 296-325. http://www.jstor.org/stable/670743

Mugiyo, H., Chimonyo, V. G. P., Kunz, R., Sibanda, M., Nhamo, L., Ramakgahlele Masemola, C., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2022). Mapping the spatial distribution of underutilised crop species under climate change

using the MaxEnt model: A case of KwaZulu-Natal, South Africa. *Climate Services*, *28*, 100330. https://doi.org/10.1016/j.cliser.2022.100330

Muller, R. A. (1977). Radioisotope Dating with a Cyclotron. *Science*, *196(4289)*, 489-494. https://doi.org/10.1126/science.196.4289.489

Muñoz-Sobrino, C., García-Moreiras, I., Gómez-Orellana, L., Iriarte-Chiapusso, M. J., Heiri, O., Lotter, A. F., & Ramil-Rego, P. (2017). The last hornbeam forests in SW Europe: new evidence on the demise of Carpinus betulus in NW Iberia. *Vegetation History and Archaeobotany*, https://doi.org/10.1007/s00334-00017-00654-00337.

N

Nadal, J. (1998). *Les faunes del Plistocè final-Holocè a la Catalunya meridional i de ponent. Interpretacions tafonòmiques i paleoculturals* [Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona]. Barcelona.

Naimi, B., Hamm, N., Groen, T. A., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. *Ecography*, *37*, 191-203. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x

Natali, E., & Forgia, V. (2018). The beginning of the Neolithic in Southern Italy and Sicily. *Quaternary International*, *470*, 253-269. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.07.004

Neruda, P. (2017). GIS analysis of the spatial distribution of Middle Palaeolithic artefacts in Kůlna Cave (Czech Republic). *Quaternary International*, *435*, 58-76. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.028

Newman, G. S., Arthur, M. A., & Muller, R. N. (2006). Above- and Belowground Net Primary Production in a Temperate Mixed Deciduous Forest. *Ecosystems*, *9(3)*, 317-329. https://doi.org/10.1007/s10021-006-0015-3

Niedziałkowska, M., Jędrzejewska, B., Wójcik, J. M., & Goodman, S. J. (2012). Genetic structure of red deer population in northeastern Poland in relation to the history of human interventions. *The Journal of Wildlife Management*, *76(6)*, 1264-1276. https://doi.org/10.1002/jwmg.367

Nikulina, A. V. (2019). GIS-based analysis of settlement patterns for the central Baraba Lowland (Western Siberia, Russia) in relation to climatic conditions of the Middle – Late Holocene. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *24*, 302-312. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.018

Ninot, J. M., Carrillo, E., & Ferré, A. (2017). The Pyrenees. In J. Loidi (Ed.), *The vegetation of the Iberian Peninsula* (Vol. Plant and Vegetation 12, pp. 323-366). Springer. https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-54784-8_8

Njenga, M., Gitau, J. K., & Mendum, R. (2021). Women's work is never done: Lifting the gendered burden of firewood collection and household energy use in Kenya. *Energy Research & Social Science*, *77*, 102071. https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102071

Ntinou, M. (2002). *La paleovegetación en el norte de Grecia desde el Tardiglaciar hasta el Atlántico: formaciones vegetales, recursos y usos* (Vol. 1038). BAR International Series 1038

Ntinou, M., Heinz, C., & Badal, E. (1999). Resultados preliminares del proyecto etnoarqueológico de Sarakini (Tracia, Grecia): comparación con la antracología prehistórica. In *Geoarqueologia i Quaternari Litoral. Memorial Maria Pilar Fumanal* (pp. 179-191).

O

O'Donnell, J., Gallagher, R. V., Wilson, P. D., Downey, P. O., Hughes, L., & Leishman, M. R. (2012). Invasion hotspots for non-native plants in Australia under current and future climates. *Global Change Biology*, *18(2)*, 617-629. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02537.x

O'Connell, J. F., Hawkes, K., & Jones, N. B. (1991). Distribution of Refuse-Producing Activities at Hadza Residential Base Camps. In E. M. Kroll & T. D. Price (Eds.), *The Interpretation of Archaeological Spatial Patterning* (pp. 61-76). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2602-9_4

Obea, L., Celma, M., Piqué, R., Gassiot, E., Martín, M., Salvador, G., Rodríquez, D., Quesada, M., Mazzucco, N., Garcia, D., Díaz, S., & Clemente, I. (2021). Firewood-gathering strategies in high mountain areas of the Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Central Pyrenees) during Prehistory. *Quaternary International*, *593-594*, 129-143. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.044

Obea, L., Piqué, R., Martin, M., & Gassiot, E. (2011). The exploitation of forest resources in mountain areas during the Neolithic in the northeast of Iberian Peninsula. *Saguntum*, *11*, 129-130.

Olalde, I., Mallick, S., Patterson, N., Rohland, N., Villalba-Mouco, V., Silva, M., Dulias, K., Edwards, C. J., Gandini, F., Pala, M., Soares, P., Ferrando-Bernal, M., Adamski, N., Broomandkhoshbacht, N., Cheronet, O., Culleton, B. J., Fernandes, D., Lawson, A. M., Mah, M., Oppenheimer, J., Stewardson, K., Zhang, Z., Jiménez-Arenas, J. M., Toro-Moyano, I. J., Salazar-García, D. C., Castanyer, P., Santos, M., Tremoleda, J., Lozano, M., García Borja, P., Fernández-Eraso, J., Mujika-Alustiza, J. A., Barroso, C., Bermúdez, F. J., Viguera Mínguez, E., Burch, J., Coromina, N., Vivó, D., Cebrià, A., Fullola, J. M., García-Puchol, O., Morales, J. I., Oms, F. X., Majó, T., Vergès, J. M., Díaz-Carvajal, A., Ollich-Castanyer, I., López-Cachero, F. J., Silva, A. M., Alonso-Fernández, C., Delibes de Castro, G., Jiménez-Echevarría, J., Moreno-Márquez, A., Pascual-Berlanga, G., Ramos-García, P., Ramos-Muñoz, J., Vijande-Vila, E., Aguilella-Arzo, G., Esparza-Arroyo, Á., Lillios, K. T., Mack, J., Velasco-Vázquez, J., Waterman, A., Benítez de Lugo-Enrich, L., Benito-Sánchez, M., Agustí, B., Codina, F., de Prado, G., Estalrrich, A., Fernández Flores, Á., Finlayson, C., Finlayson, G., Finlayson, S., Giles-Guzmán, F., Rosas, A., Barciela-González, V., García-Atiénzar, G., Hernández-Pérez, M. S., Llanos, A., Carrión-Marco, Y., Collado-Beneyto, I., López-Serrano, D., Sanz-Tormo, M., Valera, A. C., Blasco, C., Liesau, C., Ríos, P., Daura, J., de Pedro Michó, M. J., Diez-Castillo, A. A., Flores Fernández, R., Francès-Farré, J., Garrido-Pena, R., Gonçalves, V. S., Guerra-Doce, E., Herrero-Corral, A. M., Juan-Cabanilles, J., López-Reyes, D., McClure, S. B., Merino-Pérez, M., Oliver-Foix, A., Sanz-Borràs, M., Sousa, A. C., Vidal Encinas, J. M., Kennett, D. J., Richards, M. B., Werner-Alt, K., Haak, W., Pinhasi, R., Lalueza-Fox, C., & Reich, D. (2019). The genomic history of the Iberian Peninsula over the past 8000 years. *Science*, *363 (6432)*, 1230-1234. https://doi.org/10.1126/science.aav4040

Olalde, I., Schroeder, H., Sandoval-Velasco, M., Vinner, L., Lobón, I., Ramirez, O., Civit, S., García-Borja, P., Salazar-García, D. C., Talamo, S., Fullola, J. M., Oms, F. X., Pedro, M., Martínez, P., Sanz, M., Daura, J., Zilhão, J., Marquès-Bonet, T., Gilbert, M. T. P., & Lalueza-Fox, C. (2015). A common genetic origin for early farmers from

Mediterranean Cardial and Central European LBK cultures. *Molecular biology and evolution*, *32(12)*, 3132-3142.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, *51(11)*, 933-938. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2

Oms, F. X. (2017). Fases y territorios de la neolitización del NE de la Península Ibérica ca. 5600-4900 cal BC. *MUNIBE*, *68*, 155-177. https://doi.org/10.21630/maa.2017.68.01

Oms, F. X., Bargalló, A., Chaler, M., Fontanals, M., García, M. S., López, J. M., Morales, J. I., Nievas, T., Rodríguez, A., Serra, J., Solé, À., & Vergès, J. M. (2008). *La Cova Colomera (Sant Esteve de la Sarga, Lleida), una cueva-redil en el prepirineo de Lérida. Primeros resultados y perspectivas de futuro* Actas IV Congreso del Neolítico Peninsular, Museo Arqueológico de Alicante. Alicante, 230-236

Oms, F. X., Bargalló, A., López-García, J. M., Morales, J. I., Pedro, M., & Solé, A. (2009a). L'arqueologia prehistòrica a la serralada del Montsec, des del segle XIX fins a l'actual projecte de recerca. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, *19*, 29-50.

Oms, F. X., Esteve, X., Mestres, J., Martín, P., & Martins, H. (2014). La neolitización del nordeste de la Península Ibérica: datos radiocarbónicos y culturales de los asentamientos al aire libre del Penedès. *Trabajos de Prehistória*, *71(1)*, 42-55. https://doi.org/10.3989/tp.2014.12123

Oms, F. X., López-García, J. M., Mangado, X., Martín, P., Mendiela, S., Morales, J. I., Pedro, M., Rodríguez, A., Rodríguez-Cintas, À., & Yubero, M. (2013). Hàbitat en cova i espai pels ramats CA. 6200-6000 BP: la Cova Colomera (Prepirineu de Lleida) durant el Neolític antic. *Saguntum*, *45*, 25-38. https://doi.org/10.7203/SAGVNTVM.45.2007

Oms, F. X., & Martín, A. (2018). Els primers pagesos i ramaders del nord-est de la península Ibèrica: El Neolític ca. 5600-2300 cal BC. In G. Remolins & J. F. Gibaja (Eds.), *Les valls d'Andorra durant el Neolític: un encreuament de camins al centre dels Pirineus* (pp. 37-62). Monografies del MAC 2

Oms, F. X., Martín, A., Esteve, X., Mestres, J., Morell, B., Subirà, M. E., & Gibaja, J. F. (2016). The Neolithic in Northeast Iberia: Chronocultural Phases and 14C. *Radiocarbon*, *58(2)*, 291-309. http://doi.org/10.1017/RDC.2015.14

Oms, F. X., Mestres, J., Martínez-Grau, H., Laborda, R., Antolín, F., Bergadà, M. M., Emens, A., Gibaja, J. F., González Olivares, C., Mangado, X., Martín, P., Mas, B., Nadal, J., & Fullola, J. M. (2021). Fases de ocupación y estratigrafía del asentamiento neolítico de Les Guixeres de Vilobí (Sant Martí Sarroca, Barcelona). *Trabajos de Prehistória*, *78(2)*, 257-276. http://doi.org/10.3989/tp.2021.12275

Oms, F. X., Pedro, M., Bargalló, A., López-García, J. M., Morales, J. I., & Solé, A. (2010). *El projecte arqueològic a la Serra del Montsec (Pallars Jussà). Noves dades per el coneixement del Neolítici i edat del Bronze al Prepirineu de Lleida* 2n Col·loqui d'Arqueologia d'Odèn, Odèn, 39-46

Oms, F. X., Pedro, M., Morales, J. I., Allué, E., Frigola, J., Mendiela, S., Rodríguez, A., Serra, J., & Yubero, M. (2015). *La Cova Colomera 30 anys després. Ocupacions humanes entre 6180-3280 BP al Congost*

de Mont-rebei. Campanyes de 2005-2011 Primeres Jornades d'Arqueologia i Paleontologia del Pirineu i Aran, Coll de Nargó i la Seu d'Urgell, 116-123

Oms, F. X., Petit, M. A., Allué, E., Bargalló, A., Blain, H. A., López-García, J. M., Martín, P., Morales, J. I., Pedro, M., Rodríguez, A., & Solé, A. (2009b). Estudio transdisciplinar de la fosa EE1 de la Cova Colomera (Prepirineo de Lleida): implicaciones domésticas y paleoambientales en el Bronce Antiguo del noreste de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistória*, *66 (1)*, 123-144.

Oms, F. X., Sánchez de la Torre, M., Petit, M. A., López-Cachero, F. J., & Mangado, X. (2019). Nuevos datos del VI y V milenio cal BC en el llano y Prepirineo de Lleida (NE de la Península Ibérica): el Abric del Xicotó y Les Auvelles. *Munibe Antropologia-Arkeologia*, *70*, 93-107.

Ontañón, R. (2003). Sols et structures d'habitat du Paléolithique supérieur, nouvelles données depuis les Cantabres : la Galerie Inférieure de La Garma (Cantabrie, Espagne). *L'anthropologie*, *107*, 333-363. https://doi.org/10.1016/S0003-5521(03)00037-2

Orengo, H. A. (2013). Combining terrestrial stereophotogrammetry, DGPS and GIS-based 3D voxel modelling in the volumetric recording of archaeological features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *76*, 49-55. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.07.005

Osoro, K., Ferreira, L. M. M., García, U., Jáuregui, B. M., Martínez, A., Rosa García, R., & Celaya, R. (2013). Diet selection and performance of sheep and goats grazing on different heathland vegetation types. *Small Ruminant Research*, *109*, 119-127. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.07.010

Out, W. A., Amkreutz, L. W. S. W., & Casparie, W. A. (2022). Spatial Analysis of Charcoal and Wood: The Case Study of the Late Neolithic Site of Hekelingen III, the Netherlands (2900–2500 BCE). *Journal of Wetland Archaeology*, 1-19. https://doi.org/10.1080/14732971.2022.2140893

P

Palet, J. M., Garcia, A., Orengo, H. A., & Polonio, T. (2017). Els espais altimontans pirenaics orientals a l'Antiguitat: 10 anys d'estudis en arqueologia del paisatge del GIAP-ICAC. *Treballs d'Arqueologia*, *21*, 77-97. https://doi.org/10.5565/rev/tda.59

Palomo, A., Bodganovic, I., Piqué, R., Rosillo, R., Terradas, X., Alcolea, M., Berihuete, M., & Saña, M. (2020). *The last foragers in the northeast of the Iberian Peninsula: New evidence of human occupation during the seventh/sixth millennia cal BC* Foraging Assemblages. Papers Presented the Ninth International Conference on the Mesolithic in Europe, Belgrade 2015, Belgrade, 289-294

Palomo, A., Gibaja, J. F., Piqué, R., Bosch, A., Chinchilla, J., & Tarrus, J. (2011). Harvesting cereals and other plants in Neolithic Iberia: The assemblage from the lake settlement at la Draga. *Antiquity*, *85 (329)*, 759-771. https://doi.org/10.1017/S0003598X00068290

Palomo, A., Piqué, R., Terradas, X., Bosch, À., Buxó, R., Chinchilla, J., Saña, M., & Tarrús, J. (2014). Prehistoric Occupation of Banyoles Lakeshore: Results of Recent Excavations at La Draga Site, Girona, Spain. *Journal of Wetland Archaeology*, *14(1)*, 58-73. https://doi.org/10.1179/1473297114Z.00000000010

Panareda, J. M. (2008). *Plantes de Muntanya*

(Vol. I). BRAU edicions

Parcero-Oubiña, C., & Nión-Álvarez, S. (2021). Forms of settlement inequality over space. A GIS-based method for measuring differences among settlements. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *35*, 102739. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102739

Pardo de Santayana, M., Morales, R., Tardío, J., Aceituno, L., & Molina, M. (Eds.). (2014). *Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, Gobierno de España.

Pardo de Santayana, M., Morales, R., Tardío, J., Aceituno, L., & Molina, M. (Eds.). (2018a). *Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad. Fase II* (Vol. 1). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, Gobierno de España.

Pardo de Santayana, M., Morales, R., Tardío, J., Aceituno, L., & Molina, M. (Eds.). (2018b). *Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad. Fase II* (Vol. 2). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, Gobierno de España.

Pardo de Santayana, M., Morales, R., Tardío, J., Aceituno, L., & Molina, M. (Eds.). (2018c). *Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad. Fase II* (Vol. 3). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, Gobierno de España.

Pascual, R. (2015). *Guia dels arbres dels Països Catalans*. 9 Grup Editorial, Cossetània Edicions

Pastor, I., Ibáñez-de-Aldecoa, M. J., Romero, L., & (coords.). (2008). *Tipología de bosques europeos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Paula, S., Arianoutsou, M., Kazanis, D., Tavsanoglu, Ç., Lloret, F., Buhk, C., Ojeda, F., Luna, B., Moreno, J. M., Rodrigo, A., Espelta, J. M., Palacio, S., Fernández-Santos, B., Fernandes, P. M., & Pausas, J. G. (2009). Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin. *Ecology*, *90(5)*, 1420-1420. https://doi.org/10.1890/08-1309.1

Paulsen, J., & Körner, C. (2014). A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany*, *124(1)*, 1-12. https://doi.org/10.1007/s00035-014-0124-0

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*, *59(7)*, 593-601. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10

Paz, M. A., & Vila, A. (1988). El Roc del Migdia (Vilanova de Sau, Osona): un jaciment mesolític atípic? *Tribuna d'Arqueologia,*, *1987-1988*, 133-143.

Pearsall, D. (1988). Interpreting the meaning of macroremain abundance: the impact of source and context. In C. A. Hastorf & V. Popper (Eds.), *Current Paleoethnobotany. Analytical methods and cultural interpretations of archaeological plaint remains* (pp. 97-118).

Pearsall, D. M. (2015). *Paleoethnobotany: A handbook of procedures (3rd ed.)*. Routledge.https://doi.org/10.4324/9781315423098

Pearson, R. G., Dawson, T. P., Berry, P. M., & Harrison, P. A. (2002). SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species. *Ecological Modelling*, *154(3)*, 289-300. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00056-X

Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M., & Townsend Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, *34*, 102-117. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x

Pebesma, E. J., & Bivand, R. (2005). *Classes and methods for spatial data in R. R News 5 (2).* In https://cran.r-project.org/doc/Rnews/.

Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M. J., Otto, T., & Hernández-Beloqui, B. (2011). Mid-Holocene vegetation and climatic historic of the Iberian Peninsula. *The Holocene*, *21(1)*, 75-93. https://doi.org/10.1177/0959683610384161

Pérez-Obiol, R., & Julià, R. (1994). Climatic Change on the Iberian Peninsula Recorded in a 30,000-Yr Pollen Record from Lake Banyoles. *Quaternary Research*, *41(1)*, 91-98. https://doi.org/10.1006/qres.1994.1010

Perrin, T., & Manen, C. (2021). Potential interactions between Mesolithic hunter-gatherers and Neolithic farmers in the Western Mediterranean: The geochronological data revisited. *PLOS ONE*, *16(3)*, e0246964. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246964

Pescini, V., Montanari, C. A., & Moreno, D. T. (2018). Multi-proxy record of environmental changes and past land use practices in a Mediterranean landscape: The Punta Mesco cape (Liguria - Italy) between the 15th and 20th century. *Quaternary International*, *463*, 376-390. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.060

Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, *213*, 63-72. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008

Peterson, A. T., Papeş, M., & Soberón, J. (2015). Mechanistic and Correlative Models of Ecological Niches. *European Journal of Ecology*, *1(2)*, 28-38. https//doi.org/10.1515/eje-2015-0014

Pétillon, J.-M. (2008). First evidence of a whale-bone industry in the western European Upper Paleolithic: Magdalenian artifacts from Isturitz (Pyrénées-Atlantiques, France). *Journal of Human Evolution*, *54*, 720-726. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2007.12.006

Petit, M. A. (1996). *El procés de neolitització a la Vall del Segre. La Cova del Parco (Alòs de Balaguer). Estudi de les ocupacions humanes del Vè al II mil·lenni a.C.* Universitat de Barcelona. Monografies del SERP 1

Petit, M. A., Mangado, X., Fullola, J. M., Bartolí, R., Bergadà, M. M., & Esteve, X. (2009). Els caçadors-recol.lectors de la cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera, Lleida): L'Epipaleolític microlaminar: continuïtat o canvi? In J. M. Fullola, N. Valdeyron, & M. Langlais (Eds.), *Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace* (pp. 579-591).

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *40*, 887-893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R.

E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*, 231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, *31*, 161-175. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x

Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *19*, 181-197. https://doi.org/10.1890/07-2153.1

Phillips, S. J., Dudík, M., & Schapire, R. E. (2004). A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, Banff, Canada.

Picornell-Gelabert, L. (2020). An archaeological approach to people-tree interactions: The ethnoarchaeology of firewood procurement and consumption among the Benga people of the island of Mandji (Corisco, Equatorial Guinea, Central Africa). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *34*, 102591. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102591

Picornell-Gelabert, L., Allué, E., & Courty, M. A. (2017). An archaeology of fuels: Social and environmental factors in behavioural strategies of multi-resource management. *Quaternary International*, *431*, 2-5. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.025

Picornell-Gelabert, L., Servera-Vives, G., Carrión Marco, Y., Burjachs, F., Currás, A., Llergo, Y., Dufraisse, A., De Luís Arrillaga, M., & Mus Amézquita, M. (2020). Late Holocene Aleppo pine (Pinus halepensis Miller) woodlands in Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean): Investigation of their distribution and the role of human management based on anthracological, dendro-anthracological and archaeopalynological data. *Quaternary International*, *593-594*, 346-363. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.006

Picornell, L., Asouti, E., & Allué, E. (2011). The ethnoarchaeology of firewood management in the Fang villages of Equatorial Guinea, central Africa: Implications for the interpretation of wood fuel remains from archaeological sites. *Journal of Anthropological Archaeology*, *30*, 375-384. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaa.2011.05.002

Piqué, R. (1998). Dinàmica paleoambiental entre el 80.000-5.000 BP al nord-est de la península ibèrica: les dades antracològiques. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, *8*, 7-17.

Piqué, R. (1999a). *Producción y uso del combustible vegetal: una evaluación arqueológica* (Vol. 3). Universidad Autónoma de Barcelona; Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Piqué, R. (1999b). *Estudis Paleobiològics* Can Roqueta. Un establiment pagès prehistòric i medieval (Sabadell, Vallès Occidental), Barcelona, 207-220

Piqué, R. (1999c). *Quantification in Archaeobotany: charcoal analysis and firewood management* Computer applications and quantitative methods in archaeology. Proceedings of the 26th Conference, Barcelona

Piqué, R. (2002). Paisatge i explotació forestal durant el I Mil·leni A.N.E. a la Plana Empordanesa. *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *14*, 211-228.

Piqué, R. (2005). *Paisaje y gestión de recursos forestales entre el VI y IV milenio cal AC en el Noreste de la Península Ibérica* III Congreso de Neolítico de la Península Ibérica, Universidad de Cantabria, Santander, 45-52

Piqué, R., Alcolea, M., Antolín, F., Berihuete-Azorín, M., Berrocal, A., Rodríguez-Antón, D., Herrero-Otal, M., López-Bultó, O., Obea, L., & Revelles, J. (2021). Mid-Holocene Palaeoenvironment, Plant Resources and Human Interaction in Northeast Iberia: An Archaeobotanical Approach. *11*, 5056. https://doi.org/10.3390/app11115056

Piqué, R., & Barceló, J. A. (2002). *Firewood management and vegetation changes: a statistical analysis of charcoal remains from Holocene sites in the north-east Iberian Peninsula* Proceedings of the Second International Meeting of Anthracology, BAR International Series 1063, London, 1-7

Piqué, R., Fortó, A., & Vidal, A. (2015b). El uso del tejo en el yacimiento neolítico antiguo del camp del Colomer (Andorra). In *Actes de les IV Jornades Internacionals del Teix* (pp. 259-264). In: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (ed)

Piqué, R., Morera, N., Revelles, J., Castells, E., López-Bultó, O., Franch, A., & Burjachs, F. (2018b). The distribution and use of Box (Buxus sempervirens L.) in the Northeastern Iberian Peninsula during the Holocene. *Environmental Archaeology*, *26(2)*, 179-191. https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1515054

Piqué, R., Palomo, A., Terradas, X., Tarrús, J., Buxó, R., Bosch, A., Chinchilla, J., Bodganovic, I., López, O., & Saña, M. (2015a). Characterizing prehistoric archery: technical and functional analyses of the Neolithic bows from La Draga (NE Iberian Peninsula). *Journal of Archaeological Science*, *55*, 166-173.

Piqué, R., Revelles, J., Burjachs, F., Caruso Fermé, L., & Pérez-Obiol, R. (2018a). Interdisciplinary approach to the landscape and firewood exploitation during the Holocene at La Garrotxa (Girona, NE Iberia). *Quaternary International*, *463*, 401-413. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.11.025

Piqué, R., Revelles, J., Riera, S., Alcolea, M., Allué, E., Ejarque, A., Burjachs, F., Garcés-Pastor, S., Mas, B., Miras, Y., Obea, L., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., & Vegas-Vilarrúbia, T. (2022). El paisatge i l'aprofitament de recursos forestals durant el neolític antic a Catalunya. *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *22*, 27-54. https://raco.cat/index.php/Cypsela/article/view/405607

Poggiali, F., Buonincontri, M. P., D'Auria, A., Volante, N., & Di Pasquale, G. (2017). Wood selection for firesetting: First data from the Neolithic cinnabar mine of Spaccasasso (South Tuscany, Italy). *Quaternary International*, *458*, 134-140. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.028

Polo-Díaz, A., Alonso Eguíluz, M., Ruiz, M., Pérez, S., Mújika, J., Albert, R. M., & Fernández Eraso, J. (2016). Management of residues and natural resources at San Cristóbal rock-shelter: Contribution to the characterisation of chalcolithic agropastoral groups in the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, *414*, 202-225. https://doi.

org/10.1016/j.quaint.2016.02.013

Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A., & Mora, R. (2014). Prehistoric herding facilities: site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia). *Journal of Archaeological Science*, *41*, 784-800. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.09.013

Polunin, O. (1980). *Flowers of Greece and the Balkans: A Field Guide*. Oxford University Press

Popper, V., & Hasorf, C. A. (1988). *Introduction* Current palaeoethnobotany, University of Chicago Press, Chicago, London, 1-16

Postigo-Mijarra, J. M., Génova, M., Gómez-Manzaneque, F., Martínez-García, F., Morla, C., Vegas, J., & Perucha, M. A. (2017). Occurrence of continuous Holocene pinewoods (Pinus sylvestris L.) in the Eastern Central System (Spain) inferred from macroremains. New data from the Sandria site. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *246*, 70-84. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2017.06.009

Prejawa, H. (1896). Die Ergebnisse der Bohlweguntersuchungen im Grenzmoor zwischen Oldenburd und Preussen und in Mellinghausen im Kreise Sulingen [Article]. *Mitt. Ver. Gesch. Landeskde. Osnabrtick*, *21*, 98-178.

Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, *3*, 349-361. https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00143.x

Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., Xu, G., & Pei, S. (2017). Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of Thuja sutchuenensis Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, *10*, 139-146. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.02.004

Quézel, P., & Médail, F. (2003). Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier (Collection Environnement)

R

R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. In URL https://www.R-project.org/

Rageot, M., Théry-Parisot, I., Beyries, S., Lepère, C., Carré, A., Mazuy, A., Filippi, J. J., Fernández, X., Binder, D., & Regert, M. (2018). Birch Bark Tar Production: Experimental and Biomolecular Approaches to the Study of a Common and Widely Used Prehistoric Adhesive. *Journal of Archaeological Method and Theory*, https://doi.org/10.1007/s10816-10018-19372-10814.

Rashidian, E., & Djamali, M. (2023). Landscape change and settlement dynamics in Prehistory and Late Antiquity in the Firuzabad plain (South Fars, Iran); a preliminary consideration. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *47*, 103805. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103805

Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Svensson, A., Steffensen, J. P., Vinther, B. M., Clausen, H. B., Siggaard-Andersen, M. L., Johnsen, S. J., Larsen, L. B., Dahljensen, D., Bigler, M., Röthlis-

berger, R., Fischer, H., Goto-Azuma, K., Hanson, M. E., & Ruth, U. (2006). A new greenland ice core chronology for the last glacial termination. *Journal of Geophysical research-atmospheres*, *111*, 1-15. https://doi.org/10.1029/2005JD006079

Rasmussen, S. O., Bigler, M., Blockley, S. P., Blunier, T., Buchardt, S. L., Clausen, H. B., Cvijanovic, I., Dahl-Jensen, D., Johnsen, S. J., Fischer, H., Gkinis, V., Guillevic, M., Hoek, W. Z., Lowe, J. J., Pedro, J. B., Popp, T., Seierstad, I. K., Steffensen, J. P., Svensson, A. M., Vallelonga, P., Vinther, B. M., Walker, M. J. C., Wheatley, J. J., & Winstrup, M. (2014). A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. *Quaternary Science Reviews*, *106*, 14-28. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007

Rehfeld, K., Münch, T., Ho, S. L., & Laepple, T. (2018). Global patterns of declining temperature variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Nature*, *554(7692)*, 356-359. https://doi.org/10.1038/nature25454

Reille, M., & Pons, A. (1992). The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean basin: a note on pollen analytical data. *Vegetatio*, *99-100*, 13-17. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2836-2_1

Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S. M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, *62(4)*, 725-757. http://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

Rellstab, C., Zoller, S., Walthert, L., Lesur, I., Pluess, A. R., Graf, R., Bodénès, C., Sperisen, C., Kremer, A., & Gugerli, F. (2016). Signatures of local adaptation in candidate genes of oaks (Quercus spp.) with respect to present and future climatic conditions. *Molecular Ecology*, *25(23)*, 5907-5924. https://doi.org/10.1111/mec.13889

Remya, K., Ramachandran, A., & Jayakumar, S. (2015). Predicting the current and future suitable habitat distribution of Myristica dactyloides Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India. *Ecological Engineering*, *82*, 184-188. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.053

Renfrew, C. (1976). Archaeology and the earth sciences. In D. A. Davidson & M. C. Schackley (Eds.), *Geoarchaeology. Earth Science and the past* (pp. 1-5).

Renfrew, C., & Bahn, P. (1993). *Arqueología. Teorías, métodos y práctica*. Ediciones Akal

Revelles, J. (2017). Archaeoecology of Neolithisation. Human-environment interactions in the NE Iberian Peninsula during the Early Neolithic. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *15*, 437-

445. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.02.004

Revelles, J., Allué, E., Alcolea, M., Antolín, F., Berihuete-Azorín, M., Expósito, I., Garay, B., Mas, B., Piqué, R., Obea, L., Val-Peón, C., & Burjachs, F. (2022). Site formation processes, human activities and palaeoenvironmental reconstructions from archaeobotanical records in cave and rock-shelter sites in NE Iberia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *299*, 104612. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104612

Revelles, J., Burjachs, F., Morera, N., Barceló, J. A., Berrocal, A., López-Bultó, O., Maicher, C., Le Bailly, M., Piqué, R., Palomo, A., & Terradas, X. (2017). Use of space and site formation processes in a Neolithic lakeside settlement. Pollen and non-pollen palynomorphs spatial analysis in La Draga (Banyoles, NE Iberia). *Journal of Archaeological Science*, *81*, 101-115. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.04.001

Revelles, J., Burjachs, F., Palomo, A., Piqué, R., Iriarte, E., Pérez-Obiol, R., & Terradas, X. (2018). Human-environment interaction during the Mesolithic- Neolithic transition in the NE Iberian Peninsula. Vegetation history, climate change and human impact during the Early-Middle Holocene in the Eastern Pre-Pyrenees. *Quaternary Science Reviews*, *184*, 183-200. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.08.025

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. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.002

Rewicz, A., Myśliwy, M., Rewicz, T., Adamowski, W., & Kolanowska, M. (2022). Contradictory effect of climate change on American and European populations of Impatiens capensis Meerb. - is this herb a global threat? *Science of The Total Environment*, *850*, 157959. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157959

Riera, S. (1996). *Incendis i pertorbacions forestals d'origen antròpic durant el Neolític antic al pla de Barcelona (sector central de la costa catalana)* I Congrés del Neolític a la Península Ibèrica, Gavà, Museu de Gavà, 35-42

Riera, S. (2020). Estudi pol·línic dels nivells neolítics de la Cova del Toll. In J. Guilaine, M. Llongueras, M. A. Petit, & F. X. Oms (Eds.), *El Neolític i l'edat del Bronze a la Cova del Toll (Moià, Barcelona): les excavacions de 1976-1977* (Vol. 16, pp. 149-151). Monografies del SERP, 16

Riera, S., & Esteban, A. (1994). Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (northeastern Iberian Peninsula). *Vegetation History and Archaeobotany*, *3*, 7-23.

Riera, S., Esteve, X., & Nadal, J. (2007). *Systèmes d'explotation et anthropisation du paysage méditerranéen du néolitique Ancien au premier âge du Fer: le cas de la dépression de Penedès (nord-est de la péninsule ibérique)* Environements et cultures à l'âgedu Bronze en Europe Occidentale. Actes des congres nationaux des Sociétés historiques et scientifiques 129e, Besançon, 2004, Paris, 121-141

Rindos, D. (1984). *The Origins of Agriculture. An Evolutionary Perspective*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2013-0-11379-7

Rios-Garaizar, J., López-Bultó, O., Iriarte, E., Pérez-Garrido, C., Piqué, R., Aranburu, A., Iriarte-Chiapusso, M. J., Ortega-Cordellat, I., Bourguignon, L., Garate, D., & Libano, I. (2018). A Middle Palaeolithic wooden digging stick from Aranbaltza III, Spain. *PLOS ONE*, *13*, https://doi.org/e0195044.10.1371/journal.pone.0195044

Rival, L. (1998). *The Social Life of Trees. Anthropological Perspectives on Tree Symbolism (Materializing Culture)*. Berg Publishers

Rivas-Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Roberts, C. N., Woodbridge, J., Palmisano, A., Bevan, A., Fyfe, R., & Shennan, S. (2019). Mediterranean landscape change during the Holocene: Synthesis, comparison and regional trends in population, land cover and climate. *The Holocene*, *2985)*, 923-937. https://doi.org/10.1177/0959683619826697

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(1)*, 3-13. https://doi.org/10.1177/0959683610388058

Roces-Díaz, J. V., Jiménez-Alfaro, B., Chytrý, M., Díaz-Varela, E. R., & Álvarez-Álvarez, P. (2018). Glacial refugia and mid-Holocene expansion delineate the current distribution of Castanea sativa in Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *491*, 152-160. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.12.004

Rodríguez-Ariza, M. O. (1992). *Las relaciones hombre-vegetación en el sureste de la Península Ibérica durante las edades del Cobre y Bronce a partir del análisis antracológico de siete yacimientos arqueológicos* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Granada.

Roebroeks, W., & Villa, P. (2011). On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108(13)*, 5209-5214. https://doi.org/10.1073/pnas.1018116108

Rogosic, J., Pfister, J. A., Provenza, F. D., & Grbesa, D. (2006). Sheep and goat preference for and nutritional value of Mediterranean maquis shrubs. *Small Ruminant Research*, *64*, 169-179. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.017

Romagnoli, F., & Vaquero, M. (2016). Quantitative stone tools intra-site point and orientation patterns of a Middle Palaeolithic living floor: A GIS multi-scalar spatial and temporal approach. *Quartär. International Yearbook for Ice Age and Stone Age Research*, *63*, 47-60. https://doi.org/10.7485/QU63_3

Roman, D. (2015). La tecnología lítica durante el Magdaleniense en la vertiente Mediterránea de la península Ibérica [Lithic technology during the Magdalenian in the Mediterranean side of the Iberian Peninsula]. *Journal of Lithic Studies*, *2(2)*, 145-165. https://doi.org/10.2218/jls.v2i2.1422

Roman, D., Martínez-Andreu, M., Aguilella, G., Fullola, J. M., & Nadal, J. (2022). Shellfish collectors on the seashore: The exploitation of the marine environment between the end of the Paleolithic and the Mesolithic in the Mediterranean Iberia. *The Journal of Island and Coastal Archaeology*, *17*, 43-64. https: //doi.org/10.1080/15564894.2020.1755395

Ros, M. T. (1985). *Contribució antracoanalítica a l'estudi de l'entorn vegetal de l'home, del Paleolític superior a l'edat del ferro a Catalunya* Universitat Autònoma de Barcelona]. Bellaterra.

Ros, M. T. (1987). L'anàlisi antracològica de la Cova de l'Arbreda (Serinyà, Gironès). *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *6*, 67-71.

Ros, M. T. (1988). L'aplicació de l'anàlisis antracològica a l'arqueologia catalana. *Cota zero: revista d'arqueologia i ciència*, *4*, 51-60.

Ros, M. T. (1992). Les apports de l'anthracologie à l'étude du paléoenvironnement végétal en Catalogne (Espagne). *Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques*, *139*, 483-493. https://doi.org/10.1080/01811789.1992.10827122

Ros, M. T. (1995a). *Estudi antracològic de tres jaciments de la vall del Llierca (Garrotxa, Catalunya). L'activitat humana i el medi vegetal des del Neolític Àntic al Bronze Final* Xè Col·loqui Internacional d›Arqueologia a Puigcerdà. Cultures i Mèdi de la Prehistòria a ›Edat Mitjana. Homenatge al Professor Jean Guilaine, Puigcerdà, 87-96

Ros, M. T. (1995b). Anàlisi antracologica. In S. Boquer, J. Bosch, W. Cruells, J. Miret, M. Molist, & T. Rodón (Eds.), *El jaciment de l'Institut de batxillerat Antoni Pous. Un assentament a l'aire lliure de finals del calcolític (Manlleu, Osona)* (Vol. 15, pp. 145-148). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura

Ros, M. T. (1996). *Datos antracológicos sobre la diversidad paisajística de Catalunya en el Neolítico* I Congrés del neolític a la Península Ibèrica, Gavà, Museu de Gavà, 43-56

Ros, M. T. (1997). *Estudi antracològic de la Cova del Parco. Unpublished.*

Ros, M. T. (1998). La vegetació de la Catalunya meridional i territoris propers de la Depressió de l'Ebre, en la Prehistòria recent i Protohistòria, a partir dels estudis antracològics. *Gala*, *3-5*, 19-32.

Ros, M. T., & Vernet, J. L. (1987). L'environnement végétal de l'homme du Néolithique à l'Age du Bronze dans le Nord-Est de la Catalogne: Analyse anthracologique de la Cova del Frare, Sant Llorenç del Munt (Matadepera, Barcelona). In J. Guilaine, J. Courtin, J. L. Roudil, & J. L. Vernet (Eds.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale. Actes du Colloque Internationale du CNRS (Montpellier, 26-29 avril 1983)* (pp. 125-129). CNRS Éditions. https://doi.org/10.4000/books.editionscnrs.945

Rosell, J., Blasco, R., Fernández-Laso, M. C., Vaquero, M., & Carbonell, E. (2012). Connecting areas: faunal refits as a diagnostic element to identify synchronicity in the Abric Romaní archaeological assemblages. *Quaternary International*, *252*. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.02.019

Rosenblatt, M. (1956). Remarks on some nonparametric estimates of a density function. *Annals of Mathematical Statistics*, *27*, 832-837. https://doi.org/10.1214/aoms/1177728190

Rowley-Conwy, P., & Layton, R. (2011). Foraging and farming as niche construction: stable and unstable adaptations. *Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *366(1566)*, 849-862. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0307

Rufà, A. (2017). *El papel de las pequeñas presas*

en la dieta humana del Paleolítico medio y superior. Una visión diacrónica desde el valle del Ródano al arco mediterráneo [Tesis Doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona.

Rufà, A., Blasco, R., Rosell, J., & Vaquero, M. (2018). What is going on at the Molí del Salt site? A zooarchaeological approach to the last hunter-gatherers from South Catalonia. *Historical Biology*, *30(6)*, 786-806. https://doi.org/10.1080/08912963.2017.1315685

Rufà, A., & Vaquero, M. (2018). Making different things, but eating the same food? Correlation between cultural and subsistence changes during the Pleistocene-Holocene boundary in the northeastern Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, *184*, 114-131. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.11.004

Ruiz-Alonso, M., Uzquiano, P., & Zapata, L. (2014). Macrorestos vegetales de Santa Catalina (Lekeitio, Bizkaia): carbones y bellotas del Tardiglaciar. *KOBIE Bizkaiko Arkeologi Indusketak*, *4*, 76-92.

Ruiz, I., & Sanz-Sánchez, M. J. (2020). Effects of historical land-use change in the Mediterranean environment. *Science of The Total Environment*, *732*, 139315. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139315

Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Corella, J. P., Trapote, M. C., Montoya, E., & Valero-Garcés, B. (2021). A unique Pyrenean varved record provides a detailed reconstruction of Mediterranean vegetation and land-use dynamics over the last three millennia. *Quaternary Science Reviews*, *268(15)*, 107128. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107128

S

Salavert, A., & Dufraisse, A. (2014). Understanding the impact of socio-economic activities on archaeological charcoal assemblages in temperate areas: A comparative analysis of firewood management in two Neolithic societies in Western Europe (Belgium, France). *Journal of Anthropological Archaeology*, *35*, 153-163. https://doi.org/10.1016/j.jaa.2014.05.002

San Miguel Ayanz, J., de Rodrigo, D., Caudillo, G., Houston-Durrant, T., Mauri, A., & (Eds.). (2016). *European Atlas of Forest Tree Species*.

Sánchez de la Torre, M. (2015). *Las sociedades cazadoras-recolectoras del Paleolítico superior final pirenaico: Territorios económicos y sociales* (Vol. 11). Monografies del SERP 11

Sánchez de la Torre, M., Mangado, X., Langlais, M., Le Bourdonnec, F. X., Gratuze, B., & Fullola, J. M. (2019). Crossing the Pyrenees during the Late Glacial Maximum. The use of geochemistry to trace past human mobility. *Journal of Anthropological Archaeology*, *56*, 101105. https://doi.org/10.1016/j.jaa.2019.101105

Sanchez Goñi, M. F., & Harrison, S. P. (2010). Millennial-scale climate variability and vegetation changes during the Last Glacial: Concepts and terminology. *Quaternary Science Reviews*, *29(21)*, 2823-2827. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.11.014

Santa, S. (1961). Essai de reconstitution de paisajes végétaux quaternaires d'Afrique du Nord. *Lybica*, *6-7*, 37-77.

Santa, S., & Vernet, J. L. (1968). Une technique de préparation des charbons du bois préhistoriques en vue de lueur étude anatomique. Application. *Naturalia Monspeliensa*, *19*, 171-177.

Santini, L., Benítez-López, A., Maiorano, L., Čengić, M., & Huijbregts, M. A. J. (2021). Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research. *Diversity and Distributions*, *27(6)*, 1035-1050. https://doi.org/10.1111/ddi.13252

Sanz, M., Daura, J., Égüez, N., & Cabanes, D. (2017). On the track of anthropogenic activity in carnivore dens: Altered combustion structures in Cova del Gegant (NE Iberian Peninsula). *Quaternary International*, *437*, 102-114. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.057

Schick. (1987). Experimentally derived criteria for assessing hydrologic disturbance of archaeological sites. In D. T. Nash & M. D. Petraglia (Eds.), *Natural formation processes and the archaeological record* (pp. 89-107). BAR International Series 352, British Archaeological Reports

Schiffer, M. B. (1972). Archaeological Context and Systematic Context. *American Antiquity*, *37*, 156-165.

Schiffer, M. B. (1983). Toward the Identification of Formation Processes. *American Antiquity*, *48*, 675-706.

Scholtz, A. (1986). *Palynological and palaeobotanical studies in the southern Cape* [Thesis MA - Archaeology, University of Stellenbosch]. Stellenbosch. http://hdl.handle.net/10019.1/3071

Schweingruber, F. H. (1990). *Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois. Microscopic wood anatomy* (3rd ed.). Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research(1978)

Schweingruber, F. H., Börner, A., & Schulze, E. D. (2006). *Atlas of Woody Plant Stems: Evolution, Structure, and Environmental Modifications*. Springer

Schwendler, R. H. (2012). Diversity in social organization across Magdalenian Western Europe ca. 17–12,000 BP. *Quaternary International*, *272-273*, 333-353. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.03.054

Scott, A. C., & Damblon, F. (2010). Charcoal: Taphonomy and significance in geology, botany and archaeology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *291 (1)*, 1-10.

Seierstad, I. K., Abbott, P. M., Bigler, M., Blunier, T., Bourne, A. J., Brook, E., Buchardt, S. L., Buizert, C., Clausen, H. B., Cook, E., Dahl-Jensen, D., Davies, S. M., Guillevic, M., Johnsen, S. J., Pedersen, D. S., Popp, T. J., Rasmussen, S. O., Severinghaus, J. P., Svensson, A., & Vinther, B. M. (2014). Consistently dated records from the Greenland GRIP, GISP2 and NGRIP ice cores for the past 104 ka reveal regional millennial-scale δ18O gradients with possible Heinrich event imprint. *Quaternary Science Reviews*, *106*, 29-46. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.10.032

Senabre, M. R., & Socias, J. (1993). *Camí de Santa Maria dels Horts (Vilafrana del Penedès, Alt Penedès). Memòria de l'excavació d'urgència*. Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya

Serrada, R., Montero, M., & Reque, J. (2008). *Compendio de Selvicultura Aplicada en España*. INIA and FUCOVASA

Shachak, M., Boeken, B., Groner, E., Kadmon, R., Lubin, Y., Meron, E., Ne'Eman, G., Perevolotsky, A., Shkedy, Y., & Ungar, E. D. (2008). Woody Species as Lands-

cape Modulators and Their Effect on Biodiversity Patterns. *BioScience*, *58(3)*, 209-221. https://doi.org/10.1641/B580307

Shackleton, N. J., Berger, A., & Peltier, W. R. (1990). An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, *81*, 251-261. https://doi.org/10.1017/S0263593300020782

Shackleton, N. J., & Opdyke, N. D. (1973). Oxygen Isotope and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V28-238: Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a 105 Year and 106 Year Scale. *Quaternary Research*, *3*, 39-55. https://doi.org/10.1016/0033-5894(73)90052-5

Shahack-Gross, R., Berna, F., Karkanas, P., Lemorini, C., Gopher, A., & Barkai, R. (2014). Evidence for the repeated use of a central hearth at Middle Pleistocene (300 ky ago) Qesem Cave, Israel. *Journal of Archaeological Science*, *44*, 12-21. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.11.015

Sharma, S., Arunachalam, K., Bhavsar, D., & Kala, R. (2018). Modeling habitat suitability of Perilla frutescens with MaxEnt in Uttarakhand—A conservation approach. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *10*, 99-105. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.02.003

Sharp, W. D., Mertz-Kraus, R., Vallverdu, J., Vaquero, M., Burjachs, F., Carbonell, E., & Bischoff, J. L. (2016). Archeological deposits at Abric Romaní extend to 110ka: U-series dating of a newly cored, 30meter-thick section. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *5*, 400-406. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.12.015

Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa-Guedes, D., Martínez-Freiría, F., Real, R., & Barbosa, A. M. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, *456*, 109671. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671

Sillero, N., Brito, J. C., Skidmore, A. K., & Toxopeus, A. G. (2009). Biogeographical patterns derived from remote sensing variables: the amphibians and reptiles of the Iberian Peninsula. *Amphibia-Reptilia*, *30*, 185-206. https://doi.org/10.1163/156853809788201207

Sillero, N., Campos, J. C., Arenas-Castro, S., & Barbosa, A. M. (2023). A curated list of R packages for ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, *476*, 110242. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110242

Smart, T. L., & Hoffman, E. S. (1988). *Environmental interpretation of archaeological charcoal* Current Paleoethnobotany. Analytical methods and cultural interpretations of archaeological plants remains, The University of Chicago Press, 167-205

Smith, W. (1999). Fuel For Thought: Archaeobotanical Evidence for the Use of Alternatives to wood Fuel in Late Antique North Africa. *Journal of Mediterranean Archaeology*, *11(2)*, 191-205. https://doi.org/10.1558/jmea.v11i2.191

Soberon, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*,

2. 10.17161/bi.v2i0.4

Sobolev, L. N., & Utekhin, V. D. (1978). Russian (Ramensky) approaches to community systematization. In R. H. Whittaker (Ed.), *Ordination of Plant Communities* (Vol. 5-2, pp. 71-97). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-7989-5_4

Solé, A., Allué, E., & Carbonell, E. (2013). Hearth-related wood remains from Abric Romaní Layer M (Capellades, Spain). *Journal of Anthropological Research*, *69*, 535-559. http://www.jstor.org/stable/24393938.

Soler, N., Fullola, J. M., Sacchi, D., & Langlais, M. (2009). *El Magdalenià clàssic entre Llenguadoc occidental i Catalunya (14500-11000 BP)* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col•loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 317-348

Soto, A., Alday, A., Mangado, X., & Montes, L. (2016). Epipaleolítico y Mesolítico en la vertiente sur de los Pirineos desde la perspectiva de la industria lítica. *MUNIBE*, *67*, 295-312. https://doi.org/10.21630/maa.2016.67.mis01

Soto, A., Montes, L., Domingo, R., & García-Simón, L. M. (2019). Nuevos datos sobre la transición Pleistoceno/Holoceno en el noreste de la península ibérica: el Sauveterriense de Peña-14 (Biel, Zaragoza). *Trabajos de Prehistória*, *76(1)*, 29-47. https://doi.org/10.3989/tp.2019.12224

Soto, M. (2015). Áreas y estrategias de aprovisionamiento lítico de los últimos cazadores-recolectores en las montañas de Prades (Tarragona) [Tesis Doctoral, Universitat Rovira i Virgili]. Tarragona. http://hdl.handle.net/10803/348554

Soto, M. (2016). Procurement and mobility during the Late Pleistocene: Characterising the stone-tool assemblage of the Picamoixons site (Tarragona, NE Iberian Peninsula). *Journal of Lithic Studies*, *3 (2)*. https://doi.org/10.2218/jls.v3i2.1782

Soto, M., Gómez de Soler, B., Vallverdú, J., & Vaquero, M. (2011). *El territori d'aprovisionament del sílex dels caçadors i recol·lectors del Molí del Salt (Vimbodí i Poblet - Conca de Barberà)* Aplec de Treballs, Montblanc, 31-52

Starkovich, B. M., & Ntinou, M. (2017). Climate change, human population growth, or both? Upper Paleolithic subsistence shifts in southern Greece. *Quaternary International*, *428*, 17-32. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.03.044

Stieber, J. (1967). Macyarországi felsopleisztocen vegetácio-története az anthrakotómiai eredmények (1957-IG) Türkrében. *Földtani Közlöny*, *97*, 307-319.

Stiner, M. C. (2021). The challenges of documenting coevolution and niche construction: The example of domestic spaces. *Evol Anthropol*, *30*, 63-70. https://doi.org/10.1002/evan.21878

Straus, L. G. (2018a). Environmental and cultural changes across the Pleistocene-Holocene transition in Cantabrian Spain. *Quaternary International*, *465*, 222-233. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.005

Straus, L. G. (2018b). The Upper Paleolithic of Iberia *Trabajos de Prehistória*, *75(1)*, 9-51. http://dx.doi.org/10.3989/tp.2018.12202

Straus, L. G., González Morales, M. R., Car-

retero, J. M., & Marín-Arroyo, A. B. (2015). "The Red Lady of El Mirón". Lower Magdalenian life and death in Oldest Dryas Cantabrian Spain: an overview. *Journal of Archaeological Science*, *60*, 134-137. https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.034

Struever, S. (1968). Flotation Techniques for the Recovery of Small-Scale Archaeological Remains. *American Antiquity*, *33(3)*, 353-362. https://doi.org/10.2307/278703

Sun, J., Jiao, W., Wang, Q., Wang, T., Yang, H., Jin, J., Feng, H., Guo, J., Feng, L., Xu, X., & Wang, W. (2021). Potential habitat and productivity loss of Populus deltoides industrial forest plantations due to global warming. *Forest Ecology and Management*, *496*, 119474. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119474

T

Tang, C. Q., & Ohsawa, M. (1997). Zonal transition of evergreen, deciduous, and coniferous forests along the altitudinal gradient on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*, *133(1)*, 63-78. https://doi.org/10.1023/A:1009729027521

Tansley, A. G. (1920). The Classification of Vegetation and the Concept of Development. *Journal of Ecology*, *8(2)*, 118-149. https://doi.org/10.2307/2255529

Tarrús, J., Aliaga, S., Chinchilla, J., & Mercadal, O. (2016). Ca n'Isach (Palau-saverdera), un poblado neolítico (V-IV milenio a.C.) en la zona dolménica del Alt Empordà. In *Del neolític a l'edat del bronze en el Mediterrani occidental. Estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver.* (pp. 249-256). TV SIP 119

Tarrús, J., & Bosch, A. (1990). Els nivells postglacials de la cova d'En Pau. *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *8*, 21-47.

Taylor, K. C., Hammer, C. U., Alley, R. B., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gow, A. J., Gunderstrup, N. S., Kipfstuhl, J., Moore, J. C., & Waddington, E. D. (1993). Electrical conductivity measurements from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, *306*, 549-552. https://doi.org/10.1038/366549a0

Tejedor-Rodríguez, C., Moreno-García, M., Tornero, C., Hoffmann, A., García-Martínez de Lagrán, Í., Arcusa-Magallón, H., Garrido-Pena, R., Royo-Guillén, J. I., Díaz-Navarro, S., Peña-Chocarro, L., Alt, K. W., & Rojo-Guerra, M. (2021). Investigating Neolithic caprine husbandry in the Central Pyrenees: Insights from a multi-proxy study at Els Trocs cave (Bisaurri, Spain). *PLOS ONE*, *16(1)*, e0244139. http://doi.org/10.1371/journal.pone.0244139

Tejero, J. M. (2009). *Magdalenienses e industria ósea en la vertiente sur de los Pirineos. Una caracterización tipológica y tecnológica del trabajo de las materias duras animales en el NE Peninsular durante el Tardiglaciar* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 283-297

Tejero, J. M., Domingo, R., & Montes, L. (2013). Evidencias magdalenienses de industria en materias óseas del yacimiento de Legunova (Biel, Zaragoza).

Pyrenae, *44*, 45-60.

Tejero, J. M., & Fullola, J. M. (2008). L'exploitation non alimentaire des ressources animales pendant le Magdalénien au Nord-Est de la Peninsule Ibérique. L'exemple de la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, Lleida, Espagne). *L'anthropologie*, *112*, 328-345. https://doi.org/10.1016/j.anthro.2008.02.003

Terradas, J. (1997). Holm Oak and Holm Oak Forests: an introduction. In F. Roda, J. Retana, C. A. Garcia, & J. Bellot (Eds.), *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests* (pp. 3-14). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.https://doi.org/10.1007/978-3-642-58618-7

Terradas, X., Gómez Bach, A., Borrell, F., Bosch, À., Clemente-Conte, I., de Diego, M., Edo, M., Gibaja, J. F., Herrero-Otal, M., López-Bultó, O., Mangado, X., Minguell, A., Mazzucco, N., Oliva Poveda, M., Oms, F. X., Ortega, D., Palomo, A., Piqué, R., & Romero-Brugués, S. (2021). Produccions i coneixences tècniques al neolític antic de Catalunya. *Cypsela: revista de prehistòria i protohistòria*, *22*, 147-174.

Théry-Parisot, I. (2001). Économie des combustibles au Paléolithique. Experimentation, anthracologie, taphonomie (Vol. 20). D.D.A. CNRS-Editions

Théry-Parisot, I. (2002, September). *Gathering of firewood during the Palaeolithic* Charcoal Analysis. Methodological Approaches. Palaeoecological Results and Wood Uses. Proc. 2nd Int. Meeting of Anthracology, Paris, 243-249

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. http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.09.016

Théry-Parisot, I., & Henry, A. (2012). Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, *39*, 381-388. http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.024

Théry-Parisot, I., Henry, A., & Chrzavzez, J. (2016). Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques. *Cuadernos do LEPAARQ, Vol. XIII, 25*, 484-509.

Théry-Parisot, I., & Thiébault, S. (2005). Le pin (Pinus sylvestris): préférence d'un taxon ou contrainte de l'environnement? Étude des charbons de bois de la Grotte Chauvet. *Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques*, *102*, 69-75.

Théry-Parisot, I., Thiébault, S., Delannoy, J.-J., Ferrier, C., Feruglio, V., Fritz, C., Gely, B., Guibert, P., Monney, J., Tosello, G., Clottes, J., & Geneste, J.-M. (2018). Illuminating the cave, drawing in black: wood charcoal analysis at Chauvet-Pont d'Arc. *Antiquity*, *92*, 320-333. https://doi.org/10.15184/aqy.2017.222

Thomas, B. A., & Cleal, C. J. (1999). *Abscission in the fossil record* The Evolution of Plant Architecture, Royal Botanic Gardens, Kew, 183-201

Tipping, R., Bunting, M. J., Davies, A. L., Murray, H., Fraser, S., & McCulloch, R. (2009). Modelling land use around an early Neolithic timber 'hall' in north

east Scotland from high spatial resolution pollen analyses. *Journal of Archaeological Science*, *36*, 140-149. https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.07.016

Toriti, M., Durand, A., & Fohrer, F. (2021). *Traces of Common Xylophagous Insects in Wood : Atlas of Identification - Western Europe*. Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-030-66391-9_3

Tornero, C., Aguilera, M., Ferrio, J. P., Arcusa, H., Moreno-García, M., Garcia-Reig, S., & Rojo-Guerra, M. (2018). Vertical sheep mobility along the altitudinal gradient through stable isotope analyses in tooth molar bioapatite, meteoric water and pastures: A reference from the Ebro valley to the Central Pyrenees. *Quaternary International*, *484*, 94-106. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.11.042

Torre, S., Tattini, M., Brunetti, C., Fineschi, S., Fini, A., Ferrini, F., & Sebastiani, F. (2014). RNA-Seq Analysis of Quercus pubescens Leaves: De Novo Transcriptome Assembly, Annotation and Functional Markers Development. *PLOS ONE*, *9*, e112487. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112487

Turner, N. J. (1988). Ethnobotany of coniferous trees in Thompson and Lillooet interior salish of British Columbia. *Economic Botany*, *42(2)*, 177-194. https://doi.org/10.1007/BF02858918

Tusenius, M. L. (1986). *The Study of charcoal from some southern African archaeological context* [Thesis M.A., University of Stellenbosch]. Stellenbosch. http://hdl.handle.net/10019.1/68594

U

Urbanek, S. (2021). *rJava: Low-Level R to Java Interface. R package version 1.0-6*. In https://CRAN.R-project.org/package=rJava

Utrilla, P., Mazo, C., Sopena, M. C., Martínez-Bea, M., & Domingo, R. (2009). A palaeolithic map from 13,660 cal-BP: engraved stone blocks from the Late Magdalenian in Abauntz Cave (Navarra, Spain). *Journal of Human Evolution*, *57(2)*, 99-111. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2009.05.005

Utrilla, P., & Montes, L. (2009). *El Magdaleniense en la vertiente sur del Pirineo occidental y central* Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 461-491

Uzquiano, P. (1992a). *Recherches anthracologiques dans le secteur Pyrénéo-Cantabrique* [Thèse de doctorat, Université des Sciences et Thecniques du Languedoc]. Montpellier.

Uzquiano, P. (1992b). The Late Glacial/Postglacial transition in the Cantabrian Cordillera (Asturias and Cantabria, Spain) based on charcoal analysis. *PALAIOS*, *7*, 540-547.

Uzquiano, P. (1997). Antracología y Métodos: Implicaciones en la economía prehistórica, etnoarqeología y paleoecología. *Trabajos de Prehistória*, *54*, 145-154.

Uzquiano, P. (2014). Wood resource explotation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS

2 vegetation dynamics. *Quaternary International*, *337*, 154-162. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.02.022

Uzquiano, P. (2018a). Vegetation, firewood exploitation and human settlement in northern Spain in relation to Holocene climate and cultural dynamics. *Quaternary International*, *463*, 414-424. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.034

Uzquiano, P. (2018b). Vegetal landscape and firewood supply strategies in N Spain at the Greenland Stadial 2. *Quaternary International*, *in press*. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.06.013

Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornell, L., Piqué, R., & Zapata, L. (2015). All about yew: on the trail of Taxus baccata in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. *Vegetation History and Archaeobotany*, *24*, 229-247. https://doi.org/10.1007/s00334-014-0475-x

Uzquiano, P., Arbizu, M., Arsuaga, J. L., Andan, G., Aranburu, A., & Iriarte, E. (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 (3-4)*, 121-133.

Uzquiano, P., Ruiz-Zapata, M., Gil-Garcia, M., Fernández, S., & Carrión, J. S. (2016). Late Quaternary developments of Mediterranean oaks in the Atlantic domain of the Iberian Peninsula: The case of the Cantabrian region (N Spain). *Quaternary Science Reviews*, *153*, 63-77. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.10.013

V

Vadillo, M., & Aura, J. E. (2020). Lithic production in the centre and south of the Iberian Mediterranean region (Spain) throughout the Pleistocene–Holocene transition (14.5–10.5 ky cal BP). *Quaternary International*, *564*, 83-93. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.09.046

Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M. B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., Cornwell, W., Gianoli, E., van Kleunen, M., Naya, D. E., Nicotra, A. B., Poorter, H., & Zavala, M. A. (2014). The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *17*, 1351-1364. https://doi.org/10.1111/ele.12348

Vallverdú, J. (2018). Investigación geoarqueológica en los depósitos de ocupación musterienses del Pleistoceno superior del Abric Romaní (Capellades, Barcelona, España). *Boletín Geológico y Minero*, *129(1/2)*, 129-152. https://doi.org/10.21701/bolgeomin.129.1.006

Vallverdú, J., Alonso, S., Bargalló, A., Bartrolí, R., Campeny, G., Carrancho, Á., Expósito, I., Fontanals, M., Gabucio, J., Gómez, B., Prats, J. M., Sañudo, P., Solé, À., Vilalta, J., & Carbonell, E. (2012). Combustion structures of archaeological level O and mousterian activity areas with use of fire at the Abric Romaní rockshelter (NE Iberian Peninsula). *Quaternary International*, *247*, 313-324. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.12.012

Valsecchi, V., Sanchez Goñi, M. F., & Londeix, L. (2012). Vegetation dynamics in the Northeastern Mediterranean region during the past 23 000 yr: in-

sights from a new pollen record from the Sea of Marmara. *Clim. Past*, *8(6)*, 1941-1956. https://doi.org10.5194/cp-8-1941-2012

Vaquero, M. (2004a). El Paleolític i el Mesolític al Sud de Catalunya. In M. Vaquero (Ed.), *Els darrers caçadors-recol·lectors de la Conca de Barberà: El jaciment del Molí del Salt (Vimbodí). Excavacions 1999-2003* (pp. 15-29). Museu-Arxiu de Montblanc i Comarca

Vaquero, M. (Ed.). (2004b). *Els darrers caçadors-recol·lectors de la Conca de Barberà: el jaciment del Molí del Salt (Vimbodí) Excavacions 1999-2003*. Museu-Arxiu de Montblanc i Comarca.

Vaquero, M. (2006). El Mesolítico de Facies Macrolítica en el centro y sur de Cataluña. In A. Alday (Ed.), *El Mesolítico de muescas y denticulados en la cuenca del Ebro y el litoral mediterráneo peninsular* (pp. 137-160). Diputación Foral de Álava

Vaquero, M., Allué, E., Alonso, S., Bischoff, J. L., Burjachs, F., & Vallverdú, J. (2006). *El Abric Agut (Capellades, Barcelona) y el Mesolítico de muescas y denticulados en el noreste de la Península* Do Epipaleolítico ao Calcolítico na Península Ibérica. Actas do IV congresso de arqueologia peninsular, Faro, Universidade do Algrave, 113-126

Vaquero, M., Alonso, M., García-Catalán, S., García-Hernández, A., Gómez de Soler, B., Rettig, D., & Soto, M. (2012). Temporal nature and recycling of Upper Paleolithic artifacts: the burned tools from the Molí del Salt site (Vimbodí i Poblet, northeastern Spain). *Journal of Archaeological Science*, *39*, 2785-2796.

Vaquero, M., Alonso, S., Allué, E., García-Diez, M., Mas, B., Nadal, J., & Rufà, A. (2020). Tendencias de cambio en la fabricación de útiles líticos al final del Paleolítico Superior: el caso del Molí del Salt. In D. Roman, P. Garcia-Argüelles, & J. M. Fullola (Eds.), *Las facies microlaminares del final del Paleolítico en el Mediterráneo ibérico y el valle del Ebro* (Vol. 17, pp. 149-174). Monografies del Serp, 17

Vaquero, M., Bargalló, A., Chacón, M. G., Romagnoli, F., & Sañudo, P. (2015). Lithic recycling in a Middle Paleolithic expedient context: Evidence from the Abric Romaní (Capellades, Spain). *Quaternary International*, *361*, 212-228. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.055

Vaquero, M., & García-Argüelles, P. (2009). Algunas reflexiones sobre la ausencia de Mesolítico geométrico en Catalunya. In P. Utrilla & L. Montes (Eds.), *El Mesolítico geométrico en la Península Ibérica* (pp. 191-204). Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias de la Antigüedad

Vaquero, M., & Pastó, I. (2001). The Definition of Spatial Units in Middle Palaeolithic Sites: The Hearth-Related Assemblages. *Journal of Archaeological Science*, *28(11)*, 1209-1220. https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0656

Vaquero Rodríguez, M., Alonso, E. S., & Rufà, A. (2014). *Memòria de l'excavació arqueològica al Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Conca de Barberà), setembre-octubre del 2014*. Departament de Cultura, Direcció General de Cultura i Patrimoni, Generalitat de Catalunya. http://hdl.handle.net/10687/431048

Vaquero Rodríguez, M., Alonso, S., & García, S. (2009). *El final del Magdaleniense y el Mesolítico en Catalunya* Els Pirineus

i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà, 349-373

Vaz, M., Pereira, J. S., Gazarini, L. C., David, T. S., David, J. S., Rodrigues, A., Maroco, J., & Chaves, M. M. (2010). Drought-induced photosynthetic inhibition and autumn recovery in two Mediterranean oak species (Quercus ilex and Quercus suber). *Tree Physiology*, *30(8)*, 946-956. https://doi.org/10.1093/treephys/tpq044

Vega, S., Martínez-Moreno, J., & Mora, R. (2013). *Nous elements de discussió entorn de l'espai Magdalenià dels Prepirineus orientals: La cova Gran de Santa Linya (Les Avellanes, La Noguera)* 3r. Col·loqui d'Arqueologia d'Odèn [el Solsonès]: Darreres investigacions al Pre-pirineu lleidatà, Odèn, 9-16

Vergès, J. M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J. I., Martín-Rodríguez, P., Carrancho, A., Expósito-Barea, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., Oms, F. X., Euba, I., & Rodriguez, A. (2016). El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International*, *414(1)*, 236-243. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.044

Vericat, P., Piqué, M., Beltrán, M., & Cervera, T. (2011). *Models de gestió per als boscos d'alzina (Quercus ilex subsp. ilex) i carrasca (Quercus ilex subsp. ballota): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals*. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya

Vernet, J. L. (1967). Premières résultats de l'étude anatomique des charbons de bois préhistoriques de la région Méditerranéenne français. *Bulletin de l'AFEQ*, *3*, 211-222.

Vernet, J. L. (1973). Étude sur l'historie de la végétation du Sud-Est de la France au Quaternarie d'après l'étude des charbons de bois principalement. *Paleobiologie Continentale*, *4*, 1-90.

Vernet, J. L. (1980). La végétation du bassin de l'Aude, entre Pyrénées et Massif Central, au Tardiglaciaire et au Postglaciaire d'après l'analyse anthracologuique. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *30*, 33-55.

Vernet, J. L. (1988). L'Antracologia, un mètode per reconstruir les relacions home-vegetació al llarg de la prehistòria. *Cota zero: revista d'arqueologia i ciència*, *4*, 46-50.

Vernet, J. L. (1991). *L'historie du milieu méditerranéen humanisé révélée par les charbons de bois* Pour une archéologie agraire, Armand Colin, Paris, 369-408

Vernet, J. L. (1997). *L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistorie à nos jours*. Editions Errance

Vernet, J. L., & Thiébaut, S. (1987). An approach to northwestern mediterranean recent prehistoric vegetation and ecologic implications. *Journal of Biogeography*, *14(2)*, 117-127.

Vessella, F., & Schirone, B. (2013). Predicting potential distribution of Quercus suber in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. *Forest Ecology and Management*, *304*, 150-161. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.006

Vidal-Cordasco, M., & Nuevo-López, A. (2021). Difference in ecological nic-

he breadth between Mesolithic and Early Neolithic groups in Iberia. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *35*, 102728. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102728

Vidal-Matutano, P. (2016). *Alrededor del fuego: paisaje, clima y gestión de los recursos leñosos en grupos cazadores-recolectores durante el Paleolítico medio* [Tesis doctoral, Universitat de València]. Valencia. http://hdl.handle.net/10550/55897

Vidal-Matutano, P. (2017). Firewood and hearths: Middle Palaeolithic woody taxa distribution from El Salt, stratigraphic unit Xb (Eastern Iberia). *Quaternary International*, *457*, 74-84. http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.07.040

Vidal-Matutano, P. (2018). Anthracological data from Middle Palaeolithic contexts in Iberia: What do we know? *Munibe Antropologia-Arkeologia*, *69*, 2132–2217. https://doi.org/10.21630/maa.2018.69.12

Vidal-Matutano, P., Alberto-Barroso, V., Marrero, E., García, J. C., Pou, S., & de la Rosa, M. A. (2019). Vitrified wood charcoal and burnt bones from the pre-Hispanic site of Chasogo (Tenerife, Canary Islands, Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *28*, 102005. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102005

Vidal-Matutano, P., Henry, A., Carrión-Marco, Y., & Allué, E. (2020). Disentangling human from natural factors: Taphonomical value of microanatomical features on archaeological wood and charcoal assemblages. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *31*, 102328. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102328

Vidal-Matutano, P., Henry, A., & Théry-Parisot, I. (2017). Dead wood gathering among Neanderthal groups: Charcoal evidence from Abric del Pastor and El Salt (Eastern Iberia). *Journal of Archaeological Science*, *80*, 109-121. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.03.001

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. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.010

Vidal-Matutano, P., & Pardo-Gordó, S. (2020). Predictive Middle Palaeolithic climatic conditions from Eastern Iberia: a methodological approach based on charcoal analysis and modelling. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *12(1)*, 36. https://doi.org/10.1007/s12520-019-00993-3

Vidal, L. (2021). *Anàlisi espacial de les ocupacions del Neolític antic cardial a les Guixeres de Vilobí (Sant Martí Sarroca, Alt Penedès)* [Undergraduate thesis project - TFG, Universitat de Barcelona]. Barcelona.

Vila, S., & Piqué, R. (2012). Paisatge vegetal i gestió del combustible a la plana occidental catalana entre el neolític i l'edat mitjana: estat de la qüestió des de l'anàlisi antracològica. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, *22*, 9-36.

Villaverde-Bonilla, V., Román, D., Ripoll, M. P., Bergadà, M. M., & Real, C. (2012). The end of the Upper Palaeolithic in the Mediterranean Basin of the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, *272-273*, 17-32. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.025

W

Wagner, G. E. (1988). Comparability among Recovery Techniques. In C. A. Hastorf & V. S. Popper (Eds.), *Current Paleoethnobotany. Analytical methods and cultural interpretations of archaeological plant remains* (pp. 17-35). University of Chicago Press

Walker, M., Head, M. J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D. A., Gkinis, V., Long, A. J., Lowe, J., Newnham, R. M., Rasmussen, S. O., & Weiss, H. (2018). Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *International Union of Geological Sciences*, *41(4)*, 213-223. https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016

Walker, M. J. C., Berkelhammer, M., Björck, S., Cwynar, L. C., Fisher, D. A., Long, A. J., Lowe, J. J., Newnham, R. M., Rasmussen, S. O., & Weiss, H. (2012). Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *27(7)*, 649-659. https://doi.org/10.1002/jqs.2565

Walker, M. J. C., Björck, S., Lowe, J. J., Cwynar, L. C., Johnsen, S., Kundsen, K. L., & Wohlfarth, B. (1999). Isotopic 'events' in the GRIP ice core: a stratotype for the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, *18*, 1143-1150. https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00023-2

Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S. P., & Jetel, M. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, *30(21)*, 3109-3123. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010

Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *21*, 335-342. https://doi.org/10.1890/10-1171.1

Wei, B., Wang, R., Hou, K., Wang, X., & Wu, W. (2018). Predicting the current and future cultivation regions of Carthamus tinctorius L. using MaxEnt model under climate change in China. *Global Ecology and Conservation*, *16*, e00477. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477

Weniger, G. C., de Andrés-Herrero, M., Bolin, V., Kehl, M., Otto, T., Potì, A., & Tafelmaier, Y. (2019). Late Glacial rapid climate change and human response in the Westernmost Mediterranean (Iberia and Morocco). *PLOS ONE*, *14 (12)*, e0225049. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225049

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(3)*, 401-420. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2006.06.009

Weninger, B., Clare, L., Rohling, E., Bar-Yosef, O., Böhner, U., Budja, M., Bundschuh, M., Feurdean, A., Gebe, H. G., Jöris, O., Linstädter, J., Mayewski, P., Mühlenbruch, T., Reingruber, A., Rollefson, G., Schyle, D., Thissen, L.,

Todorova, H., & Zielhofer, C. (2009). The Impact of Rapid Climate Change on Prehistoric Societies during the Holocene in the Eastern Mediterranean. *Documenta Praehistorica*, *36*, 7-59. https://doi.org/10.4312/dp.36.2

Wheatley, D., & Gillings, M. (2002). *Spatial Technology and Archaeology. The archaeological applications of GIS*. Routledge

White, C. E., & Shelton, C. (2014). Recovering macrobotanical remains: current methods and techniques. In J. M. Marston, J. d'Alpoim-Guedes, & C. Warinner (Eds.), *Current methods in Paleoethnobotany* (pp. 95-114). University Press of Colorado.https://doi.org/10.5876/9781607323204.c006

Whittaker, R. H., & Levin, S. A. (1977). The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology*, *12(2)*, 117-139. https://doi.org/10.1016/0040-5809(77)90039-9

Wickham, H. (2016). *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlaghttps://ggplot2.tidyverse.org

Wloch, W., Mazur, E., & Beltowski, M. (2002). Formation of spiral grain in the wood of Pinus sylvestris L. *Trees*, *16 (4-5)*, 306-312. http://dx.doi.org/10.1007/s00468-002-0174-6

Wolf, C., Bell, D. M., Kim, H., Nelson, M. P., Schulze, M., & Betts, M. G. (2021). Temporal consistency of undercanopy thermal refugia in old-growth forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, *307*, 108520. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108520

Woodbridge, J., Roberts, N., & Fyfe, R. (2018). Pan-Mediterranean Holocene vegetation and land-cover dynamics from synthesized pollen data. *45(9)*, 2159-2174. https://doi.org/10.1111/jbi.13379

Wright, P. J. (2005). Flotation samples and some paleoethnobotanical implications. *Journal of Archaeological Science*, *32(1)*, 19-26. https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.06.003

Wu, B., Zhou, L., Qi, S., Jin, M., Hu, J., & Lu, J. (2021). Effect of habitat factors on the understory plant diversity of Platycladus orientalis plantations in Beijing mountainous areas based on MaxEnt model. *Ecological Indicators*, *129*, 107917. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107917

Y

Yang, J., Huang, Y., Jiang, X., Chen, H., Liu, M., & Wang, R. (2022). Potential geographical distribution of the edangred plant Isoetes under human activities using MaxEnt and GARP. *Global Ecology and Conservation*, *38*, e02186. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02186

Yellen, J. E. (1977). *Archaeological approaches to the present: models for reconstructing the past*. Academic Press

Yokoyama, Y., Esat, T. M., Thompson, W. G., Thomas, A. L., Webster, J. M., Miyairi, Y., Sawada, C., Aze, T., Matsuzaki, H., Okuno, J. i., Fallon, S., Braga, J.-C., Humblet, M., Iryu, Y., Potts, D. C., Fujita, K., Suzuki, A., & Kan, H. (2018). Rapid glaciation and a two-step sea level plunge into the Last Glacial Maximum. *Nature*, *559(7715)*, 603-607. https://doi.org/10.1038/s41586-018-0335-4

Z

Zapata, L. (2001). El uso de los recursos vegetales en Aizpea (Navarra, Pirineo Occidental): la alimentación, el combustible y el bosque. *VELEIA*, *10*, 325-359.

Zilhão, J. (1993). The spread of agro-pastoral economies across Mediterranean Europe: a view from the far west. *Joural of Mediterranean Archaeology*, *6*, 5-63.

Zilhão, J. (2011). Time is on my side... In A. Hadjikoumis, E. Robinson, & S. Viner (Eds.), *The dynamics of Neolithisation in Europe studies in honour of Andrew Sherratt* (pp. 46-65). Oxbow Books. https://doi.org/10.2307/j.ctvh1dhqm.9

Índice de figuras

Figura 2.1. Registro de isótopos de oxígeno (δ18O) del núcleo de hielo GRIP (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993), con escala de edad calibrada entre 21 y 10 mil años BP (Reimer et al., 2020), ilustrando la división de los eventos interestadiales y sub-interestadiales (en rojo), y los eventos estadiales y sub-estadiales (en azul), acorde con los eventos de Heinrich (H) y los Estadios Isotópicos Marinos (MIS). 58
Figura 2.2. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del Paleolítico superior final hasta el Epipaleolítico/Mesolítico en el noreste de la península ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Bauma del Serrat del Pont; 2: Roc del Migdia; 3: Sota Palou; 4: Balma del Gai; 5: Can Sadurní; 6: Font del Ros; 7: Abric Agut; 8: Cova de la Guineu; 9: Bauma Guilanyà; 10: La Cativera; 11: Font Voltada; 12: Molí del Salt; 13: Cova del Parco; 14: Hort de la Boquera; 15: Abric dels Colls; 16: Abric del Filador; 17: Cova del Vidre. 61
Figura 2.3. Registro de isótopos de oxígeno (δ18O) del núcleo de hielo GRIP (en azul) (Johnsen et al., 1992; Dansgaard et al., 1993), con escala de edad calibrada entre 11 y 3 mil años BP (Reimer et al., 2020), ilustrando la división de las fases climáticas del Holoceno (Jalut et al., 2009) y las divisiones formales (Walker et al., 2018) en relación con las cronozonas polínicas tradicionales. 76
Figura 2.4. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos de contextos del Neolítico al Neolítico final-Calcolítico en el noreste de la peninsula ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Ca'n Isach; 2: La Draga; 3: Cova d'en Pau IV, 4: Cova 120; 5: Bauma del Serrat del Pont; 6: Plansallosa; 7: Cova de l'Avellaner; 8: La Prunera; 9: Cova del Toll; 10: Cova del Frare; 11: Cova Bonica; 12: Can Sadurní; 13: Santa Maria dels Horts; 14: La Serreta; 15: Cova de la Guineu; 16: Cal Sitjo; 17: Coves del Fem; 18: Cova Gran (Expósito et al., in prep); 19: Cova del Sardo; 20: Auvelles; 21: Cova Colomera; 22: Roques del Sarró; 23: Barranc d'en Fabra; 24: Cova del Vidre.....79
Figura 2.5. Mapa de localización de los yacimientos arqueológicos con datos antracológicos de contextos de la Edad del Bronce Antiguo al Bronce Medio en el noreste de la peninsula ibérica, posicionados sobre los pisos de vegetación actuales de Rivas-Martínez (1987). 1: Institut Manlleu; 2: Can Roqueta; 3: Cova del Toll; 4: Mas d'en Boixos (Pacs del Penedès, Barcelona); 5: Cova de la Guineu; 6: Cova Gran (Expósito et al., in prep); 7: Cova Colomera; 8: Cova de Punta Farisa. 79
Figura 3.1. Esquema del proceso de recuperación de fragmentos de carbón mediante la técnica de flotación manual que ilustra la recuperación de los conjuntos antracológicos recuperados en los yacimientos Molí del Salt y la Cova Colomera. 107
Figura 3.3. Fotografías del proceso de recuperación de los macrorestos carbonizados durante los trabajos de campo de la Cova Colomera. Imágenes cedidas por F.X. Oms.....108
Figura 3.2. Fotografías del proceso de recuperación de los macrorestos carbonizados durante los trabajos de campo de Molí del Salt 108
Figura 3.4. Fotografías de los instrumentos utilizados para la selección de los fragmentos de carbón entre el residuo de la flotación manual recuperado en el nivel A de Molí del Salt.....109
Figura 3.5. Planos anatómicos de la madera de frondosas (izquierda) y coníferas (derecha). A: plano Longitudinal Transversal; B: plano Longitudinal Radial; C: plano Longitudinal Tangencial. 110

Figura 3.6. Izquierda: fotografía tomada durante el análisis antracológico de los fragmentos de carbón del conjunto de la Cova Colomera; Derecha: Materiales, 1: Microscopio de reflexión con óptica de campo claro y oscuro (Olympus BX41); 2: muestras; 3: Pinzas; 4: Soporte con semillas; 5: Papel de plata; 6: Manual especializado en anatomía de la madera (Schweingruber, 1990).....111
Figura 3.7. Modelo relacional de la base de datos elaborada durante el análisis antracológico para cada yacimiento arqueológico analizado. 113
Figura 3.8. Ejemplo de un gráfico simplificado de curvas de acumulación.....118
Figura 3.9. Ejemplo de lectura de un diagrama antracológico.....120
Figura 3.10. Mapa conceptual de la base de datos con la recopilación de datos antracológicos publicados en otros trabajos, que se enmarcan junto a nuestras investigaciones tanto en cronología como en área de estudio.....121
Figura 3.11. Representación esquemática de los pasos a realizar en un proyecto de ArcMap para recrear la cuadrícula arqueológica de un yacimiento, a partir del dibujo técnico de la planta. El dibujo técnico pertenece al dibujo técnico de la planta de Cova del Parco (Mangado et al., 2015).....124
Figura 3.12. Esquema de la aplicación de los valores xq e yq para la conversión de coordenadas X e Y para la redistribución de los elementos coordenados dentro del escenario de ArcMap. En rojo, se ejemplifican los nombres de los cuadros arqueológicos, en negro, los valores de xq e yq. 126
Figura 3.13. Esquema sobre como ejecutar e interpretar el estimador de densidad de Kernel.....127
Figura 3.14. Esquema tipo de agrupamiento según el índice I de Moran.....128
Figura 3.15. Esquema conceptual del proceso metodológico para la obtención de los modelos actuales y predichos de nicho ecológico (ENM) con MaxEnt (algoritmo de Máxima Entropía). 130
Figura 4.1. Mapa base de las regiones biogeográficas de la península ibérica. 142
Figure 5.1. Relief map of northeastern Iberian Peninsula and the locations of Late Upper Palaeolithic archaeological sites: (1) Bora Gran d'en Carreres; (2) Montlleó; (3) Cova del Parco; (4) Cova Gran de Santa Linya; (5) La Font Voltada; (6) Molí del Salt; (7) Bauma de la Vall; (8) Picamoixons; (9) La Cativera; (10) Cova de les Borres; (11) Hort de la Boquera; (12) Balma de l'Auferí; (13) Abric dels Colls; (14) Cova del Boix; (15) Abric del Filador; (16) Abric de Sant Gregori; (17) Cova de l'Areny; (18) Cova de la Mallada; (19) Cova del Vidre; (20) Cova del Clot de l'Hospital.....206
Figure 5.2a. In (a): Territory and landscapes around Molí del Salt. In (a): vegetation cover in the Francolí basin (a: sclerophyllous forests and continental pine forests—*Quercus ilex* and *Pinus halepensis*; b: calcicolous oak, dried—*Quercus faginea*; c: artificial environments; d: acidophilus oaks—*Quercus pubescens*; e: Maquis of the maritime regions—*Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* and *Olea europaea* var. *sylvestris*; f: sclerophyllous forests of the maritime regions— *Vibruno-Quercetum ilicis* subass. *quercetosum ballotae*; g: Scots pine, acidophilus pine—*Pinus sylvestris*). In (b): Francolí basin and site location on current 3D map. In (c): Annual climate graph of Vimbodí i Poblet (year 2019).....207
Figure 5.2b. Biogeographic parameters of Francolí basin that affects climate and vegetation. Bioclimatic variables (Annual precipitation and Annual Mean Temperature) have been downloaded in raster format from WorldClim 2.1 (Fick and Hijmans 2017) and geographic relief has been processed by QGIS in DEM downloaded from Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICC). Longitude (east) and latitude (north)

parameters are referred to the Greenwich meridian.....208
Figure 5.3. Left: stratigraphic sequence of Molí del Salt (Rufà et al., 2018). Right: IntCal20 calibration graph (Reimer et al., 2020) of 14C-AMS radiocarbon dates (García-Diez and Vaquero, 2015) with NGRIP climate curve (Rasmussen et al., 2014). Layer B2 in red, layer B1 in blue, layer A in green, layer ASup in orange. 209
Figure 5.4. Standardized density map of charcoal fragments distributed in layer A by archaeological squares in grid. Charcoal concentrations are grouped into two remarkable areas: inside space, bounded by grid AA-E/35- 38 (square D36 with higher concentration) and outside space, bounded by grid D-F/29-34 (squares D31 and D32). 215
Figure 5.5. Distribution patterns of the most representative taxa (a: *Juniperus* sp., b: *Prunus* type 3 and c: *Pinus sylvestris* type) with Moran's I and Kernel analysis (XY).....215
Figure 5.6. Distribution in X-Z with Kernel analysis of the most representative taxa identified in row D (*Juniperus* sp., *Pinus sylvestris* type and *Prunus* sp.). Row D is where most charcoal concentrations were identified. 216
Figure 5.7. Vertical dispersion diagram of the three more representative taxa at row D (grid excavation), with regression line and confidence intervals with non-parametric methods (loess) (*sensu* Wickham 2016, Cleveland 1979). Recognizing the main focus concentration and correlations of the most representative taxa (see in Supp. Material 1). 217
Figure 5.8. Scatter plot with confidence intervals of the two variables (total charcoal fragments analysed and number of taxa identified), according to Table 5.3.....218
Figure 5.9. Anthracological sequence diagram of Molí del Salt. Results of Allué et al., 2010 are included.....219
Figure 5.10. Fig. 10 Radar chart with orientations of archaeological remains recovered of layer A during fieldworks (rock blocks, faunal bones and flint) (see in Supp. Material 1).....223
Figure 6.1. (A) Geographic location of Cova del Parco according to WGS84 UTM coordinates. (B) Ecoregions (Dinerstein et al., 2017). (C) Vegetation belts (Rivas-Martinez, 1987). (D) Average annual precipitation, which is influential in the area surrounding Cova del Parco. Captions B, C and D have the same scale.....237
Figure 6.2. Vegetation map and terrain profile 20 km2 around Cova del Parco.....237
Figure 6.3. Plan-view map of the Cova del Parco site. 238
Figure 6.4. Density map of charcoal fragments distributed in A: layer III; B: layer II; C: layers Ib-Ic and D: layer Ia(2) of Cova del Parco.....247
Figure 6.5. Spatial distribution density of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. throughout the settlement of Cova del Parco. A) Epipaleolithic microlaminar layers Ib-Ic. The sample for *Pinus sylvestris* type consists of 36 fragments, while the sample for *Juniperus* sp. consists of 612 fragments; B) Upper Magdalenian layer II. The sample for *Pinus sylvestris* type comprises 672 fragments, and the sample for *Juniperu*s sp. comprises 109 fragments; C) Late Middle Magdalenian layer III. The sample for *Pinus sylvestris* type includes 81 fragments, and the sample for *Juniperus* sp. includes 5 fragments.....248
Figure 6.6. Spatial distribution of charcoal fragments throughout the settlement of Cova del Parco in relation to the hearths. 249
Figure 6.7. Scatter plots of the spread of charcoal fragments over archaeological layers III (A) and II (B). Y-axis: ranges of depth (in meters); X-axis: squares of the archaeological grid. ...250
Figure 6.8. Anthracological diagram of Cova del Parco, including the results from Allué et al. (2013a) and Ros (1997).....251

Figure 6.9. Calibrated radiocarbon dates of Cova del Parco in comparison with other climate and vegetation proxies. 252
Figure 6.10. A. Map sites with anthracological data from the end of LGM to the early Holocene. 1: Bauma del Serrat del Pont (see Allué et al., 2012b); 2: Abeurador cave and Font-Juvénal (Heinz, 1990; Heinz and Thiébault, 1998); 3: Roc del Migdia (see Allué et al., 2012b); 4: Sota Palou (see Allué et al., 2012b); 5: Balma del Gai (Allué et al., 2007a); 6: Font del Ros (see Allué et al., 2012b); 7: Abric Agut (Vaquero et al., 2006); 8: Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 9: Balma Guilanyà (Allué et al., 2012a); 10: Balma Margineda (Heinz and Vernet, 1995); 11: La Cativera (Allué et al., 2000); 12: Font Voltada (Mir and Freixas, 1993); 13: Molí del Salt (Allué et al., 2010; Mas et al., 2021); 14: Cova del Parco (Allué et al., 2013a; in this chapter); 15: Cova Gran de Santa Linya (Allué et al., 2018a); 16) Hort de la Boquera (Garcia-Argüelles et al., 2014); 17: Abric dels Colls (Ros, 1998); 18: Abric del Filador (Garcia-Argüelles et al., 2005); 19: Grotte Troubat (Heinz and Barbaza, 1998); 20: Cova del Vidre (Alcolea, 2017) and 21: Forcas I (Alcolea, 2017). B. Terrain profile of the western Mediterranean area and synthesis of the transformation of forest according to anthracological data. 257
Figure 7.1.. Archaeological sites with available Middle-Late Holocene anthracological data from NE Iberian Peninsula. Early Neolithic: 1) La Draga (Piqué, 2005); 2) Cova d'en Pau III (Ros, 1996; Piqué, 2005); 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 5) Plansallosa (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 6) Cova de l'Avellaner (Ros, 1996); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 11) Cova del Frare (Ros, 1996); 12) Cova Bonica (Daura et al., 2019); 13) Can Sadurní (Antolín et al., 2013); 15) La Serreta (Allué, 2010); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 18) Camp del Colomer (Piqué et al., 2015b); 19) Bauma Margineda (Heinz, 1995); 20) Coves del Fem (Alcolea, 2017); 23) Cova Colomera (in this chapter); 25) Barranc d'en Fabra (Ros, 1996); 26) Cova del Vidre (Alcolea, 2017). Late Neolithic-Chalcolithic: 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 7) La Prunera (Piqué, 2005); 14) Santa Maria dels Horts (Senabre and Socias, 1993); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 22) Auvelles (Martín and Piqué, 2008); 23) Cova Colomera (in this chapter); 24) Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2012). Early Bronze age: 8) Institut Manlleu (Ros, 1995b); 9) Can Roqueta (Piqué, 1999); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 16) Mas d'en Boixos (Allué, 2007); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009a); 23) Cova Colomera (in this chapter). Middle Bronze age: 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 23) Cova Colomera (in this paper); 27) Genó (Vila and Piqué, 2012); 28) Punta Farisa (Ros, 1998). 273
Figure 7.2. A) Map of forest communities in the study area, according to the vegetation series of Spain (Rivas-Martínez, 1987); B and C) Principal bioclimatic variables in the NE Iberian Peninsula. "Mean annual Temperature" (B) and "Mean annual Precipitation" (C) according to *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* (Spanish government), by geostatistical interpolation methods from actual AMET data (http://wms.mapama.es/sig/Agricultura/CaractAgroClimaticas/wms.aspx?). 274
Figure 7.3. 3D Location map of Cova Colomera, at N42º4'40.892", E0º40'54.487" (WGS 84). 275
Figure 7.4. A: Cave plan; B: Stratigraphic profile and grid-square (2008-2009) of the Cova Colomera test pit CE (Oms et al., 2013: modified). According to Angelucci and others (2009), c facies relates to the accumulations of charcoal fragments and tf facies refers to

silt with abundant ash and varied color, sometimes with platy structure and moderate cementation. 277
Figure 7.5. Taxon accumulation curves of the Holocene layers of Cova Colomera. 282
Figure 7.6. Diagram with anthracological results for Cova Colomera. Results from Early Bronze age silo EE1 (Oms et al., 2009b) are included. 283
Figure 7.7. Calibrated radiocarbon dates of Cova Colomera in relation of different climate proxies. 286
Figure 8.1. A) Location map of the study area and biogeographical regions; B) Mean annual precipitation and C) Mean annual temperature maps of the Iberian Peninsula.....301
Figure 8.2. Current distribution map of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. in the western Mediterranean (Caudullo et al., 2017). 302
Figure 8.3. Current observations of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. used by MaxEnt ENMs. 303
Figure 8.4. Distribution maps of current suitable habitats of A) *Quercus pubescens* Willd. and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex*. 309
Figure 8.5. Marginal response curve plots of the environmental variables used in MaxEnt related to *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The x-axis reflects the variation in value of the variable, and the y-axis reflects the probability of the species occurring in the study area.311
Figure 8.7. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario of the NE Iberian Peninsula, and the locations of Early-Middle Neolithic sites with anthracological data. 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau; 3. Cova 120; 4. Bauma del Serrat Pont; 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu; 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre. 315
Figure 8.8. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and the locations of Late Neolithic sites with anthracological data. 1. Cova 120; 2. Bauma del Serrat Pont; 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu; 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró. 315
Figura 9.1. Tamaño de los conjuntos antracológicos analizados según las curvas de acumulación de los fragmentos de carbón dispersos analizados (eje X) y taxones documentados (eje Y); a) nivel A de Molí del Salt; b) nivel II de Cova del Parco; c) nivel Ia(2) de Cova del Parco y; d) nivel III de Cova del Parco. 332
Figura 9.2. Biovariables más influyentes durante el Holoceno medio en el noreste de la península ibérica (Fick y Hijmans, 2017). 343
Figura 9.3. A: Dendrograma generado utilizando el método de distancia Manhattan, que muestra cuatro grupos principales de yacimientos y niveles arqueológicos que han sido agrupados a partir de las frecuencias relativas de los principales taxones leñosos presentes en los registros antracológicos (*Buxus sempervirens*, *Juniperus* sp. *Pinus* tipo *sylvestris* y *Quercus* caducifolios y perennifolios). Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3a) Cova d'en Pau IV; 4a) Cova 120; 5a) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15a) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18a) Cova del Sardo; 19a) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) **La Serreta**. Neolítico final: 3b) Cova d'en Pau IV; 4b) Cova 120; 5b) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15b) Cova de la Guineu; 18b) Cova del Sardo; 19b)

Cova Colomera; **20) Roques del Sarró**. En negrita se marcan los yacimientos que hemos considerado atípicos. B) Distribución de los datos según los grupos generados por el dendrograma. 350
Figura 9.4. Distribución del hábitat adecuado para la especie *Quercus pubescens* Willd, proyectado al escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la península ibérica, con relación a la localización de los yacimientos con ocupaciones humanas durante el Neolítico, los cuales cuentan con datos antracológicos. Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) La Serreta. Neolítico final: 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15) Cova de la Guineu; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 20) Roques del Sarró. 351
Figura 9.5. Distribución del hábitat adecuado para la especie *Quercus ilex* subsp. *ilex* proyectado al escenario climático del Holoceno medio en el noreste de la península ibérica, con relación a la localización de los yacimientos con ocupaciones humanas durante el Neolítico, los cuales cuentan con datos antracológicos. Neolítico antiguo: 2) La Draga; 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 6) Plansallosa; 7) Cova de l'Avellaner; 9) Cova del Toll; 10) Cova del Frare; 11) Cova Bonica; 12) Can Sadurní; 15) Cova de la Guineu; 16) Coves del Fem; 17) Auvelles; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 21) Barranc d'en Fabra; 22) Cove del Vidre. Neolítico medio: 1) Ca n'Isaach; 14) La Serreta. Neolítico final: 3) Cova d'en Pau IV; 4) Cova 120; 5) Bauma del Serrat del Pont; 8) La Prunera; 13) Santa Maria dels Horts; 15) Cova de la Guineu; 18) Cova del Sardo; 19) Cova Colomera; 20) Roques del Sarró. 352

Índice de tablas

Tabla 2.1. Yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del final del Paleolítico superior hasta el Epipaleolítico/Mesolítico en el noreste de la península ibérica. Las dataciones radiocarbónicas se han calibrado con OxCal (v.4.4) (Bronk-Ramsey, 2020) mediante la curva de calibración IntCal 20 (Reimer et al., 2020) al 95.4% de probabilidad. 62
Tabla 2.2. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/ Mesolítico localizados en el piso bioclimático montano del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico. 64
Tabla 2.3. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/ Mesolítico localizados en el piso bioclimático supramediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico, AZ: Aziliense. En Cova del Parco*: en este trabajo (Capítulo VI). 66
Tabla 2.4. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Paleolítico superior final y Epipaleolítico/ Mesolítico localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: UP: Paleolítico superior final, EP: Epipaleolítico, MES:

Mesolítico. *A en Molí del Salt: en este trabajo (Capítulo V, Mas et al., 2021).....70
Tabla 2.5. Presencias de los taxones vegetales leñosos identificados en el análisis antracológico de los conjuntos Epipaleolítico/Mesolítico de La Cativera, localizada en el piso bioclimático termomediterráneo del noreste de la península ibérica. Period: EP: Epipaleolítico; MES: Mesolítico.....74
Tabla 2.6. Yacimientos arqueológicos con datos antracológicos en contextos del Neolítico a la Edad del Bronce Medio en el noreste de la península ibérica. Las dataciones radiocarbónicas se han calibrado con OxCal (v.4.4) (Bronk-Ramsey, 2020) mediante la curva de calibración IntCal 20 (Reimer et al., 2020) al 95.4% de probabilidad. En negrita: Yacimientos analizados en este trabajo.....81
Tabla 2.7. Presencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de Cova del Sardo, localizado en el piso bioclimático alpino del noreste de la península ibérica. 84
Tabla 2.8. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce localizados en el piso bioclimático montano del noreste de la península ibérica. 85
Tabla 2.9. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce localizados en el piso bioclimático supramediterráneo del noreste de la península ibérica. 87
Tabla 2.10. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, en la zona norte e interior del noreste de la península ibérica. 90
Tabla 2.11. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, entre las cuencas de los ríos Anoia y Llobregat del noreste de la península ibérica. 96
Tabla 2.12. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos de los conjuntos del Neolítico a la Edad del Bronce medio localizados en el piso bioclimático mesomediterráneo, en la zona del Prepirineo del noreste de la península ibérica. 100
Tabla 2.13. Presencias y ausencias de los taxones vegetales leñosos identificados en los análisis antracológicos del Neolítico antiguo de Barranc d'en Fabra, localizado en el piso bioclimático termomediterráneo del noreste de la península ibérica. 101
Tabla 3.1. Recuento de los fragmentos de carbón analizados en esta investigación, recuperados de los niveles arqueológicos de Molí del Salt, Cova del Parco y la Cova Colomera, con relación al total de fragmentos publicados en trabajos previos. 112
Tabla 3.2. Criterios microscópicos para la identificación del nivel de alteración (A.L.) en el plano anatómico transversal del taxón *Pinus sylvestris*, según las autoras Henry y Théry-Parisot (2014): p. 327, Tabla 3: modificada. 117
Table 5.1. Anthracological analysis results of layer A expressed in absolute (n) and relative (%) frequencies(%).....213
Table 5.2. Taphonomic alteration results of anthracological analysis. 214
Table 5.3. Late Upper Palaeolithic sites on the north-eastern Iberian Peninsula with anthracological sequences. Methods of sample recovery, total number of charcoal fragments analysed and number of taxa identified.....218

Table 6.1. Radiocarbon dates of Cova del Parco. The calendar ages have been calibrated by OxCal 4.4 (Bronk-Ramsey, 2009). IntCal20 curve: Northern Hemisphere (Reimer et al., 2020). Abbreviations: EP = Epipaleolithic; LUP = Late Upper Paleolithic; UP = Upper Paleolithic.239
Table 6.2. Anthracological results of Cova del Parco. Results from layer Ia(2) and II (Allué et al., 2013a), and layers Ib-Ic (Ros, 1997; Allué et al., 2013a) are included.....245
Table 6.3. Taphonomic results for the charcoal fragments of Cova del Parco. 246
Table 6.4. Alterations in the charcoal sample of Cova del Parco, and the Alteration Index (Ai) based on Henry and Théry-Parisot (2014).....246
Table 7.1. Compilation of published radiocarbon and calibrated dates from the Holocene sequence of the Cova Colomera test pit CE. 276
Table 7.2A. Middle Holocene anthracological record from Cova Colomera. 280
Table 7.2B. Late Holocene anthracological record from Cova Colomera. 281
Table 8.1. Environmental features of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) and pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.). The ecological and environmental requirements of both tree species were gathered from specialized vegetation atlases (Serrada et al., 2008). 302
Table 8.2. Archaeological sites included in this paper. 307
Table 8.3. The values show averages of 10 replicate runs, estimating the relative contributions of the environmental and territorial variables to the MaxEnt model. The percentage contribution determines the jackknife; in each iteration of the training algorithm, the increase in regularized gain is added to the contribution of the corresponding variable. Permutation importance shows the values of that variable on training presence, and background data are randomly permuted. The model is reevaluated on the permuted data, and the resulting drop in training AUC is shown, normalized to percentages.310
Figure 8.6. Cluster plots according to anthracological data during the Middle Holocene. Early-Middle Neolithic: 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau (III); 3. Cova 120 (III); 4. Bauma del Serrat Pont (III.4); 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu (Id); 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre; Late Neolithic: 1. Cova 120 (II); 2. Bauma del Serrat Pont (III.3); 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu (Ic); 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró.....312
Table 8.4. Results of predicted suitability values according to the coordinates (pixel) of the Neolithic sites that are included in this study. Group: Anthracological groups; Id: the site number as shown in Figure 8.7 and Figure 8.8. 316
Tabla 9.1. Recopilación de las frecuencias relativas de los taxones *Buxus sempervirens*, *Juniperus* sp., *Pinus* tipo *sylvestris*, *Quercus* sp. perennifolio y caducifolio, con la clasificación de los yacimientos arqueológicos en los grupos generados. A. period: período arqueológico. En la columna Total % se resaltan en negrita los conjuntos antracológicos en los que los cinco taxones no representan más del 50% del conjunto antracológico.....349

Anexo I

Archaeological and Anthropological Sciences (2021) 13:12
https://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2

ORIGINAL PAPER

From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and *intra-site* spatial distribution

Bàrbara Mas[1] · Ethel Allué[2,3] · E. Susana Alonso[2,3] · Manuel Vaquero[2,3]

Received: 18 September 2020 / Accepted: 15 December 2020
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH, DE part of Springer Nature 2021

Abstract
This study aims to provide anthracological data on forest transformations on the north-eastern Iberian Peninsula during the transition from the last glacial GS-2a to the last isotopic event of interstadial GI-1. We present a complete anthracological sequence from Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Tarragona, NE Iberian Peninsula), a site assigned to the Late Upper Palaeolithic. Our results suggest a continuous forest cover transformation throughout the inter-GI-1. Forest opening was determined by the retreat of *Pinus sylvestris* type, which was dominant during the Late Pleistocene, in relation to the continuous expansion of *Juniperus* sp. Likewise, our results suggest a progressive increase in the diversity of cold- and drought-resistant mesophilic taxa, which would have begun with the more temperate climatic conditions occasioned by the positive isotopic oscillations of GI-1. A comparison with other paleoecological data from the Iberian Peninsula suggests the presence of different biogeographic regions, as evidenced by different frequencies of certain montane and meso-thermophilic taxa. Our research also made use of a new methodology based on the spatial distribution of the charcoal remains recovered from Late Magdalenian layer A of Molí del Salt. The results have provided data with which to evaluate the taphonomic alterations identified in the charcoal fragments, such as hyperfragmentation and the occurrence of postdepositional processes. This analysis has increased the temporal resolution of the archaeological fieldwork, allowing us to identify unique events of human activity in a context of cumulative palimpsests. Finally, the Kernel distributions according to the standard deviation of the tree taxa, projected both in plan (X-Y) and in section (X-Z_1), indicate human strategies in fuel selection that differentiated between *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp.

Keywords Charcoal analysis · Magdalenian · Forest transformation · Intra-site spatial analysis · Fuel management · North-eastern Iberian Peninsula · Late Upper Palaeolithic

Introduction

The study of humans and plants has been approached by means of a variety of theoretical frameworks and disciplines that describe the range of different interactions between the two (e.g. Berihuete-Azorín 2013; Ford 1979; Madella and Zurro 2007; Mallol and Henry 2017; Pearsall 1988; Popper and Hasorf 1988; Preiss et al. 2016). Among these approaches, charcoal analyses provide a dual perspective into many aspects of human and plant interactions. In general, charcoal analyses under a palaeoenvironmental or palaeoecological approach study climate changes, vegetation transformation and diversification of ecological communities (e.g. Alcolea 2017; Allué et al. 2018a; Carrión et al. 2008, 2010; González-Sampériz et al. 2010, 2017; Ruiz-Alonso et al. 2014; Vidal-Matutano and Pardo-Gordó 2020). Meanwhile, palaeoethnobotanical and palaeoeconomic approaches address specific sociocultural aspects related to plant food, technology (fuel, plant technology and building materials) and different human behaviours in woodland

✉ Bàrbara Mas
barbara.mas86@gmail.com

[1] Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, Spain

[2] IPHES-CERCA, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, Zona Educacional 4 Campus Sescelades URV (Edifici W3), Tarragona 43007, Spain

[3] Departament d'Història i Història de l'Art, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

Published online: 06 January 2021

management (Allué et al. 2017a; Butzer 1989; Descola 1988; Henry and Théry-Parisot 2014; Henry et al. 2009; Mallol and Henry 2017; Ntinou et al. 1999; Picornell-Gelabert et al. 2017; Rival 1998; Smart and Hoffman 1988; Uzquiano 2018). The study of subsistence strategies practised by hunter-gatherers generally focuses on lithic technology or hunting activities. Other subsistence strategies, such as the procurement of firewood and forest raw materials, have received less attention. However, over the last decades, several studies regarding firewood exploitation and its importance related to subsistence strategies have been developed in different areas (see Allué et al. 2017a; Henry et al. 2009; Picornell-Gelabert et al. 2017; Théry-Parisot 2001; Théry-Parisot et al. 2010; Uzquiano 1992, 2014; Vidal-Matutano 2018).

The north-eastern Iberian Peninsula contains a significant concentration of Magdalenian sites (Fig. 1). The general vegetation cover dynamics in the area during the Late Pleistocene climatic phases have been established based on a low diversity of taxa. Charcoal analyses have identified the predominant variety as conifers, especially *Pinus sylvestris* type, which have been detected in most of the Late Upper Palaeolithic anthracological sequences (Allué et al. 2000, 2007, 2010, 2012a, b, 2013, 2017a, 2018a; Allué and Mas 2020). This taxonomic category includes *Pinus sylvestris* (Scots pine), *Pinus nigra* spp. *salzmanni* (Austrian pine) and *Pinus uncinata* (mountain pine), which are all cryophyllous pine species. At both mountain and lowland plains, tree vegetation and meso-thermophilic forests did not begin to expand noticeably until the first positive pulse of GI-1c (13,900–13,150 cal. BP) (Allué et al. 2012b; Burjachs 2009).

Molí del Salt is an archaeological site with a well-dated stratigraphy and at which clear provenance of the bioarchaeological remains has been established (especially the mesofauna and charcoal assemblages) (Allué et al. 2010; Rufà et al. 2018). The aim of this paper is to present the anthracological results from layer A (13,800–12,680 cal. BP), which contribute to completing the dataset previously obtained by Allué et al. (2010). By integrating the complete anthracological sequence with other records, we can better discern changes in vegetation cover over the course of the Late Upper Palaeolithic on the NE Iberian Peninsula. In order to understand the assemblage beyond the traditional

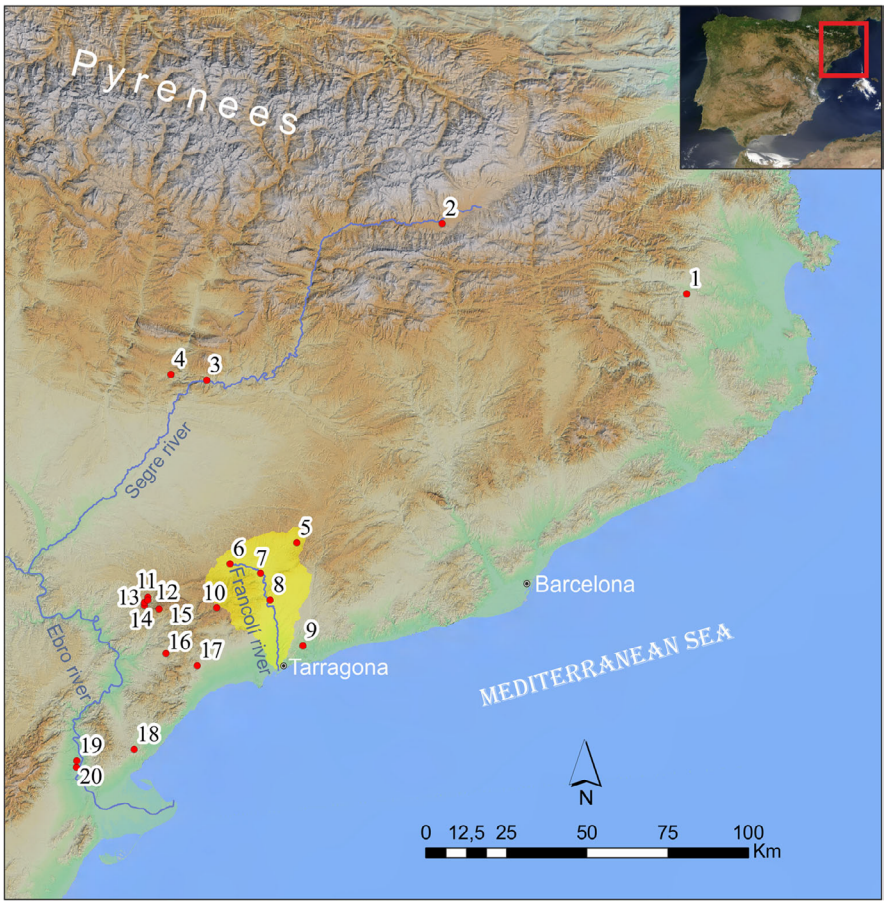


Fig. 1 Relief map of north-eastern Iberian Peninsula and the locations of Late Upper Palaeolithic archaeological sites: (1) Bora Gran d'en Carreres; (2) Montlleó; (3) Cova del Parco; (4) Cova Gran de Santa Linya; (5) La Font Voltada; (6) Molí del Salt; (7) Bauma de la Vall; (8) Picamoixons; (9) La Cativera; (10) Cova de les Borres; (11) Hort de la Boquera; (12) Balma de l'Auferí; (13) Abric dels Colls; (14) Cova del Boix; (15) Abric del Filador; (16) Abric de Sant Gregori; (17) Cova de l'Areny; (18) Cova de la Mallada; (19) Cova del Vidre; (20) Cova del Clot de l'Hospital

anthracological approach, we conducted an intra-site spatial distribution analysis using statistical methods. These new data constitute an approach to unravelling the selection and use of fuel strategies, space organization, plant diet and wood technology among human groups during this period.

Geographical area and landscapes

The Francolí basin is characterized by a range of physiographic and ecological features. It is located in the southern-central Conca de Barberà valley, on the eastern slopes of the Prades mountains and in the central part of Tarragona province, near the coast at the point where the Francolí river flows into the sea (Fig. 2 a). Today, the climate is predominantly Mediterranean, with hot and dry summers and relatively mild winters. Areas at higher elevations (881 m.a.s.l.) are colder and wetter, influenced by the continental climate. Most of the rain falls during the month of May, and from September to October, with an average total accumulation of 75 mm (Fig. 2 b). The landscape within 3 km around Molí del Salt is covered with farmland and dry land cultivation (61%) as well as sclerophyllous and continental pine forests (35%).

Most commonly, Mediterranean-type species coexist with typical high-mountain Euro-Siberian species (Domingo and Borau 1998). A small redoubt of *Pinus sylvestris* survives in the Prades mountains, on the Tossal de la Baltasana summit (1203 m.a.s.l.), together with undergrowth species such as *Taxus baccata* (English yew) and shrubs such as *Ilex aquifolium* (holly) and *Sorbus latifolia* (broad-leaved whitebeam). *Pinus halepensis* forests (Aleppo pine) and, to a lesser extent, *Pinus nigra* (Austrian pine), *Pinus pinaster* (maritime pine) and *Pinus pinea* (stone pine) forests occupy lower elevations. *Castanea sativa* (chestnut) is also relevant. In the sunniest areas, there are shrub species of a Mediterranean nature such as *Rosmarinus officinalis* (rosemary), *Pistacia lentiscus* (mastic tree), *Quercus coccifera* (kermes oak), *Lavandula latifolia* (lavender) and *Arbutus unedo* (strawberry tree). Atlantic species such as *Quercus pyrenaica* (Pyrenean oak) are also found. Riverside species, such as *Fraxinus* (ash), occur on the other bank of the Milans River, a tributary of the Francolí River.

Site description

Molí del Salt is a rock-shelter located at Vimbodí i Poblet, in the Francolí basin (Tarragona, NE Iberian Peninsula), 50 km west of Barcelona, at 490 m above sea level on the left bank of the Milans River, a small tributary of the Francolí River.

The first excavations were carried out in 1999 and consisted of a test pit of 3 m^2 that allowed the entire stratigraphic sequence to be documented. The positive results of the exploratory work led to the launch of a research project in 2001, which is still ongoing to date. The stratigraphic sequence is 2.5 m thick and contains Mesolithic (layer Sup) and Late Upper Palaeolithic (Late Magdalenian) units (A and B) (Fig. 3). In unit A, two main layers have been distinguished (Asup and A). Unit B also comprises two sub-units (layers B1 and B2). Twenty-two ^{14}C AMS are currently available for this sequence. Taking into account these dates, the most reliable chronology for these units would be as follows: 15,486–13,442 years cal. BP for unit B, 13,800–12,680 years cal. BP for layer A, 13,163–12,670 years cal. BP for layer Asup, and 9110–8710 years cal. BP for layer Sup.

Several human activities have been documented in Molí del Salt that reflect mobility strategies around the territory (Soto 2015; Soto et al. 2011; Vaquero 2004). In general, researchers have established a regional flint catchment area resulting from a strategy predicated on short trips (Soto et al. 2011). Specialized stone knapping activities, such as core reduction and tool manufacture, have been widely documented (García-Catalán 2007; García-Catalán et al. 2013; Vaquero et al. 2012). Pigment processing activities also seem to have been important (Gómez-Merino et al. 2007). Eighteen portable art objects with engravings have been recovered to date. Thirteen of them are schist slabs, but representations have also been identified on four limestone cobbles and one bone fragment. Most of these objects were found in unit A and depict animal figures and schematic motifs (García-Diez and Vaquero 2006, 2015). Documented strategies for gathering biotic resources correspond to hunting, processing and consuming animals, especially focused on the consumption of rabbits and the possible processing of skins (Rufà 2017). The limited macrofauna record (*Capra pyrenaica*, *Cervus elaphus*, *Sus scropha*, *Capreolus capreolus* and *Bos primigenius*) bears evidence of defleshing and the fracturing of bones for the extraction of marrow (Allué et al. 2010; Ibañez and Saladié, 2004). The consumption of animals is also associated with cooking, as many remains are burned (Rufà 2017). In addition, the published anthracological results from unit B and Asup layer reveal a large group of edible-fruit-producing woody species, like those from the genus *Prunus* (Allué et al. 2010).

Materials and methods

Anthracological analysis

Systematic archaeobotanical sampling was performed using bucket flotation with all the excavated sediments from layer A. A total of 6620 l of sediment was stored in bags, according to the depth intervals of the archaeological sequence (Z-Z_1). Between 2006 and 2011, the samples were recovered in 10-cm height intervals, which was reduced to 5 cm from 2012 until 2017. The study of the anthracological assemblage has

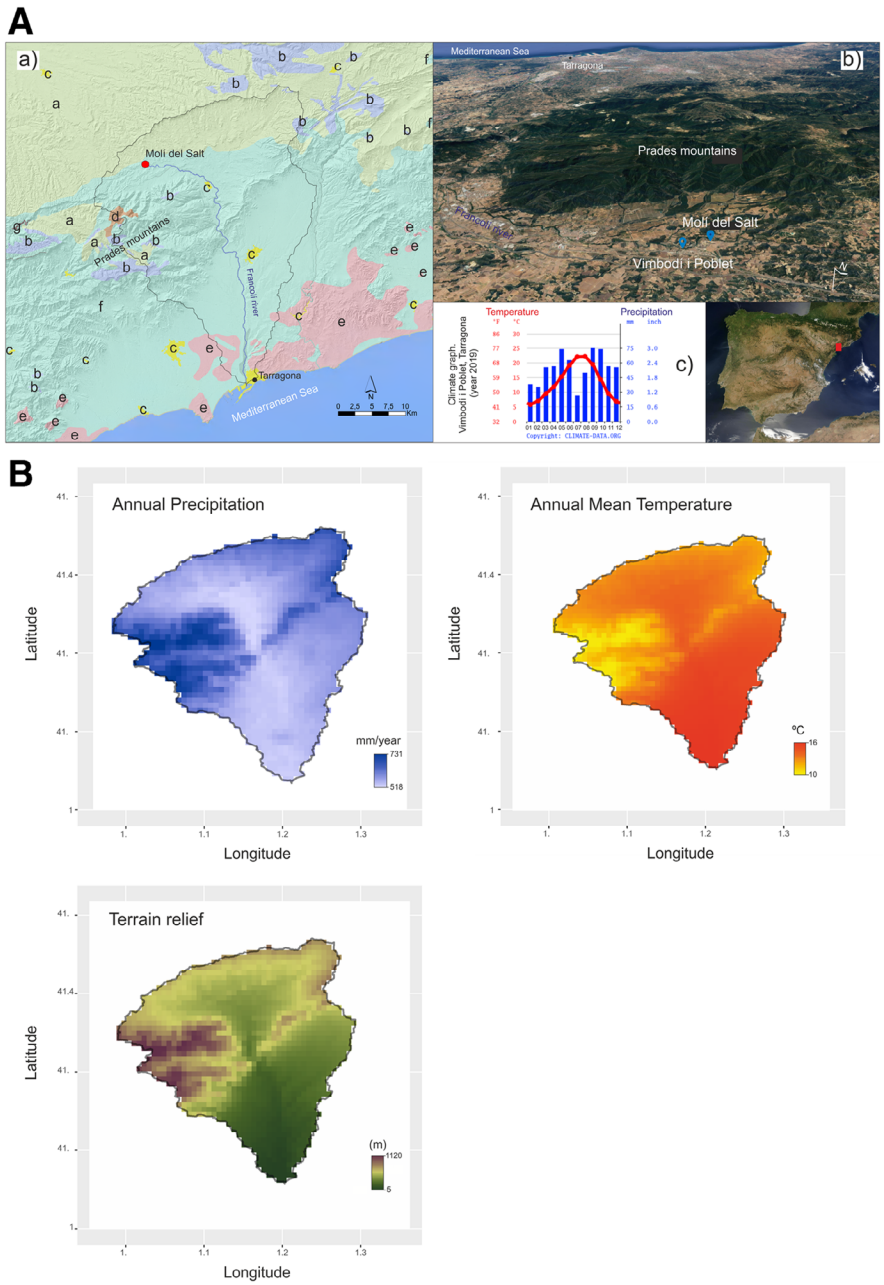


Fig. 2 (a) Territory and landscapes around Molí del Salt. In (a): vegetation cover in the Francolí basin (a: sclerophyllous forests and continental pine forests—*Quercus ilex* and *Pinus halepensis*; b: calcicolous oak, dried—*Quercus faginea*; c: artificial environments; d: acidophilus oaks—*Quercus pubescens*; e: Maquis of the maritime regions—*Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* and *Olea europea* var. *sylvestris*; f: sclerophyllous forests of the maritime regions—*Vibruno-Quercetum ilicis subass. quercetosum ballotae*; g: Scots pine, acidophilus pine—*Pinus sylvestris*). In (b): Francolí basin and site location on current 3D map. In (c): annual climate graph of Vimbodí i Poblet (year 2019). (b) Biogeographic parameters of Francolí basin that affects climate and vegetation. Bioclimatic variables (Annual precipitation and Annual Mean Temperature) have been downloaded in raster format from WorldClim 2.1 (Fick and Hijmans 2017) and geographic relief has been processed by QGIS in DEM downloaded from Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICC). Longitude (east) and latitude (north) parameters are referred to the Greenwich meridian

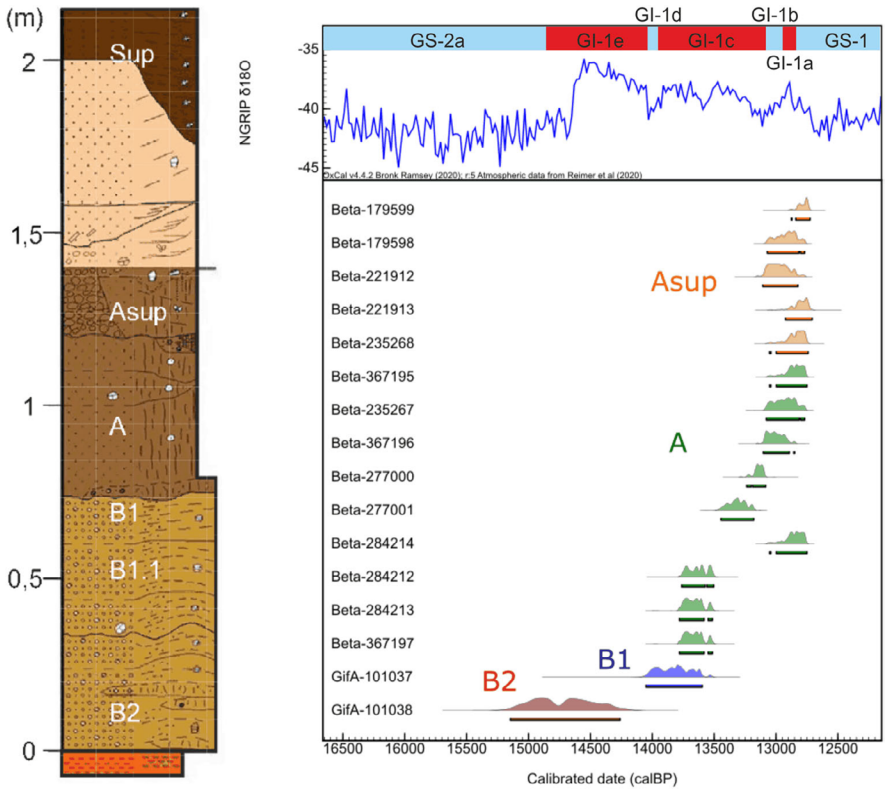


Fig. 3 Left: stratigraphic sequence of Molí del Salt (Rufà et al. 2018). Right: IntCal20 calibration graph (Reimer et al. 2020) of 14C-AMS radiocarbon dates (García-Diez and Vaquero 2015) with NGRIP climate curve (Rasmussen et al. 2014). Layer B2 in red, layer B1 in blue, layer A in green, layer ASup in orange

been based on well-established anthracological methods (Chabal et al. 1999).

The anthracological sample was not sorted by size, since almost all the fragments were less than 5 mm. Charcoal fragments were hand-fractured to obtain the three anatomical sections that would permit examination of the wood cell structure. Anthracological analyses were accomplished using an optical reflected light microscope (Olympus BX41) with magnifications of × 50, × 100, × 200 and × 500. For the purpose of uniform observation, each charcoal fragment was placed on a support with small seeds, which allowed it to be affixed and immobilized. The Schweingruber (1990) wood anatomy atlas was used to assist in taxonomic identification. The assemblage was systematically observed in order of depth stratigraphic recovery (Z-Z_1), from shallower to deeper.

Anthracological analysis requires identification at the most accurate taxonomic level possible. The unidentifiable fragments were assigned to broader categories based on their anatomical characteristics. Taxa regrouping is usually accepted by anthracological researchers, allowing us to express results in terms of types, cf., genera or species that are not distinguishable at the anatomical level (Chabal 1997). The specific taxa identified in the anthracological sample were regrouped, including *Pinus sylvestris* type (*Pinus sylvestris/nigra*), *Quercus ilex/coccifera* and *Rhamnus cathartica/saxatilis*, since the anatomical distinction between two or more species is almost impossible (Schweingruber 1990). Some genera, such as *Acer*, *Prunus* and *Juniperus*, only occasionally display differences in specific anatomical criteria. Some of the characters allow certain species to be regrouped into different types (Allué et al., 2018a, b; Alcolea 2017; Heinz and Barbaza 1998). Based on Heinz and Barbaza (1998), *Prunus* was classified as *Prunus* type 1 including *Prunus* species *avium/padus*, *Prunus* type 2 including *Prunus spinosa/mahaleb* and *Prunus* type 3 corresponding to *Prunus spinosa/amygdalus*. Finally, some families or subfamilies, including Lamiaceae, Rosaceae/Prunoideae and Fabaceae, correspond to a few species that do not always share the same ecological adscription.

Taphonomic alterations were recorded during the anthracological analysis. The taphonomic alterations of charcoal remains correspond to successive processes and natural agents that affect the wood and the anthracological remains, from plant growth to its recovery during archaeological excavation (Allué et al. 2009; Théry-Parisot et al. 2010; Vidal-Matutano et al. 2020). Some taphonomic processes occur before the biological death of the plant and can modify the anatomical structure of the plant during its life (Théry-Parisot et al. 2010; Vidal-Matutano et al. 2020). The human selection of these plants may respond to specific characteristics, such as

the quality of the wood for the manufacture of tools or calorific value (Allué et al. 2009; Carrión and Badal 2004; Dufraisse and García-Martínez 2011; Théry-Parisot 2001; Théry-Parisot and Henry 2012). Also, mechanical, natural and flotation processes can affect the fragmentation and dispersion of charcoal in archaeological contexts (Arranz-Otaegui 2017; Chrzavez et al., 2014; Lancelotti et al., 2010; Piqué 1999; Théry-Parisot et al. 2010; Vidal-Matutano et al. 2017). We established three categories to define the taphonomic alterations observed among the anthracological remains from layer A of Molí del Salt: *Biological processes*: the growth of the plant is affected by various biological agents that depend on the environmental and climatic conditions (Schweingruber et al. 2006; Théry-Parisot et al. 2010), including knots, size modification, compression, cell collapse and insect activity; *Combustion processes*: alterations are conditioned by the mechanisms that characterize wood carbonization, including radial cracks and vitrification (Schweingruber et al. 2006; Henry and Théry-Parisot 2014; Théry-Parisot and Henry 2012); *Fossildiagenetic processes*: post-depositional alterations caused by physicochemical and natural agents, due to mechanisms such freezing-thawing, trampling and sediment pressure, as well as other factors that affect the formation of the archaeological deposit. In our samples, this observation is based on the presence of charcoal fragments that were crushed, polished surface and poorly preserved, as well as sediment particles embedded in vessels and pores.

Intra-site spatial distribution analysis of anthracological remains

For the intra-site spatial distribution analysis, a vector file (.shp) was created from the database generated during the anthracological analysis. The record was analysed using free GIS software (Quantum Gis vs. 10.4.1. Girona, CA: Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc.). QGIS software makes it possible to perform an integration analysis for information associated with a specific location and area (the archaeological grid) and to establish relationships between different variables (Wheatley and Gillings 2002). A random coordinate was assigned to each 3D-located charcoal fragment (X-Y-Z_1) according to its archaeological square and depth range designation. Using the absolute frequencies of the charcoal fragments analysed in each archaeological square (1 m^2), we used the K-means algorithm to generate standardized horizontal and vertical density distributions of the areas with the highest concentrations of charcoals (Kintigh and Ammerman 1982). Standardized density map patterns of two variables, *number of taxa concentrated* and *charcoal absolute frequencies*, were generated using statistical measures based on proximity and area calculations, including the Kernel density estimation (Rosenblatt 1956) and the multivariate neighbour spatial correlation algorithm (Clarke and Evans 1955) with Moran's I (see Getis and Ord 1992). The geostatistical tool *Correlation with Moran's I* from QGIS provides a value (Z and *p* value) with which the significance of the index can be evaluated through a numerical approximation of the area under the curve of a known distribution. So, depending on the *p* value of Z, different distribution patterns can be identified, including the following: (a) dispersed distribution (*p* value is close to − 1); (b) random distribution (*p* value is close to 0); and (c) clustered distribution (*p* value is close to 1).

Results

Anthracological analysis

The anthracological assemblage from layer A yielded 505 charcoal fragments. The results show 12 different taxa of trees and shrubs and 426 charcoal fragments have been identified (Table 1).

The layer is dominated by conifers (59.21%), mainly *Pinus sylvestris* type (Scots pine) (34.06%) followed by *Juniperus* sp. (junipers) (18.22%). Angiosperms are present in low values (39.21%) and are dominated by *Prunus* sp. (22.38%)

Table 1 Anthracological analysis results of layer A expressed in absolute (n) and relative (%) frequencies

Taxa	*n*	%
Acer sp.	1	0.20
Betula sp.	1	0.20
cf. *Carpinus* sp.	1	0.20
Fabaceae	1	0.20
Juniperus sp.	92	18.22
Lamiaceae	1	0.20
Pinus sylvestris type	172	34.06
Prunus sp.	17	3.37
Prunus type 2	3	0.59
Prunus type 3	93	18.42
Quercus ilex/coccifera	4	0.79
Rhamnus cathartica/saxatilis	24	4.75
Total taxa	**12**	
cf. *Rhamnus*	3	0.59
cf. *Juniperus*	9	1.78
Pinus sp.	3	0.59
Rosaceae/Prunoideae	1	0.20
Total determined	**426**	
Undetermined	8	1.58
Undetermined angiosperm	48	9.50
Undetermined conifer	23	4.55
Total charcoal fragments	**505**	**100**

and *Rhamnus cathartica/saxatilis* (buckthorns) (4.75%). Sporadic taxa such as *Acer* sp. (maple), *Betula* sp. (birch), cf. *Carpinus* sp., Fabaceae (legume family), Lamiaceae and *Quercus* sp. evergreen (oak) are associated with fewer than five charcoal fragments.

The charcoal fragments analysed from layer A are highly fragmented (293 fragments are smaller than 0.5 cm and 19 exceed 1 cm in size). From a taphonomic perspective, alterations affect 61.19% of the anthracological assemblage (Table 2).

Some charcoals are affected by two or more processes. Biological processes are the most common (46.93%), especially compression or deformation of the conifer tracheids. Fossil-diagenetic processes were observed in 27.52% of the sample. Twenty-seven charcoal fragments (5.35%) displayed anatomical modifications due to the combustion process, in which cracks and vitrified cells were documented.

Intra-site spatial distribution

Density calculations were performed on the total number of charcoal fragments recovered from layer A (505). The correlation with Moran's I exhibited a clustered pattern distribution ($Z = 2.209857$, $p = 0.027115$) from horizontal relationships of the anthracological assemblage showing the repeated use of wood combustions in some spaces, inside and outside of rock shelter (Fig. 4).

Taxon density was calculated using the total number of identified woody species in the archaeological squares. The Moran's I correlation showed a random pattern distribution for total taxa ($Z = 0.668989$, $p = 0.503502$). However, the Kernel analysis with a Moran's I correlation revealed significant differences in distribution patterns, individualizing the most representative taxa, *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* type 3 (Fig. 5).

Pinus sylvestris type showed a random pattern ($Z = 0.217944$, $p = 0.827473$), *Juniperus* sp. had a clustered pattern ($Z = 1.009651$, $p = 0.312662$) and *Prunus* type 3 was found to have a dispersed distribution pattern ($Z = -1.028378$, $p = 0.30772$).

Table 2 Taphonomic alteration results of anthracological analysis

Taphonomic alterations		*n*	%
Biological processes	Compression	157	31.09
	Cells collapsed	33	6.53
	Knot	28	5.54
	Insects	19	3.76
Total biological processes		**237**	**46.93**
Combustion	Cracks	14	2,77
	Vitrification	13	2,57
Total combustion processes		**27**	**5.35**
Fossildiagenetic processes		**139**	**27.52**
Total alterated fragments		**309**	**61.19**
Total analysed fragments		**505**	**100**

The highest values of charcoal concentrations were found in archaeological row D. For this analysis, row D was very significant, since it is a transition zone between two different physical spaces of the rock shelter, the inside and outside spaces. We therefore performed a Kernel analysis for the three most representative taxa in row D according to recovery sample depth (Z_1) (Fig. 6).

The horizontal distribution patterns of the three taxa together that make up the anthracological assemblage exhibited a random distribution pattern ($Z = 2.209857$, $p = 0.027115$), suggesting that the distributions of woody species are independent of one another. However, the separate analysis of *Juniperus* sp. determined a clustered distribution pattern ($Z = 1.009651$, $p = 0.312662$). The clustered distribution indicates that *Juniperus* sp. charcoal fragments are distributed in groups, forming two important concentrations. One in the east, inside the rock shelter (in row C), and the other in the west, closer to the dripline (in row D). The vertical projection of row D revealed unique events or episodes in the selection of woody taxa as fuel (Fig. 7).

Interestingly, the foci in which standardized charcoal density indices are higher do not coincide in either Z (time) or X (space). *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. foci are distributed separately from each other. However, *Prunus* type 3 is distributed very close to both taxa. In this respect, Pearson's nonparametric correlation method determines an existing correlation between *Prunus* type 3 and *Juniperus* sp. distances, and is not correlated with *Pinus sylvestris* type (see Fig. 7 Supplementary material).

Discussion

Wood plant diversity, landscapes and environmental setting around Molí del Salt during the Late Upper Palaeolithic

The diversity documented in the anthracological records from the Palaeolithic depends on different factors, including the sampling method, the number of charcoal fragments analysed, the type and duration of settlement and the type of sample—either taken from hearths or dispersed in the sediment (Badal-García 1992; Chabal 1991, 1997; Chabal et al. 1999; Henry et al. 2020; Théry-Parisot et al. 2010; Vidal-Matutano 2016a). The Late Upper Palaeolithic anthracological sequences in the north-eastern Iberian Peninsula display low arboreal taxa diversity (Table 3).

However, the number of identified taxa is not always a dependent variable of the number of charcoals analysed, since the correlation between these two variables is very low ($p =$

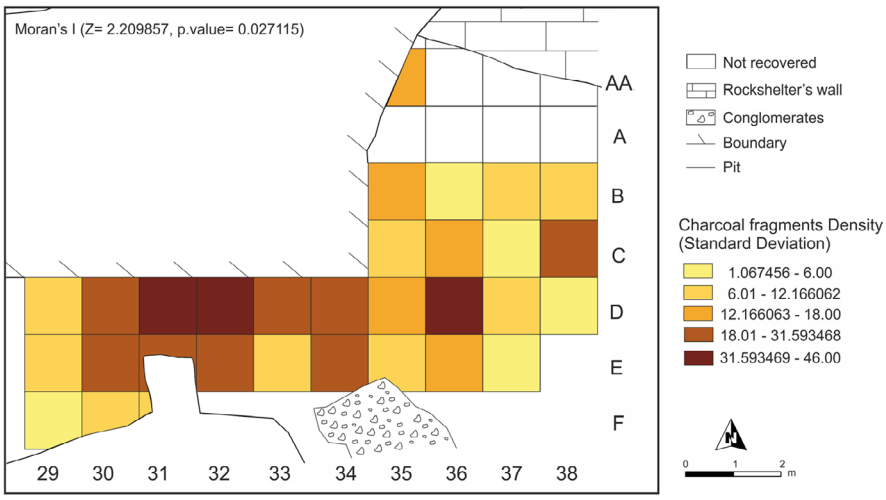


Fig. 4 Standardized density map of charcoal fragments distributed in layer A by archaeological squares in grid. Charcoal concentrations are grouped into two remarkable areas: inside space, bounded by grid AA-E/35-38 (square D36 with higher concentration) and outside space, bounded by grid D-F/29-34 (squares D31 and D32)

0.52) (Fig. 8). In this sense, we do not consider that increasing the number of charcoal fragments already reviewed will obtain more woody species. In this regard, we consider that human selection of woody species influences the low diversity of identified taxa that make up preterit plant communities.

The anthracological record from Molí del Salt has provided key insight into taxa diversity and its interpretation in relation to the surrounding landscape and environmental setting. The analysis of 505 fragments from layer A has yielded 12 woody plant taxa. The diversity and changes in relative value representativeness throughout the sequence contribute to our understanding of the landscapes and environmental variations at the end of the GS-2 glacial stage and the beginning of the GI-1 interglacial stage (11,690–11,500 cal. BP) (Fig. 9).

The anthracological diagram shows that unit B (layers B2 and B1) contains a dominance of a *Pinus sylvestris* type with scarce values of *Juniperus* sp. (Allué et al. 2010), while in layer Asup, the expansion of meso-thermophilic taxa and the colonizing taxon *Juniperus* sp. increases. This phase has been identified in other sequences as pre-forest formations transitioning towards a deciduous woody vegetation forest during postglacial stages in the meso-Mediterranean territories

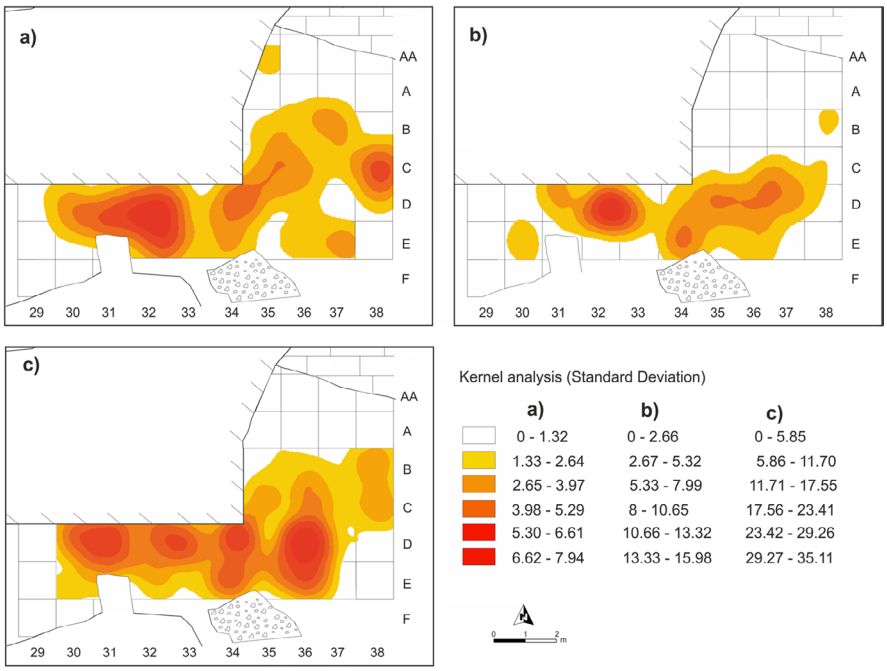


Fig. 5 Distribution patterns of the most representative taxa (*Juniperus* sp., *Pinus sylvestris* type and *Prunus* type 3) with *Moran's I* and Kernel analysis (X-Y)

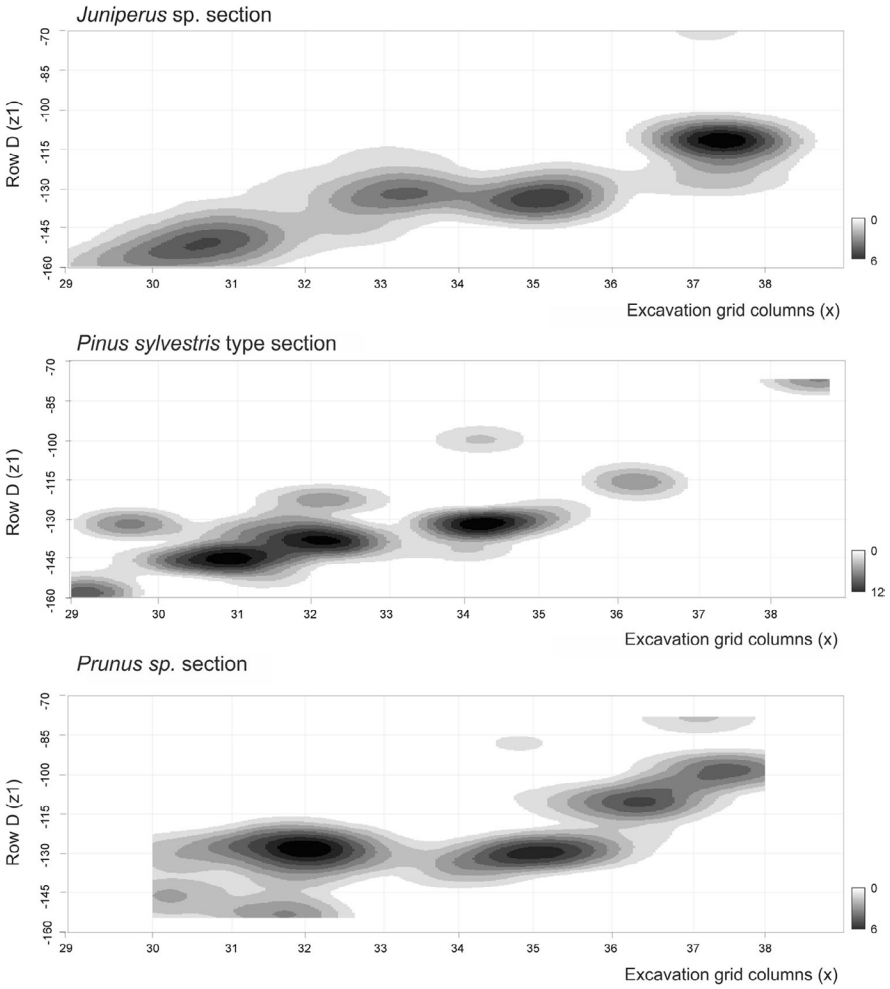


Fig. 6 Distribution in X-Z with Kernel analysis of the most representative taxa identified in row D (*Juniperus* sp., *Pinus sylvestris* type and *Prunus* sp.). Row D is where most charcoal concentrations were identified

(Allué et al. 2012a, b, 2018a; Carrión 2005; Carrión et al. 2010; Henry 2011; Henry et al. 2013). On the north-eastern Iberian Peninsula, forest transformation can be observed in the anthracological records. According to the anthracological

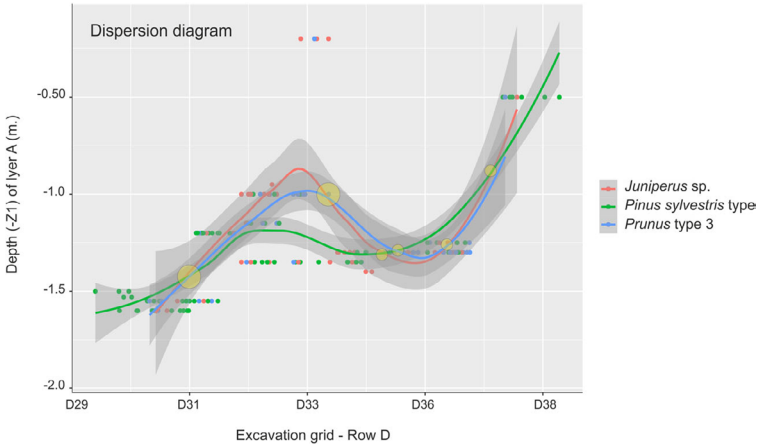


Fig. 7 Vertical dispersion diagram of the three more representative taxa at row D (grid excavation), with regression line and confidence intervals with non-parametric methods (loess) (sensu Wickham 2009, Cleveland 1979). Recognizing the main focus concentration and correlations of the most representative taxa (see in Supp. Material)

Table 3 Late Upper Palaeolithic sites on the north-eastern Iberian Peninsula with anthracological sequences. Methods of sample recovery, total number of charcoal fragments analysed and number of taxa identified

Site	Layer	cal BP	Recuperation method	Fragments analysed	Taxa	Reference
Abric Agut	4.7 a/b	11,161–10,819	Manually	50	6	Vaquero et al. 2006
Abric Agut	4.7 c	11,862–11,457	Manually	373	8	Vaquero et al. 2006
Balma del Gai	t. 141–150	12,317–11,807	Flotation/manually	283	8	Allué et al. 2007
Molí del Salt	Asup	12,990–12,710	Flotation/manually	284	8	Allué et al. 2010
Cova del Parco	Ia(2)	12,993–12,776	Flotation	245	4	Allué et al. 2013
Hort de la Boquera	II	13,890–13,621	Manually	16	2	Garcia-Argüelles et al., 2014
Balma del Gai	t. 151-base	13,247–12,891	Flotation/manually	307	8	Allué et al. 2007
Font Voltada	III	13,290–12,450	-	358	4	Mir and Freixas, 1993
Cova del Parco	Ib	13,472–13,206	Flotation	167	3	Allué et al. 2013
Cova del Parco	Ic	13,472–13,206	Flotation	54	4	Allué et al. 2013
Molí del Salt	A	13,500–13,180	Flotation	505	12	In this paper
Molí del Salt	B1	14,070–13,590	Flotation/manually	231	8	Allué et al. 2010
Balma Guilanyà	Ej	14,650–13,850	Flotation	302	2	Allué et al. 2012b
Balma Guilanyà	K	14,850–14,09	Flotation	284	2	Allué et al. 2012b
Molí del Salt	B2	15,300–14,540	Flotation/manually	379	8	Allué et al. 2010

evidence, during the last glacial phases from GS-2a to the Late-Glacial Interstadial (GI-1), montane pine forests dominated a large part of the territory (Allué et al. 2007, 2012a, b, 2018a; Bergadà 1998; Heinz and Barbaza 1998; Mir and Freixas 1993). Meanwhile, on the south-eastern Iberian Peninsula, milder climatic conditions allowed the spread of oaks and Mediterranean pines (*Pinus pinea* and *Pinus halepensis*) also accompanied by *Juniperus* sp. (Aura et al. 2006, 2011; Carrión et al. 2008, 2010).

Layer A reflects a relative decrease in *Pinus sylvestris* type and an increase in *Juniperus* sp. This change may indicate variations in the nearby forest cover. Climatic changes could have influenced the opening of coniferous forests, which dominated the landscape during the glacial stage GS-2a on the Iberian Peninsula (Allué et al. 2009; Allué et al. 2012b, 2018a; Badal et al. 2012; Uzquiano 2018; Uzquiano et al. 2008). *Pinus sylvestris* type is a montane conifer that withstands extreme cold and dry weather conditions, although it also develops in Euro-Siberian and Mediterranean climates. *Juniperus* sp. forms part of the understory associated with forested areas and the open extension of pine forests under cold and arid conditions (Badal et al. 2012; Vidal-Matutano et al. 2017). Wood compression observed in *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. tracheids, understood as a physiological response to seasonal environmental changes during the life of the tree, usually suggests environmental characteristics typical of temperate and boreal climates (Thomas and Cleal 1999).

Prunus type 3 (*Prunus spinosa/amygdalus*) are two deciduous and colonizing taxa from open forest areas, which usually develop on rocky slopes in near river valleys (Blanco et al. 1997). *Prunus* require a wetter climatic condition, although

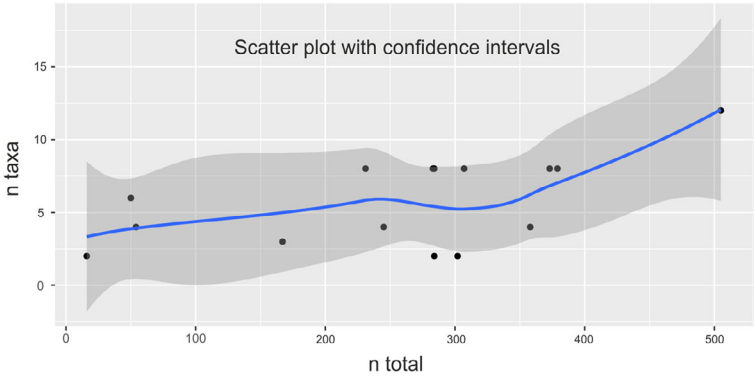


Fig. 8 Scatter plot with confidence intervals of the two variables (total charcoal fragments analysed and number of taxa identified), according to Table 3

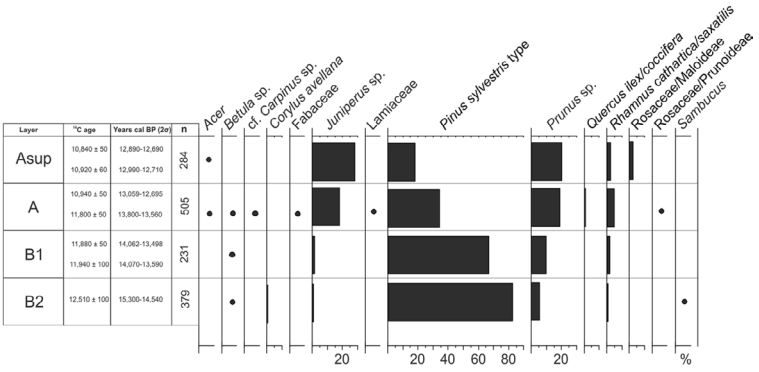


Fig. 9 Anthracological sequence diagram of Molí del Salt

they can also survive in semi-arid and cool environments in temperate regions (Henry et al. 2009, 2013). The increase in *Prunus* sp. as the anthracological sequence progresses at Molí del Salt is similar to other anthracological records in the Mediterranean Basin (Allué et al. 2012a, b, 2018a; Henry et al. 2011, 2013; Starkovich and Ntinou 2017). The high presence of *Prunus* might correspond to a natural decrease in pines, which would lead to a more open landscape, or it could be the result of a human selection preference. In addition, *Rhamnus cathartica/saxatilis*, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp. are three taxa frequently identified in the anthracological data collected from different areas of the north-eastern Iberian Peninsula in archaeological sites with chronologies like that of layer A of Molí del Salt (Allué 2002; Allué et al. 2007, 2012a, 2013). *Prunus* is not well represented in local palynological sequences, because its entomophile character limits its pollination range (Allué et al. 2018b). Nevertheless, *Prunus* sp. is also associated with late glacial conifer formations in an area near Molí del Salt, as observed in other anthracological records in the same region of north-eastern Iberian Peninsula (Allué et al. 2007, 2012a). The GI-1c positive oscillation has been characterized by means of palynology as a phase in which meso-thermophilic taxa were more plentiful than conifers (Burjachs 2009). However, the anthracological results from layer A indicate that montane pine forests were well established in a close radius around the site during this climatic phase. *Pinus sylvestris* type values decrease by 32.54% in the transition from layer B1 to layer A. Also, the expansion of *Prunus* sp. and *Rhamnus cathartica/saxatilis*, as well as the high frequency of compressions in the conifer tracheids, is coherent with the climatic characteristics that were established on the north-eastern Iberian Peninsula during the GI-1c event, when rainfall rates increased and, therefore, water availability was greater (Bergadà 1998; Burjachs 2009; González-Sampériz et al. 2005, 2017). These changes are probably related to the climatic variations at the end of the GS-2 glacial stage and the beginning of the GI-1 interglacial stage (11,690–11,500 cal. BP).

Finally, the presence of *Betula* sp. and cf. *Carpinus* sp. is worth discussing. These are mesophyll deciduous trees which grow in boreal or temperate climates. In a chronological range like layer A, *Carpinus* sp. grew in refuge areas on the northwestern Iberian Peninsula, in southern Italy and in the Balkans (Grivet and Petit 2003; Muñoz-Sobrino et al. 2017). This is also the case in the refuge area, with its temperate trees that could be from the Cantabrian mountain range, which is highly influenced by the north Atlantic climate. Anthracological studies of several sites in the Cantabrian region and Asturias (northern Iberian Peninsula) have recorded the presence of *Betula* sp. in low values (Muñoz-Sobrino et al. 2017; Uzquiano 2014). In the Cantabrian region, *Betula* was slightly more common in the Late Magdalenian (12.5 kyr BP) as a consequence of climatic improvement, although it did not become a characteristic taxon until between 11 and 10 kyr BP (Uzquiano 2014). In the Pyrenees, the palynological sequences suggest an increase in *Betula* around 15 kyr BP (Jalut et al. 1992). The pollen data show that *Carpinus* was a common taxon on the Iberian Peninsula during the Middle and Late Pleistocene (Magri et al. 2017), although it became very scarce later in the transition to the Holocene (González-Sampériz et al. 2010; Magyari 2002). If confirmed, the presence of *Carpinus* sp. at layer A from Molí del Salt might be attributed to aspects related to the mobility of human groups, since, for the time being, no evidence has been found in the local landscape. It might be suggested that these taxa were used as a raw material for manufactured objects, which could have been gathered in other regional areas.

In summary, the Molí del Salt charcoal assemblage reflects changes in the presence or absence of certain taxa related to climatic dynamics during the GS-2a to GI-1 transition (Lowe et al. 2008). These climatic dynamics could have influenced the opening of the conifer forests which dominated the landscape during the GS-2a glacial stage on the northern and north-eastern Iberian Peninsula (Allué 2009; Allué et al. 2012b, 2018a; Uzquiano 2018; Uzquiano et al. 2008). Finally, the presence of *Quercus* sp. evergreen (*Quercus*

ilex/coccifera) may be explained by the percolation of charcoal fragments by localized bioturbation on site.

The GIS contribution in firewood management and uses of woody taxa

The anthracological results from layer A show 12 woody plant taxa that recur throughout the entire archaeological sequence. Taxa abundance in anthracological records is most likely related to the abundance of vegetation around a settlement (Allué et al. 2010; Asouti 2003; Henry 2011; Scholtz 1986; Tusenius 1986). However, taxa diversity in site can be influenced by cultural factors in which groups avoid the selection of certain woody plants or favour others among those available in the landscape (Dufraisse and García-Martínez 2011; Dufraisse et al. 2018; Henry and Théry-Parisot 2014; Henry et al. 2009; Picornell et al. 2011; Théry-Parisot and Henry 2012).

Charcoals are the residues of repeated combustion in the same space. Two main factors can disperse the in situ position of the charcoal fragments: anthropic processes, such as the cleaning and removal of hearths, or processes caused by natural agents (Théry-Parisot et al. 2010). Our geostatistical analysis focused on determining the space organization around the hearths, which are very difficult to delimit during fieldwork. To make possible our GIS analysis, it was necessary to recover the largest possible dispersed archaeobotanical sample, carrying out the bucket flotation from all the sediment from layer A. The standardized density foci and spatial correlation analyses of the anthracological assemblage (505 charcoal fragments) offered horizontal projections that indicate the recurring use of the same locations for combustions in clustered pattern distributions. One area is located within the physical space of the rock shelter and the other closer to the dripline. Thus, two recurring hearth areas have been documented in Molí del Salt. Moreover, density calculations and Moran's test were used separately for the three most representative taxa in our spectrum: *Pinus sylvestris* type (172 fragments), *Juniperus* sp. (92 fragments) and *Prunus* type 3 (93 fragments) that we consider statistically significant for the spatial correlation analyses. Our results show how *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. were used in different combustions, but that *Prunus* type 3 could have been burned with *Juniperus* sp. and sporadically with *Pinus sylvestris* type.

The delimitation and characterization of combustion structures during archaeological fieldwork was difficult due to the low and slow sedimentation dynamics at the site. However, we have ruled out the possibility of the post-depositional accumulation of charcoal remains. Post-depositional processes, especially those related to hydrological activity, tend to result in specific distributions, such as the concentration of remains in certain locations, preferential orientations or a classification of archaeological remains by size (Behrensmeyer 1990; Domínguez-Rodrigo et al. 2014; Hanson 1980; Schick 1987). According to Behrensmeyer (1990) and Schick (1987), the orientation of archaeological remains can be affected by both low- and high-energy processes. There are no preferential orientations in recovered archaeological materials that can be associated with the dispersion of remains by high-energy processes, such as catastrophic natural events or waterspouts (Fig. 10).

Taphonomic alterations have been detected in 61.19% of the anthracological assemblage, and most of them are related to biological causes (46.93%). These affectations are caused by the natural and environmental conditions that the tree was exposed to as a living organism, such as cold stress or insect activity (Schweingruber et al. 2006; Théry-Parisot et al. 2010). 27.52% of the taphonomic alterations observed correspond to physical-chemical and natural processes, such as continuous trampling, compression of the sediment, solifluction and the activity of current roots. Likewise, the types of distribution patterns for woody plant taxa should reflect other factors corresponding to human behaviour. The post-depositional taphonomic alterations identified in the bone remains of small prey also suggest a low resolution (Rufà et al. 2018). In any case, it is possible that the remains were affected by low-energy water circulation, such as superficial water courses or the action of moderate rainfall.

According to Binford (1983: 165), the variability of archaeological remains and their distribution is related to the number of individuals in an occupation and the tasks they perform during their time at the site. In this sense, the context of cumulative palimpsests (Bailey 2007), or the recurrence in the use of same space for different activities, is reflected in Molí del Salt by means of the low resolution and homogeneity taphonomical alterations and also for the horizontal and vertical distribution of the archaeological remains. However, the

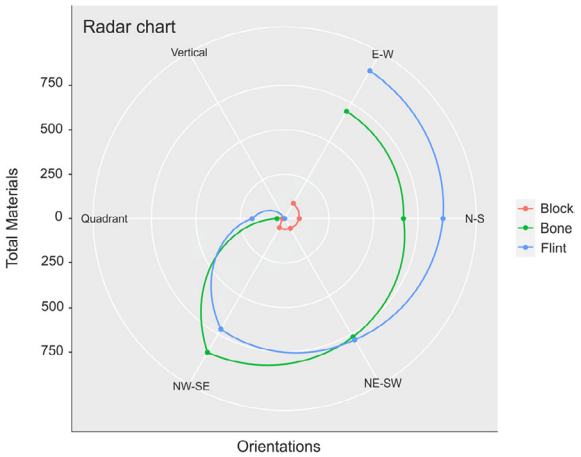


Fig. 10 Radar chart with orientations of archaeological remains recovered of layer A during fieldworks (rock blocks, faunal bones and flint) (see in Supp. Material)

vertical distribution of the most representative taxa (*Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* sp.) in the anthracological assemblage suggests the selective use of fuel for combustion related to the most abundant species in the surroundings. Woody plant formations were abundant at the mid latitudes and obtaining fuel was a relatively easy endeavour (Allué et al. 2010; Badal 2004). Furthermore, other characteristics related to the size and the state (decayed, dried, wet) of the wood may have influenced combustion properties and, therefore, selection strategies (Allué et al. 2017b; Badal 2004; Théry-Parisot et al. 2010; Vidal-Matutano 2016b). Thus, a large fallen trunk or fallen branches would have been a good choice for firewood, while smaller branches and herbaceous plants may have been used as kindling to start combustions (Allué et al. 2017a; Solé et al. 2013). However, some researchers refer to the use of small calibre branches as evidence of the opportunistic use of wood, since they are easy to collect (Henry 2011). Vertical projections obtained in row D indicate that *Pinus* type *sylvestris* concentrations are not mixed with *Juniperus* sp. concentrations. Nevertheless, *Prunus* type 3 seems to mix in both foci indistinctly. Its presence in the different foci may be because the genus *Prunus* constitutes a good fuel source and may therefore be related to a specific use. In this sense, Rosaceae belonging to the genus *Prunus* make good fuel and *Prunus spinosa* (blackthorn) is especially considered a very good fuel for maintaining embers (Zapata 2001). Also, the combustion of *Juniperus* wood produces sparks and could also have been used to smoke meat (Allué et al. 2010; Ruiz-Alonso et al. 2014). However, the zooarchaeological evidence at Molí del Salt does not confirm the presence of meat processing related to smoking (Rufà et al. 2018).

The high quantity of pine wood at the site would not have been solely a result of its abundance in plant formations (Allué et al. 2017a; Théry-Parisot and Thiébault 2005). The natural production of branches yields prodigious quantities of firewood, so it would be an immediate and functional resource for use by a nomadic human group. Likewise, the pine wood resin would favour combustion and lighting (Théry-Parisot et al. 2018). At this point, we might speculate whether the reiterated combustions may have corresponded to specialized activities for which a certain type of fuel was needed.

Cultural and environmental factors affecting wood gathering strategies can also be suggested due to the absence of riverine woody plant taxa in our identifications. For example, riparian taxa, like *Populus/Salix* and *Sambucus*, are documented in other paleoecological studies from sites close to Molí del Salt, like Balma del Gai (Allué et al. 2007), Abric del Filador (Garcia-Argüelles et al. 2005), La Font Voltada (Mir and Freixas 1993) and Abric Agut (Vaquero et al. 2006). In these sequences, riparian taxa are always represented in low values when other more abundant and better fuel, such as pine or juniper, is present. Riverine species would have been disregarded unless there was no other wood available. For this reason, we propose that riparian species would have been ignored or would not grow naturally near to Milans River. Moreover, the scarcity of *Betula* sp., and *Acer* sp. is remarkable. These woody species have good quality proprieties for combustion, although the data obtained suggest that the use of these species as fuel was not recurrent in Molí del Salt. When these taxa are found in the environment, they tend to be well represented in the paleoenvironmental records (Allué et al. 2007, Uzquiano 2014). *Betula* sp. and *Acer* sp. have, however, been identified at low frequencies in layer 7 of Abric del Filador, corresponding to the transition to the Holocene (Garcia-Argüelles et al. 2005).

Furthermore, the presence of fruits and seeds at the archaeological site may have resulted from gathered branches. A total of five carbonized seeds (*Prunus spinosa*, *Crataegus* and cf. *Rosa*) were recovered from layer Asup and one seed from layer A (Allué et al. 2010). We suggest an intentional behaviour in the selection, gathering and consumption of fruit may have taken place in the local environment of Molí del Salt.

Rhamnus cathartica/saxatilis are thorny shrubs, so the selective gathering of it as firewood would have been awkward and bulky. Like *Prunus* wood, buckthorn wood could also have been used as fuel, although its low frequency (4.75%) does not suggest its recurrent selection as firewood. However, its fruits and roots, like those of the blackthorn, can be used to obtain natural colourants, especially reddish and ochre tones. Natural colourants can be used for symbolic purposes or to dye skins, for example. Rufà (2017) documents the dominant and recurrent representation of Leporidae in the Molí del Salt faunal assemblage, in which he identifies humans as the main accumulating agents (Rufà 2017: 349). But, the purpose of processing of leporids should not be interpreted solely as a means for obtaining nutrients. The processing of rabbit skins to obtain secondary products seems to be evidenced in technotypological and traceological studies of the lithic record of some Late Upper Palaeolithic sites (see Calvo et al. 2008), as well as in layer A of Molí del Salt (Martínez Molina 2004; Luengo 2017) and in anthropological observations of semi-nomadic groups, such as the Cahuilla Indians of southern California (Bean 1974).

Finally, zooarchaeological studies of the macro and mesofaunal remains recovered at Molí del Salt have identified taxa related to human exploitation, such as the Iberian ibex (*Capra pyrenaica*), red deer (*Cervus elaphus*), wild boar (*Sus scrofa*), fox (*Vulpes vulpes*), lynx (*Lynx* sp.) and, in a higher percentage, the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) (Ibañez and Saladié 2004; Rufà 2017). This evidence, combined with the anthracological results obtained from the entire archaeological sequence (from Allué et al. 2010 and the results presented in this paper), suggests the human exploitation of different landscapes in the immediate environment,

combining montane pine forests, open landscapes and rocky areas.

Conclusions

On the north-eastern Iberian Peninsula, the dominance of *Pinus sylvestris* forest lasted until the GI-1c positive climatic oscillation (13,900–13,150 cal. BP). In the transition from interglacial stage GI-1 to the Holocene (12,650–11,500 cal. BP), the woody vegetation cover regressed to more open landscapes, and angiosperms expanded, adapted to more temperate climatic conditions. Likewise, rainfall and environmental humidity increased in this climatic phase, resulting in milder temperatures. The retreat of the montane coniferous forest and the expansion of the colonizing and mesophilic taxa began, and the plant diversity in the landscape's configuration increased.

The creation of a polygonal vector file to recreate the archaeological context of the scattered charcoals from layer A, has allowed us to visualize the vertical and horizontal relationships of the woody taxa. The calculation of the standardized density and the application statistical nonparametric methods have been valid to solve the spatial limitations that the nature of charcoals acquires. Statistical calculations in horizontal projection have made it possible to delimit recurring spaces to make hearths. Likewise, row D vertical projection shows unique events of fire use have been identified, with preferences in the fuel used. In summary, the results that we have obtained show an optimal application in the spatial distributions of the anthracological samples.

The selection of wood used as fuel and the recurrent use of the same spaces for hearths over time is very evident in layer A of Molí del Salt. *Pinus sylvestris* type, *Juniperus* sp. and *Prunus* type 3 were widespread throughout the north-eastern Iberian Peninsula and are very commonly documented in hearth combustions dating to the Late Pleistocene and early Holocene, especially *Pinus sylvestris* type. Therefore, fuel could very likely have been collected in areas nearby or very nearby the site. Likewise, the choice of wood as fuel seems to be specialized, since we have not detected possible hearths with a mixture of *Pinus sylvestris* type and *Juniperus* sp. in the X-Z1 vertical distributions. The different use of *Pinus sylvestris* type or *Juniperus* sp. points to specialized selection for firewood. The presence of *Prunus* wood, in its configuration of branches or small bushes, may be an indicator of hearth maintenance, since it is often found in association with both taxa. However, we cannot discern whether the *Prunus* wood was transported to the site for the purpose of harvesting its fruit or whether it was selected as a specific fuel. However, the scarcity of fruits and seeds could be related to either immediate consumption or the complete combustion of these elements.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at https://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2.

Acknowledgements We would like to thank the fieldwork team that has been working in the excavation. We would like to thank the two anonymous reviewers whose comments helped to improving our manuscript.

Funding The Molí del Salt excavations are also supported by the local government, Vimbodí i Poblet town council, and the *Consell Comarcal de la Conca de Barberà*. Bàrbara Mas is a beneficiary of a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) from the Generalitat de Catalunya integrated in the project *Evolución litoral y modelación antrópica del paisaje durante el Holoceno en un llano litoral mediterráneo: Barcelona*. Ministerio de Economia y Competitividad. HAR2016-77981-P (2016-2019). This research has been funded by Spanish Government MINECO/FEDER (MICINN-FEDER PGC2018-093925-B-C32), MICINN (PID2019-103987GB-C31), Generalitat de Catalunya (SGR2017-836, CLT009/18/00053, SGR2017-00011) and supported by the Spanish Ministry of Science and Innovation through the "María de Maeztu" excellence accreditation (CEX2019-000945-M).

References

Alcolea M (2017) Paisaje vegetal y gestión de recursos leñosos durante la transición Epipaleolítico-Neolítico en el Valle del Ebro. Aportaciones desde la Antracología. Universidad de Zaragoza

Allué E (2002) Dinámica de la vegetación y explotación del combustible leñoso durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno del Noreste de la Península Ibérica a partir del análisis antracológico. Doctoral Tesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

Allué E, Mas B (2020) The meaning of Pinus sylvestris-type charcoal taphonomic markers in Palaeolithic sites in NE Iberia. J Archaeol Sci Rep 30:102231. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102231

Allué E, Angelucci D, Cáceres I, Fiocchi C, Fontanals M, García M, Huguet R, Ollé A, Saladié P, Vergès JM, Zaragoza J (2000) El registro paleoecológico y arqueológico de la Cativera (El Catllar, Tarragona): datos preliminares sobre el límite Pleistoceno-Holoceno en el sur de Cataluña. Paper presented at the 3° Congreso de Arqueología Peninsular, ADECAP, Porto

Allué E, Nadal J, Estrada A, Garcia-Argüelles P (2007) Los datos antracológicos de la Balma del Gai (Bagues, Barcelona): Una aportación al conocimiento de la vegetación y la explotación de los recursos forestales durante el Tardiglaciar en el NE Peninsular. Trab Prehist 64(1):87–97

Allué E, Euba I, Solé A (2009) Charcoal taphonomy: the study of the cell structure and surface deformations of Pinus sylvestris type for the understanding of formation processes of archaeological charcoal assemblages. Journal of Taphonomy 7(2–3):57–73

Allué E, Ibáñez N, Saladié P, Vaquero M (2010) Small preys and plant explotation by late pleistocene hunter-gatherers. A case study from the northeast of the Iberian Peninsula. Archaeol Anthropol Sci 2:11–24

Allué E, Euba I, Rodríguez A (2012a) Cambios de paisaje y aprovechamiento de los recursos vegetales durante la transición Pleistoceno-Holoceno en el noreste de la Península Ibérica. Cuaternario y Geomorfología 26(3–4):47–60

Allué E, Martínez-Moreno J, Alonso N, Mora R (2012b) 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). CR Palevol 11:507–518. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.04.004

Allué E, Fullola JM, Mangado X, Petit MA, Bartolí R, Tejero JM (2013) La séquence anthracologique de la grotte du Parco (Alòs de Balaguer, Espagne): paysages et gestion du combustible chez les derniers chasseurs-cueilleurs. L'anthropologie 117:420–435

Allué E, Picornell-Gelabert L, Daura J, Sanz M (2017a) Reconstruction of the palaeoenvironment and anthropogenic activity from the Upper Pleistocene/Holocene anthracological records of the NE Iberian Peninsula (Barcelona, Spain). Quat Int 457:172–189. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.024

Allué E, Solé A, Burguet-Coca A (2017b) Fuel exploitation among Neanderthals based on the anthracological record from Abric Romaní (Capellades, NE Spain). Quat Int 431(Part A):6–15. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.046

Allué E, Martínez-Moreno J, Roy M, Benito-Calvo A, Mora R (2018a) Montane pine forests in NE Iberia during MIS 3 and MIS 2. A study based on new anthracological evidence from Cova Gran (Santa Linya, Iberian Pre-Pyrenees). Rev Palaeobot Palynol 258:62–72. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.06.012

Allué E, Expósito I, Tumung L, Ollé A, Bazgir B (2018b) Early evidence of Prunus and Prunus cf. amygdalus from Palaeolithic sites in the Khorramabad Valley, western Iran. CR Palevol https://doi.org/10.1016/j.crpv.2018.1001.1001

Arranz-Otaegui A (2017) Evaluating the impact of water flotation and the state of the wood in archaeological wood charcoal remains: Implications for the reconstruction of past vegetation and identification of firewood gathering strategies at Tell Qarassa North (south Syria). Quat Int 457:60–73

Asouti E (2003) Woodland vegetation and fuel exploitation at the prehistoric campsite of Pınarbasi, south-central Anatolia, Turkey: the evidence from the wood charcoal macro-remains. J Archaeol Sci 30(9):1185–1201

Aura JE et al (2006) Epipaleolítico-Mesolítico en las comarcas centrales valencianas. In: Alday A (ed) El Mesolítico de muescas y denticulados en la cuenca del Ebro y el litoral mediterráneo peninsular. Diputación Floral de Álava, Departamento de Cultura, Álava, pp 65–120

Aura JE, Jordá JF, Montes L, Utrilla P (2011) Human responses to Younger Dryas in the Ebro valley and Mediterranean watershed (eastern Spain). Quat Int 242(2):348–359. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.01.023

Badal E (2004) Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). In: Utrilla P, Rodanés JM (eds) Un asentamiento epipaleolítico en el valle del río Martín. El abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). Monografías Arqueológicas 39, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, pp 63-74

Badal E, Carrión Y, Figueiral I, Oliva M (2012) Pinares y enebrales. El paisaje solutrense en Iberia. Espacio, Tiempo y Forma, Serie I, Prehistoria y Arqueología 5:259–271

Badal-García E (1992) L'anthracologie préhistorique: à propos de certains problèmes méthodologiques. Paper presented at the Butlletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques 1992–2/3/4. Les charbons de bois les anciens écosystémes et le róle de l'homme. , Colloque organisé à Montpellier du 10 au 13 septembre 1991

Bailey G (2007) Time prespectives, palimpsests and the archaeology of time. J Anthropol Archaeol 26:198–223

Bean L (1974) Mukat's people. The Cahuilla Indians of Southern California. University of California Press, London

Behrensmeyer AK (1990) Transport/hydrodynamics of bones. In: Briggs DEG, Crowther PR (eds) Palaeobiology: a synthesis. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp 232–235

Bergadà MM (1998) Estudio geoarqueológico de los asentamientos prehistóricos del Pleistoceno Superior y holoceno inicial en Catalunya. BAR International Series 742, London

Berihuete-Azorín M (2013) First archaeobotanical approach to plant use among Selknam hunter-gatherers (Tierra del Fuego, Argentina). Archaeol Anthropol Sci 5(3):255–266

Binford LR (1983) En busca del pasado. Descifrando el registro arqueológico. Crítica, Barcelona

Blanco E et al (1997) Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Editorial Planeta, Madrid

Burjachs F (2009) Paleoambient del Tardiglacial al sud dels Pirineus vist a través de la Palinologia. Paper presented at the Els Pirineus i les àrees circumdants durant el Tardiglaciar. Mutacions i filiacions tecnoculturals, evolució paleoambiental (16000-10000 BP). XIV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà. Homenatge al professor George Laplace, Puigcerdà

Butzer KW (1989) Arqueología. *Una* ecología del hombre. Bellaterra edn., Barcelona

Calvo M, Fullola JM, Mangado X, Petit MA (2008) Los raspadores y el procesado de la piel en la cueva del Parco (Alòs de Balaguer, Lleida, España). Veleia 24-25:493–530

Carrión J (2005) La vegetación mediterránea y atlántica de la Península Ibérica. Nuevas secuencias antracológicas. Museu de Prehistòria de València, Serie Trabajos Varios 104, Valencia

Carrión J, Badal E (2004) La presencia de hongos e insectos xilófagos en el carbón arqueológico. Propuestas de interpretación. Paper presented at the Actas del V Congreso Ibérico de Arqueometría 2003, Cádiz,

Carrión J et al (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. Quat Sci Rev 27:2118–2135

Carrión J et al (2010) Expected trends and surprises in the Lateglacial and Holocene vegetation history of the Iberian Peninsula and Balearic Islands. Rev Palaeobot Palynol 162(3):458–475. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.12.007

Chabal L (1991) L'homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des áges des métaux à la période romaine: recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du bas Languedoc. Université des Sciences et Thecniques du Languedoc

Chabal L (1997) Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive): l'anthracologie, méthode et paléoécologie. Éditions de la Maison de Sciences de l'Homme, Paris

Chabal L, Fabre L, Terral JF, Théry-Parisot I (1999) La botanique. In: Errance (ed) Collection Archéologiques. Revue archéologique du Centre de la France, Paris, pp 43–104

Chrzavez J, Théry-Parisot I, Fiorucci G, Terral JF, Thibaut B (2014) Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. J Archaeol Sci 44:30–42. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.006

Clarke PJ, Evans FC (1955) On some aspects of spatial pattern in biological populations. Science 121:397–398

Cleveland WS (1979) Robust locally weighted regression and smothing scatterplots. J Am Stat Assoc 74(368):829–836

Descola P (1988) La selva culta. Simbolismo y praxis en la ecología de los Achuar. Abya-Yala, Quito

Domingo M, Borau A (1998) Muntanyes de Prades. Paisatge i fauna. Cossetania, Valls

Domínguez-Rodrigo M, Uribelarrea D, Santonja M, Bunn HT, García-Pérez A, Pérez-González A, Panera J, Rubio-Jara S, Mabulla A, Baquedano E, Yravedra J, Diez-Martín F (2014) Autochthonous anisotropy of archaeological materials by the action of water: experimental and archaeological reassessment of the orientation patterns at the Olduvai sites. J Archaeol Sci 41:44–68

Dufraisse A, García-Martínez MS (2011) Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie Outils dendrométriques et interprétation des données. Anthropobotanica 2:1–18

Dufraisse A, Coubray S, Girardclos O, Nocus N, Lemoine M, Dupouey JC, Marguerie D (2018) Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management

reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. Quat Int 463:232–249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065

Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. Int J Climatol 37(12):4302–4315

Ford RI (1979) Paleoethnobotany in American Archaeology. Advances in archaeological method and theory 2:285–336

Garcia-Argüelles P, Nadal J, Fullola JM (2005) El abrigo del Filador (Margalef de Montsant, Tarragona) y su contextualización cultural y cronológica en el nordeste peninsular. Trab Prehist 62(1):65–83

Garcia-Argüelles P, Nadal J, Fullola JM, Bergadà MM, Domingo I, Allué E, Lloveras L (2014) Nuevas interpretaciones del Paleolítico superior final de la Cataluña meridional: el yacmiento de l'Hort de la Boquera (Priorat, Tarragona) Trabajos de Prehistoria 71 (2):242–260

García-Catalán S (2007) La industria lítica del nivel Asup del Molí del Salt (Vimbodí, Tarragona) y su contextualización en el Paleolítico superior final de la vertiente mediterránea de la Península Ibérica. Trab Prehist 64(2):157–168

García-Catalán S, Gómez de Soler B, Soto M, Vaquero M (2013) Los sistemas de producción lítica en el Paleolítico superior final: el caso del nivel ASup del Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Tarragona). Zephyrus LXXII:39–58

García-Diez M, Vaquero M (2006) La variabilité graphique du Molí del Salt (Vimbodí, Catalogne, Espagne) et l'art mobilier de la fin du Paléolithique supérieur à l'est de la Péninsule Ibérique. L'Anthropologie 110(4):453–481

García-Diez M, Vaquero M (2015) Looking at the camp: Paleolithic depiction of a hunter-gatherer campsite. PLoS One 10(12): e0143002–e0101430 10.0141371/journal.pone.0143002. 10.1371/journal.pone.0143002

Getis A, Ord JK (1992) The analysis of spatial association by use of distance statistics. Geogr Anal 24(3):189–206

Gómez-Merino G, Sarró MI, García-Diez M, Vaquero M, Vallverdú J (2007) Caracterización de materia colorante y agentes de deterioro en las placas grabadas paleolíticas del Molí del Salt (Vimbodí i Poblet, Conca de Barberà, Tarragona). Paper presented at the Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría, Universitat i Futur, Girona,

González-Sampériz P, Valero-Garcés B, Carrión JS, Peña-Monné JL, García-Ruíz JM, Martí-Bono C (2005) Glacial and Lateglacial vegetation in northeastern Spain: new data and a review. Quat Int 140-141:4–20

González-Sampériz P, Leroy SAG, Carrión JS, Fernández S, García-Antón M, Gil-García MJ, Uzquiano P, Valero-Garcés B, Figueiral I (2010) Steppes, savannahs, forests and phytodiversity reservoirs during the Pleistocene in the Iberian Peninsula. Rev Palaeobot Palynol 162:427–457

González-Sampériz P, Aranbarri J, Pérez-Sanz A, Gil-Romera G, Moreno A, Leunda M, Sevilla-Callejo M, Corella JP, Morellón M, Oliva B, Valero-Garcés B (2017) Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: a view from the lake records. CATENA 149:668–688. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.041

Grivet D, Petit R (2003) Chloroplast DNA phylogeography of the hornbeam in Europe: evidence for a bottleneck at the outset of postglacial colonization. Conserv Genet 4:47–56

Hanson CB (1980) Fluvial taphonomic processes: models and experiments. In: Behrensmeyer AK, Hill A (eds) Fossils in the making. University of Chicago Press, Chicago, pp 156–181

Heinz C, Barbaza M (1998) Environmental changes during the late glacial and post-glacial in the Central Pyrenees (France): new charcoal analysis and archaeological data. Rev Palaeobot Palynol 104(1):1–17

Henry A (2011) Paléoenvironnements et gestion des combustibles au Mésolithique dans le sud de la France: anthracologie, ethnoarchéologie et expérimentation. Doctoral, Université Nice Sophin Antipolis

Henry A, Théry-Parisot I (2014) From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotten wood as fuel. J Archaeol Sci 52:321–336. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.09.005

Henry A, Théry-Parisot I, Voronkova E (2009) La gestion du bois de feu en forêt boréale: problématique archéo-anthracologique et étude d'un cas ethnographique (Région de l'Amour, Sibérie). In: Théry-Parisot I, Costamagno S, Henry A (eds). Gestion des combustibles au paléolithique et au mésolithique Nouveaux outils, nouvelles interprétations. Fuel Management during the Palaeolithic and Mesolithic Periods New tools, new interpretations. BAR 1914, pp 17–37

Henry A, Bouby L, Valdeyron N (2011) Environment and plant economy during the Mesolithic in the Haut-Quercy (Lot, France): anthracological and carpological data. Saguntum Extra 11:79–80

Henry A, Valdeyron N, Boudy L, Théry-Parisot I (2013) History and evolution of Mesolithic landscapes in the Haut-Quercy (Lot, France): new charcoal data from archaeological context. The Holocene 23(1):127–136

Henry A, Coli VL, Valdeyron N, Théry-Parisot I (2020) Old taphonomy issues, new charcoal data for Mesolithic contexts: impact of fragment size and sampling context on the assemblages of Escabasses cave (SW France). J Archaeol Sci Rep 30:102232. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102232

Ibañez N, Saladié P (2004) El Molí del Salt (Vimbodí, La Conca de Barberà): Nuevos datos sobre el estudio de la fauna. Paper presented at the Actas del 1° Congreso Peninsular de Estudiantes de Prehistoria, Tarragona

Jalut G, Marti JM, Fontugne M, Delibrias G, Vilaplana JM, Julia R (1992) Glacial to interglacial vegetation changes in the northern and southern Pyrénées: Deglaciation, vegetation cover and chronology. Quat Sci Rev 11(4):449–480. https://doi.org/10.1016/0277-3791(92)90027-6

Kintigh KW, Ammerman AJ (1982) Heuristic approaches to spatial analysis in archaeology. Am Antiq 47(1):31–63

Lancelotti C, Madella M, Ajithprasad P, Petrie CA (2010) Temperature, compression and fragmentation: an experimental analysis to access the impact of taphonomic processes on charcoal preservation. Archaeol Anthropol Sci 2(4):307–320

Lowe JJ, Rasmussen SO, Björck S, Hoek WZ, 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. Quat Sci Rev 27:6–17

Luengo S (2017) Análisis funcional de raspadores en sílex del Molí del Salt. Aproximación experimental. Universitat Rovira i Virgili

Madella M, Zurro D (2007) Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis. Oxbow Books, Oxford

Magri D, Di Rita F, Aranbarri J, Fletcher W, González-Sampériz P (2017) Quaternary disappearance of tree taxa from southern Europe: timing and trends. Quat Sci Rev 163:23–55

Magyari E (2002) Holocene biogeography of Fagus sylvatica L. and Carpinus betulus L. in the Carpathian-Alpine region Folia. Historico-Naturalia Musei Matraensis 26:15–35

Mallol C, Henry A (2017) Ethnoarchaeology of Paleolithic fire: methodological considerations. Curr Anthropol 58:S217–S229

Martínez Molina K (2004) Anàlisi funcional dels artefactes lítics. In: Vaquero M (ed) Els darrers caçadors-recol·lectors de la Conca de Barberà: El jaciment del Molí del Salt (Vimbodí). Excavacions 1999-2003. Museu-Arxiu de Montblanc i Comarca, Montblanc, pp 135–150

Mir A, Freixas A (1993) La Font Voltada, un yacimiento de finales del Paleolítico superior en Montbrió de la Marca (la Conca de Barberà, Tarragona). Cypsela X:13-21

Muñoz-Sobrino C, García-Moreiras I, Gómez-Orellana L, Iriarte-Chiapusso MJ, Heiri O, Lotter AF, Ramil-Rego P (2017) The last hornbeam forests in SW Europe: new evidence on the demise of Carpinus betulus in NW Iberia. Veg Hist Archaeobotany. https://doi.org/10.1007/s00334-00017-00654-00337

Ntinou M, Heinz C, Badal E (1999) Resultados preliminares del proyecto etnoarqueológico de Sarakini (Tracia, Grecia): comparación con la antracología prehistórica. In: VV.AA. (ed) Geoarqueologia i Quaternari Litoral: Memorial Maria Pilar Fumanal. Universitat de València, pp 179–192

Pearsall D (1988) Interpreting the meaning of macroremain abundance: the impact of source and context. In: Hastorf CA, Popper V (eds) Current Paleoethnobotany. Analytical methods and cultural interpretations of archaeological plaint remains. Prehistoric, Archaeology and Ecology. The University of Chicago Press, pp 97-118

Picornell L, Asouti E, Allué E (2011) The ethnoarchaeology of firewood management in the Fang villages of Equatorial Guinea, Central Africa: implications for the interpretation of wood fuel remains from archaeological sites. J Anthropol Archaeol 30:375–384. https://doi.org/10.1016/j.jaa.2011.05.002

Picornell-Gelabert L, Allué E, Courty MA (2017) An archaeology of fuels: social and environmental factors in behavioural strategies of multi-resource management. Quat Int 431:2–5. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.025

Piqué R (1999) Quantification in archaeobotany: charcoal analysis and firewood management. Paper presented at the computer applications and quantitative methods in archaeology. Proceedings of the 26th Conference, Barcelona,

Popper V, Hasorf CA (1988) Introduction. Paper presented at the current palaeoethnobotany. University of Chicago Press, Chicago, London

Preiss S, Wiethold J, Zech-Matterne V (2016) Archaeobotany of wild plant use: approaches to the explotation of wild plant resources in the past and its social implications. Quat Int 30(1):1–3

Rasmussen SO, Bigler M, Blockley SP, Blunier T, Buchardt SL, Clausen HB, Cvijanovic I, Dahl-Jensen D, Johnsen SJ, Fischer H, Gkinis V, Guillevic M, Hoek WZ, Lowe JJ, Pedro JB, Popp T, Seierstad IK, Steffensen JP, Svensson AM, Vallelonga P, Vinther BM, Walker MJC, Wheatley JJ, Winstrup M (2014) A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy. Quat Sci Rev 106:14–28. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007

Reimer PJ et al (2020) The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon 62(4):725–757. https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41

Rival L (1998) The social life of trees. Anthropological perspectives on tree symbolism (materializing culture). Berg publishers, London

Rosenblatt M (1956) Remarks on some nonparametric estimates of a density function. Ann Math Stat 27:832–837

Rufà A (2017) El papel de las pequeñas presas en la dieta humana del Paleolítico medio y superior. Una visión diacrónica desde el valle del Ródano al arco mediterráneo. Doctoral Tesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona

Rufà A, Blasco R, Rosell J, Vaquero M (2018) What is going on at the Molí del Salt site? A zooarchaeological approach to the last hunter-gatherers from South Catalonia. Hist Biol 30(6):786–806. https://doi.org/10.1080/08912963.2017.1315685

Ruiz-Alonso M, Uzquiano P, Zapata L (2014) Macrorestos vegetales de Santa Catalina (Lekeitio, Bizkaia): carbones y bellotas del Tardiglaciar. KOBIE Bizkaiko Arkeologi Indusketak 4:76–92

Schick (1987) Experimentally derived criteria for assessing hydrologic disturbance of archaeological sites. In: Nash DT, Petraglia MD (eds) Natural formation processes and the archaeological record. BAR International Series 352, British Archaeological Reports, Oxford, pp 89–107

Scholtz A (1986) Palynological and palaeobotanical studies in the southern cape. University of Stellenbosch

Schweingruber FH (1990) Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois. Microscopic wood anatomy. 3rd edn. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf

Schweingruber FH, Börner A, Schulze ED (2006) Atlas of woody plant stems: evolution, structure, and environmental modifications. Springer, Berlin

Smart TL, Hoffman ES (1988) Environmental interpretation of archaeological charcoal. Paper presented at the Current Paleoethnobotany. Analytical methods and cultural interpretations of archaeological plants remains, The Universiti of Chicago Press, Chicago

Solé A, Allué E, Carbonell E (2013) Hearth-related wood remains from Abric Romaní Layer M (Capellades, Spain). J Anthropol Res 69: 535–559

Soto M (2015) Áreas y estrategias de aprovisionamiento lítico de los últimos cazadores-recolectores en las montañas de Prades (Tarragona). Universitat Rovira i Virgili

Soto M, Gómez de Soler B, Vallverdú J, Vaquero M (2011) El territori d'aprovisionament del sílex dels caçadors i recol·lectors del Molí del salt (Vimbodí i Poblet - Conca de Barberà). Paper presented at the Aplec de Treballs, Montblanc

Starkovich B, Ntinou M (2017) Climate change, human population growth, or both? Upper Paleolithic subsistence shifts in southern Greece. Quat Int 428:17–32

Théry-Parisot I (2001) Économie des combustibles au Paléolithique. Experimentation, anthracologie, taphonomie vol 20. Dossiers de documentation archéologique. D.D.A. CNRS-Editions

Théry-Parisot I, Henry A (2012) Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. J Archaeol Sci 39:381–388. https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.09.024

Théry-Parisot I, Thiébault S (2005) Le pin (Pinus sylvestris): préférence d'un taxon ou contrainte de l'environnement? Étude des charbons de bois de la Grotte Chauvet. Bulletin de la société botanique de France Actualités Botaniques 102:69–75

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. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 291:142–153. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.09.016

Théry-Parisot I et al (2018) Illuminating the cave, drawing in black: wood charcoal analysis at Chauvet-Pont d'Arc. Antiquity 92:320–333. https://doi.org/10.15184/aqy.2017.222

Thomas BA, Cleal CJ (1999) Abscission in the fossil record. Paper presented at the the evolution of plant architecture. Royal Botanic Gardens, Kew

Tusenius ML (1986) The study of charcoal from some southern African archaeological context. University of Stellenbosch

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 explotation by Cantabrian Late Upper Palaeolithic groups (N Spain) regarding MIS 2 vegetation dynamics. Quat Int 337:154–162. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.02.022

Uzquiano P (2018) Vegetation, firewood exploitation and human settlement in northern Spain in relation to Holocene climate and cultural dynamics. Quat Int 463:414–424. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.034

Uzquiano P, Arbizu M, Arsuaga JL, Andan G, Aranburu A, Iriarte E (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(3–4):121–133

Vaquero M (2004) El Paleolític i el Mesolític al Sud de Catalunya. In: Vaquero M (ed) Els darrers caçadors-recol·lectors de la Conca de Barberà: El jaciment del Molí del Salt (Vimbodí). Excavacions 1999-2003. Museu-Arxiu de Montblanc i Comarca, Montblanc, pp 15–29

Vaquero M, Allué E, Alonso S, Bischoff JL, Burjachs F, Vallverdú J (2006) El Abric Agut (Capellades, Barcelona) y el Mesolítico de muescas y denticulados en el noreste de la Península. Paper presented at the Do Epipaleolítico ao Calcolítico na Península Ibérica. Actas do IV congresso de arqueologia peninsular, Faro, Universidade do Algrave,

Vaquero M, Alonso M, García-Catalán S, García-Hernández A, Gómez de Soler B, Rettig D, Soto M (2012) Temporal nature and recycling of Upper Paleolithic artifacts: the burned tools from the Molí del Salt site (Vimbodí i Poblet, northeastern Spain). J Archaeol Sci 39:2785–2796

Vidal-Matutano P (2016a) Alrededor del fuego: paisaje, clima y gestión de los recursos leñosos en grupos cazadores-recolectores durante el Paleolítico medio. Universitat de València

Vidal-Matutano P (2016b) Firewood and hearths: Middle Palaeolithic woody taxa distribution from El Salt, stratigraphic unit Xb (eastern Iberia). Quat Int:1–11. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.07.040

Vidal-Matutano P (2018) Anthracological data from Middle Palaeolithic contexts in Iberia: what do we know? Munibe Antropologia-Arkeologia 69:2132–2217. https://doi.org/10.21630/maa.2018.69.12

Vidal-Matutano P, Pardo-Gordó S (2020) Predictive Middle Palaeolithic climatic conditions from eastern Iberia: a methodological approach based on charcoal analysis and modelling. Archaeol Anthropol Sci 12(1):12–36

Vidal-Matutano P, Henry A, Théry-Parisot I (2017) Dead wood gathering among Neanderthal groups: charcoal evidence from Abric del Pastor and El Salt (eastern Iberia). J Archaeol Sci 80:109–121. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.03.001

Vidal-Matutano P, Henry A, Carrión-Marco Y, Allué E (2020) Disentangling human from natural factors: Taphonomical value of microanatomical features on archaeological wood and charcoal assemblages. J Archaeol Sci Rep 31:102328. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102328

Wheatley D, Gillings M (2002) Spatial technology and archaeology. The archaeological applications of GIS. Taylor and Francis edn., New York

Wickham H (2009) Ggplot2: elegant graphics for data analysis. Springer, New York

Zapata L (2001) El uso de los recursos vegetales en Aizpea (Navarra, Pirineo Occidental): la alimentación, el combustible y el bosque. Veleia 10:325–359

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Supplementary Material

Figure 7.

Nonparametric analysis of covariance (with RStudio)

Data frame

Depth (cm)	*Juniperus* sp.	*Pinus sylvestris* type	*Prunus* type 3
-160	2	11	2
-155	2	9	7
-153	0	2	0
-150	0	3	0
-140	2	0	0
-135	7	11	3
-130	12	8	14
-125	4	4	4
-120	6	11	2
-115	1	5	2
-100	7	3	9
-95	1	0	0
-50	1	6	1
-20	3	0	1

>cor(data.frame, method="pearson")

	Juniperus sp.	*Pinus sylvestris* type	*Prunus* type 3
Juniperus sp.	1.000000	0.411648	0.814229
Pinus sylvestris type	0.411648	1.000000	0.341892
Prunus type 3	0.814229	0.341892	1.000000

LOESS (Cleveland 1979)

Adjustment is done locally. That is, for the fit at a point x, the fit is done using the points in a neighbourhood of x, weighted by their distances from x (with differences in 'parametric' the variables are ignored when calculating the distance). The size of the neighbourhood is controlled by α (set by 'span' or by 'enp.target'). For α <1, the neighbourhood includes the proportion α of the points, and these have a tricubic weight (proportional to $(1-(\text{dist}/\text{maxdist})^3)^3$. For α> 1, all points are used, with the distance maximum assumed as α 1 / p times the current maximum distance for p explanatory variables.

>ggplot(data=data.frame, aes(v1,v2,colo=Taxon))

+geom_point()

+geom_smooth(method='loess')

Figure 10.

Radar chart. Archaeological materials recovered at layer A.

Data frame

Material	Total	Orientation
Block	99	E-W
Bone	696	E-W
Flint	958	E-W
Block	65	NE-SW
Bone	768	NE-SW
Flint	787	NE-SW
Block	83	N-S
Bone	668	N-S
Flint	890	N-S
Block	61	NW-SE
Bone	869	NW-SE
Flint	718	NW-SE
Block	14	Q
Bone	44	Q
Flint	184	Q
Flint	1	V

Anexo II

Review of Palaeobotany and Palynology 300 (2022) 104624

Contents lists available at ScienceDirect

Review of Palaeobotany and Palynology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/revpalbo

Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the Middle-Late Holocene in the Iberian Central Pre-Pyrenees: An anthracological approach

Bàrbara Mas [a,*], F. Xavier Oms [a], Ethel Allué [b,c]

[a] Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, Spain
[b] Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain
[c] Universitat Rovira i Virgili (URV), Departament d'Història i Història de l'Art, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Received 10 November 2021
Received in revised form 5 February 2022
Accepted 7 February 2022
Available online 10 February 2022

Keywords:
Landscape transformations
Anthracology
Cova Colomera
Middle-Late Holocene
Northeastern Iberian Peninsula

ABSTRACT

Cova Colomera is one of the most important archaeological sites to explain early herding activities in the Central Pre-Pyrenees (Iberian Peninsula). Fieldworks have provided a stratigraphy that shows short occupations of the cave by Neolithic and Bronze Age human groups. The sedimentological description has revealed fumiers deposits, that are characteristic of husbandry activities. In this paper, we provide the anthracological results based on 1117 charcoal fragments. The results allow to characterise the Mediterranean vegetation landscape and its transformation, from a local perspective, related to climatic changes and anthropogenic activities.
Climate changes and human activities have played a significant role in Mediterranean landscapes dynamics. However, the incidence or impact of both agents on the vegetation landscape occurred unequally among the Mediterranean region. The anthracological results from Cova Colomera suggest that the Central Pre-Pyrenees was dominated by an oak forest ecosystem, with sub- and supra-Mediterranean deciduous taxon and coniferous forest during the Middle Holocene. This ecosystem remained more or less stable during the Late Holocene, although evergreen oak showed a slight increase, and coniferous forest showed a slight decrease. The orographic characteristics of the Central Pre-Pyrenees were able to maintain temperate and humid conditions, with less impact of aridity events recorded in Mediterranean environments. From a diachronic point of view, the herding activities of Neolithic human and Bronze Age human groups do not appear to have affected highly the landscape development of the Central Pre-Pyrenees. Human activities were probably not intensive in terms of forest clearing or land use.

© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The impact of general Holocene climate dynamics varied among past Mediterranean landscapes. Above all in the first stages of the Holocene (11.7 ka BP to 4.2 ka BP), the influence of climatic agents on landscape transformation was more evident than the impact of human activities. However, it is more controversial, or less obvious, which of the two agents, natural factors or the human activities, has been the main contributor to landscape transformation since the Middle-Late Holocene Boundary (4.2 ka BP), or indeed whether it has been a combination of both (see Jalut et al., 2000; Roberts et al., 2011). Holocene Mediterranean woodland history and landscape changes are here studied using a palaeoecological proxy, mainly pollen and charcoal data (e.g., Jalut et al., 2009; Woodbridge et al., 2018; Roberts et al., 2019; Picornell-Gelabert et al., 2020). According to the available palaeobotanical sequences in the NE Iberian Peninsula, at the end of the Late Pleistocene and the beginning of the Early Holocene, deciduous oak forest, broadleaf trees and pine forests were dominant in the area (Riera-Mora and Esteban-Amat, 1994; Burjachs et al., 1997; Riera et al., 2007; Allué et al., 2007, 2017; Carrión et al., 2010a; Pérez-Obiol et al., 2011; Fletcher et al., 2012; Revelles et al., 2015, 2018; González-Sampériz et al., 2017; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2021). Further, during the Middle Holocene sub-epoch (8.2–4.2 ka BP), warmer and more humid climatic conditions prevailed as high-precipitation regimes increased, favouring the expansion of deciduous forests and the retreat of pine forests and grasslands (Badal et al., 1994; Jalut et al., 2009; Allué et al., 2012; González-Sampériz et al., 2017). Simultaneously, from the Early Holocene, Neolithization throughout the Mediterranean resulted in the expansion of agriculture and herding associated with the development of a sedentary lifestyle. Herding activities are evidenced in archaeological sites by fumier deposits, which have been documented from the Early Neolithic

* Corresponding author.
E-mail address: barbara.mas86@gmail.com (B. Mas).

https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104624
0034-6667/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

to the Iron Age (see Angelucci et al., 2009). Fumiers are the result of stabling animals (usually flocks of goat and sheep) within the entrance areas of caves and rock-shelters. The deposits are mainly derived from the combustion of organic waste, such as accumulations of animal dung. Plant material in this type of deposit has different origins related to practices and needs associated with human settlements such as foddering, animal beds, fuel, refuse and fencing (Brochier, 1983, 1991, 1996; Polo-Díaz et al., 2014, 2016; Burguet-Coca et al., 2020).

In addition to being an important proxy for detecting different past local landscapes, anthracology is also able to identify changes in human-forest relationships in terms of wood exploitation and consumption (see Chabal, 1992; Chabal et al., 1999; Kabukcu, 2018; Asouti and Kabukcu, 2021; Kabukcu and Chabal, 2021). Anthracological data available for the NE Iberian Peninsula during the Middle Holocene and Late Holocene sub-epochs (Senabre and Socias, 1993; Heinz and Vernet, 1995; Ros, 1995a, 1995b, 1996, 1998; Piqué, 1999, 2005; Allué, 2007, 2010; Martín Seijo and Piqué Huerta, 2008; Allué et al., 2009; Vila and Piqué, 2012; Antolín et al., 2013; Alcolea, 2017; Daura et al., 2019) indicate that the configuration and distribution of vegetation landscapes were diverse at regional scale. As a consequence, research based on a local approach may be relevant to reconstructing the regional variability (Fig. 1).

The Central Pre-Pyrenees (southern Pyrenees, Iberian Peninsula) is remarkable for the evidence of herding activities that occurred there, as documented at Cova Colomera (see Bergadà and Oms, 2021; Martín and Oms, 2021) and also at other archaeological sites where anthracological data are available (Polo-Díaz et al., 2016; Burguet-Coca et al., 2020). The present study of a new anthracological sequence from a fumier deposit in Cova Colomera (Serra del Montsec, Central Pre-Pyrenees), with human occupations from the Early Neolithic to the Middle Bronze Age (mid-6th millennium cal BCE to 3rd millennium cal BCE), assumes a diachronic perspective in order to understand the role of anthropogenic activities and climate change in the transformation of local environments and the shaping of the cultural landscape. The main objectives are to understand vegetation change and its causes, and thus to estimate the impact that the Neolithization process may have had on vegetation landscapes.

1.1. Geographical area and landscapes

The study area is located in the Montsec range, in the Central Pre-Pyrenees, between the Tremp-Graus and Ager drainage basins. This range, rising through the passage of the Pre-Pyrenees towards the Ebro Basin, is formed by Cretaceous bioclastic limestones. The

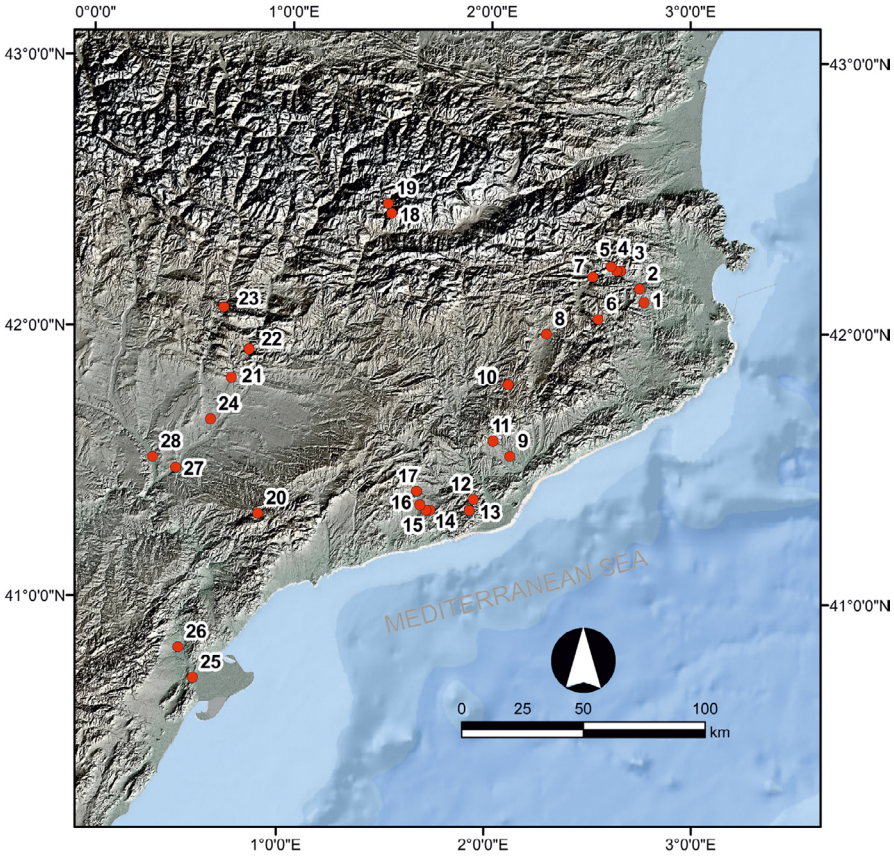


Fig. 1. Archaeological sites with available Middle-Late Holocene anthracological data from NE Iberian Peninsula. Early Neolithic: 1) La Draga (Piqué, 2005); 2) Cova d'en Pau III (Ros, 1996; Piqué, 2005); 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 5) Plansallosa (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 6) Cova de l'Avellaner (Ros, 1996); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 11) Cova del Frare (Ros, 1996); 12) Cova Bonica (Daura et al., 2019); 13) Can Sadurní (Antolín et al., 2013); 15) La Serreta (Allué, 2010); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009); 18) Camp del Colomer (Piqué et al., 2018); 19) Bauma Margineda (Heinz and Vernet, 1995); 20) Coves del Fem (Alcolea, 2017); 23) Cova Colomera (in this paper); 25) Barranc d'en Fabra (Ros, 1996); 26) Cova del Vidre (Alcolea, 2017). Late Neolithic-Chalcolithic: 3) Cova 120 (Ros, 1995a; Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat Pont (Piqué, 2005); 7) La Prunera (Piqué, 2005); 14) Santa Maria dels Horts (Senabre and Socias, 1993); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009); 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 22) Auvelles (Martín Seijo and Piqué Huerta, 2008); 23) Cova Colomera (in this paper); 24) Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2012). Early Bronze age: 8) Institut Manlleu (Ros, 1995b); 9) Can Roqueta (Piqué, 1999); 10) Cova del Toll (Mas and Allué, 2020); 16) Mas d'en Boixos (Allué, 2007); 17) Cova de la Guineu (Allué et al., 2009); 23) Cova Colomera (in this paper). Middle Bronze age: 21) Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished); 23) Cova Colomera (in this paper); 27) Genó (Vila and Piqué, 2012); 28) Punta Farisa (Ros, 1998).

topography is the result of a series of monoclinal mountain ranges over 40 km, covering an area of 186.96 km2, oriented from west to east. Three rivers, the Boix, the Noguera Pallaresa and the Noguera Ribagorçana, cut through the ridge from north to south. Crossing the Montsec range, these water courses have eroded and shaped narrow gorges and routes such as Pas Nou, Terradets and Mont-rebei. At some points, the range exceeds 1600 m a.s.l. in its central sector (e.g., Sant Alís is at 1676 m a.s.l.), but it loses height at either end.

The southern slope of the range, the Ager basin, is characterised by a longer summer drought and therefore drier climate conditions. Locally, the area is under the influence of a sub-Mediterranean climate type, albeit with a continental trend (sensu Carreras and Ferré, 2014). Climatic conditions of sub-Mediterranean climate type are differentiated from the general Mediterranean regime by cooler temperatures and higher rainfall, although a short and irregular summer drought may occur in some years (see Jalut et al., 2000). The mean annual rainfall ranges from 400 to 600 mm, with the maximum precipitation occurring in autumn (October showing mean precipitation of around 40 mm) and the minimum in summer (July showing precipitation of less than 13 mm). The mean annual temperature oscillates between 11 and 13 °C, with a maximum of 31 °C in July and a minimum of 0 °C in January (Meteocat data 2020 from Camarasa municipality) (Fig. 2). The biome of the area is characterised by Mediterranean forests, woodlands and scrub belonging to the Iberian sclerophyllous and semi-deciduous forests (Dinerstein et al., 2017). In some areas, holm-oak forests (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) and Aleppo pine forests (*Pinus halepensis*) expand.

The northern slope of the range, the Tremp-Graus Basin, is rainier and shadier, and consequently the climate is more temperate and could be interpreted as Eurosiberian in tendency. The biome is characterised by a temperate broadleaf and mixed forest, which belongs to the Pyrenees conifer and mixed forest ecoregion (Dinerstein et al., 2017). Locally, beech forests and oak forests are predominant (*Quercus faginea*, *Quercus cerrioides* and *Quercus pubescens*, with the presence of *Acer* sp. and *Buxus sempervirens*). Likewise, in the higher areas of the range, pine forests expand (*Pinus nigra* subsp. *salzmannii* and *Pinus sylvestris*).

2. Cova Colomera

Cova Colomera is located in the Mont-rebei gorge, Serra del Montsec (Central Pre-Pyrenees, NE Iberian Peninsula). The cave is located 670 m

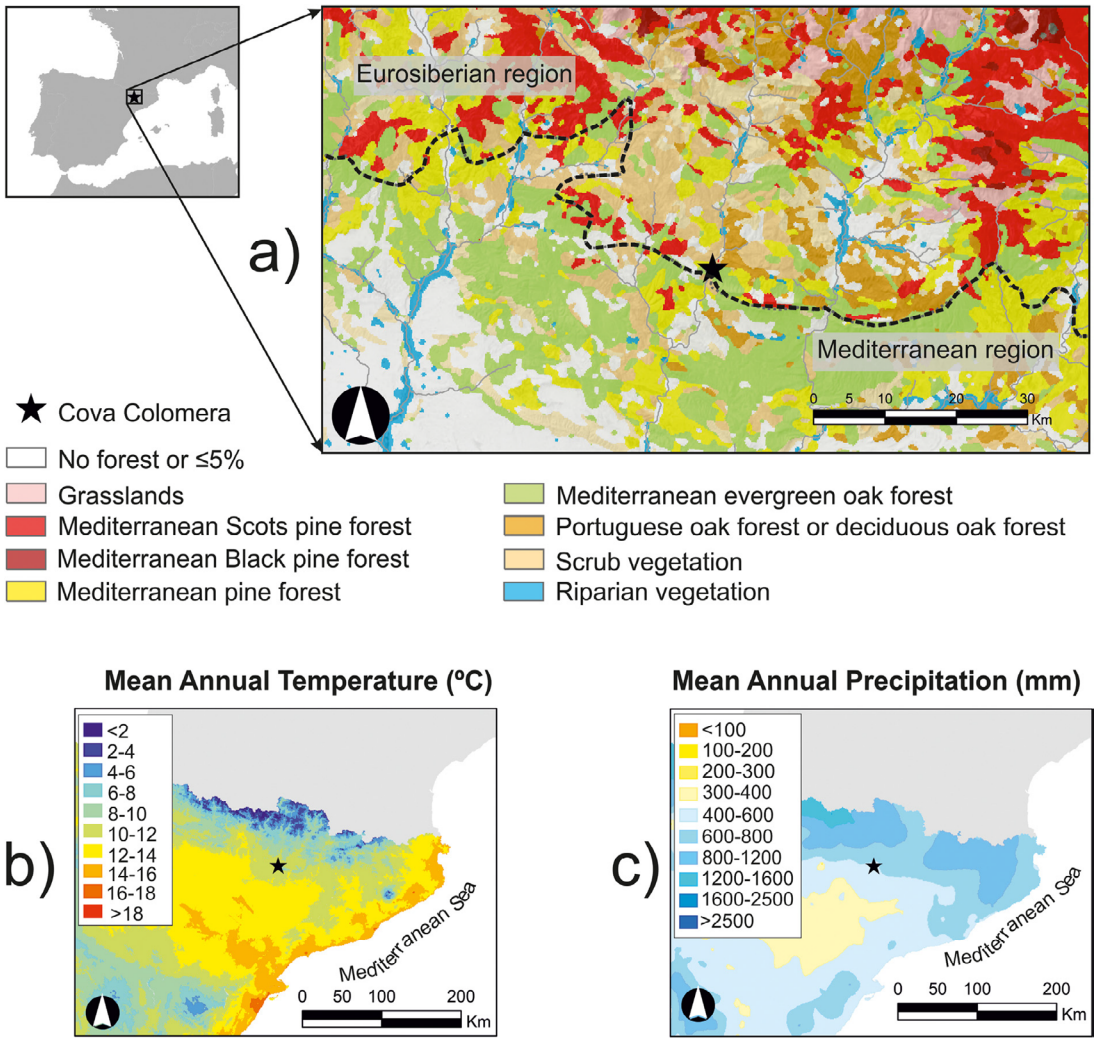


Fig. 2. A) Map of forest communities in the study area, according to the vegetation series of Spain (Rivas-Martínez, 1987); B and C) Principal bioclimatic variables in the NE Iberian Peninsula. "Mean annual Temperature" (B) and "Mean annual Precipitation" (C) according to *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* (Spanish government), by geostatistical interpolation methods from actual AMET data (http://wms.mapama.es/sig/Agricultura/CaractAgroClimaticas/wms.aspx?).

a.s.l., 150 m above the left bank of the Noguera Ribagorçana River, a tributary of the Segre River (Oms et al., 2008, 2009a) (Fig. 3). The cave entrance is 70 m high and 30 m wide and leads to a chamber about 180 m long and 10–12 m wide (Oms et al., 2013).

From 2005 to 2011, an interdisciplinary team from the Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP-UB) excavated the cave, resulting in the description of the stratigraphic sequence (Oms et al., 2015). Two 26 m2 test pits were excavated during the fieldwork: one in the eastern sector of the cave, "Colomera Est (CE)", and the second, "Colomera Vestíbul (CV)", in the highest sector of the cave entrance. The CV test pit revealed thin stratigraphic layers up to the top of a carbonate crust. Under the crust, a series of overlapping anthropogenic structures (silos, hearths, post-holes) were documented. Six Holocene archaeological layers and one Late Pleistocene layer were registered in the CE test pit (Table 1).

The lowest unit CE15 (CE15a, b and c), corresponding to the Pleistocene, was not anthropic in origin, but many micro- and macrofaunal remains were recovered from the excavation and sediment sieving (López-García et al., 2010). The Pleistocene unit was separated from the Holocene sequence by a thin concentration of boxwood leaves and white-coloured branches that corresponds to the top unit of the Holocene sequence, layer CE14 (7163–6964 cal. years BP). The boxwood remains, such as branches and leaves, were documented in a primary position and have been interpreted as a bed for the herd or as part of their diet (Oms et al., 2013; Bergadà and Oms, 2021). Layers CE14, CE13 (7164–6909 cal. years BP) and CE12 (7146–6737 cal. years BP) are ascribed to a late phase of the regional Early Neolithic (Oms et al., 2008, 2009a, 2010, 2013, 2015). Layers CE10 (5305–5041 cal. years BP) and CE9 (4863–4621 cal. years BP) are ascribed to the Late Neolithic, with horizons associated with the Veraza and Veraza-Ferrières cultures respectively (Oms et al., 2010, 2015). In turn, EE1 (4084–3839 cal. years BP, 4086–3896 cal. years BP) is an Early Bronze Age silo-shaped negative structure cutting through the Early Neolithic layers (Oms et al., 2009b, 2010, 2015). Lastly, layer CE8 (3579–3395 cal. years BP, 3561–3400 cal. years BP) corresponds to the Middle Bronze Age. All the Holocene layers correspond to an in-situ sedimentary facies of a fumier type (sensu Brochier, 1983, 1991, 1996), which formed through a continuous accumulation of preserved fumier deposits. Accordingly, the eastern sector of the cave (CE) can be interpreted as corresponding area related to stabling and husbandry practices (Oms et al., 2008; Bergadà and Oms, 2021; Martín and Oms, 2021) (Fig. 4).

3. Materials and methods

The anthracological analysis of the Middle and Late Holocene archaeological layers at Cova Colomera is based on the study of 1117 charcoal fragments. A previous work consisted of the anthracological identification of 300 fragments from the EE1 silo (Oms et al., 2009b), but in the present study this assemblage is complemented with the identification of an additional 60 fragments. To recover the archaeobotanical remains, all the excavated sediment (from 2005 to 2011) was manually floated using bucket flotation, maintaining the spot height measurements (in 5 cm ranges) of the sedimentary facies and using a 0.2 mm mesh sieve.

Identification and quantification were performed according to the standard methodology used in anthracological studies (see Kabukcu and Chabal, 2021; Asouti and Kabukcu, 2021). The charcoal remains were quantified as the number of fragments per taxon and, to evaluate the optimal sample size of the layers, the accumulation curves were established (Chabal, 1997; Kabukcu and Chabal, 2021). The anthracological analysis was accomplished using reflected light microscopy, both bright- and dark-field (Olympus BX41), with magnifications of ×50, ×100, ×200 and ×500. The identification was based on anatomical features

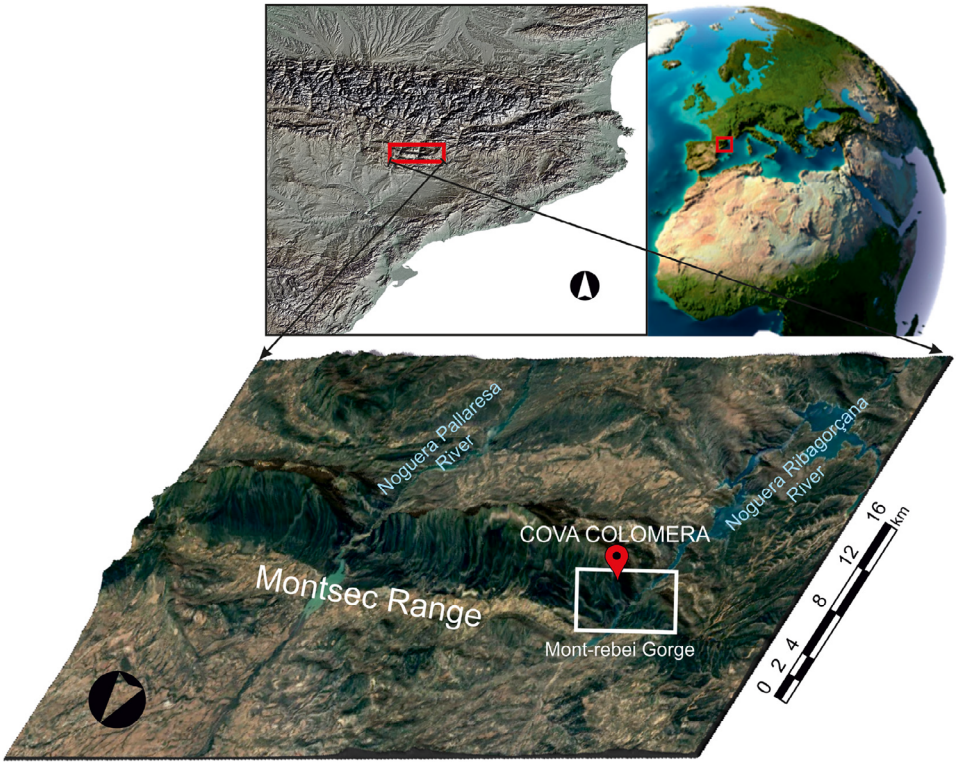


Fig. 3. 3D Location map of Cova Colomera, at N42°4′40.892″, E0°40′54.487″ (WGS 84).

Table 1
Compilation of published radiocarbon and calibrated dates from the Holocene sequence of the Cova Colomera test pit CE.

Layer	Type	Cultural attribution	Sample	Recovered	Radiocarbon	Ref. Lab	Date B.P.	cal yr B.C. 2σ	Cal yr B.P. 2σ	Published
CE8	*Fumier*	Middle Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-23,633	3260 ± 26	1630–1470	3561–3400	Oms et al., 2015
CE8	*Fumier*	Middle Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-140,550	3280 ± 40	1660–1440	3579–3395	Oms et al., 2015
EE1	Silo	Early Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-17,732	3659 ± 30	2170–1930	4086–3896	Oms et al., 2009b
EE1	Silo	Early Bronze age	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-241,704	3630 ± 40	2130–1890	4084–3839	Oms et al., 2009b
CE9	*Fumier*	Late Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-265,439	4230 ± 40	2960–2680	4863–4621	Oms et al., 2015
CE10	*Fumier*	Late Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-17,331	4500 ± 32	3400–3040	5305–5041	Oms et al., 2015
CE12	*Fumier*	Early Neolithic	*Buxus sempervirens*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-248,523	6020 ± 50	5060–4780	7146–6737	Oms et al., 2013
CE13	*Fumier*	Early Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	Beta-240,551	6150 ± 40	5250–4960	7164–6909	Oms et al., 2013
CE14	*Fumier*	Early Neolithic	*Triticum aestivum/durum*	Manual flotation	AMS ^{14}C	OxA-23,634	6170 ± 30	5250–5010	7163–6964	Oms et al., 2013

described in the atlas of European woods compiled by Schweingruber (1990) and was supported by the reference collection of modern charcoal at the IPHES-CERCA (Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social), Tarragona (Spain). Unidentifiable charcoal fragments were assigned to broader categories based on their anatomical features. Undetermined fragments were classified as undetermined angiosperm or undetermined conifer. Fragments that retained some distinguishable anatomical feature, but did not allow attribution to species level, were numbered (e.g., indeterminate angiosperm 1). Anthracological analysis does not always allow charcoal fragments to be discriminated to species level (Chabal, 1992, 1997; Chabal et al., 1999), so in those cases other taxonomic groups were used (types, cf., or genera). Some specific taxa identified in the anthracological sample were regrouped (e.g., *Populus/Salix*; *P. sylvestris* type includes *P. sylvestris/nigra*; and *Quercus* sp. evergreen includes *Q. ilex* and *Quercus coccifera*) where the anatomical distinction between two or more species is not possible (Schweingruber, 1990). Undefined species ("sp.") of some genera were grouped together, such as *Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Lonicera* sp., and *Juniperus* sp. Some species of the same genus have distinct specific anatomical criteria that may constitute different categories or types (Heinz and Barbaza, 1998; Alcolea, 2017; Allué et al., 2018a). Following Heinz and Barbaza (1998), for European woods from the Mediterranean basin, the genus *Prunus* can be classified into three types according to how many cells wide the rays are. The rays of *Prunus* type 1 (which includes *Prunus avium/padus*) are no more than two cells wide. The rays of *Prunus* type 2 (which includes *Prunus spinosa/mahaleb*) are three or four cells wide, and the rays of *Prunus* type 3 (which includes *P. spinosa*) are more than five cells wide. Finally, the family Rosaceae/Maloideae corresponds to several species, including, for example, *Sorbus* and *Crataegus*, which do not always share the same ecological adscription.

4. Results

The anthracological record from Cova Colomera incorporated 1117 charcoal fragments, of which 1038 were identified (Table 2A and B). Accumulation curves show an optimal sample size analysed in all layers (Fig. 5). The charcoal record shows a wide diversity of taxa, including broadleaves and lianas such as *Acer* sp. (maples), *Arbutus unedo* (strawberry tree), *B. sempervirens* (boxwood), *Clematis vitalba* (traveller's joy), *Corylus avellana* (common hazel), *Fagus sylvatica* (common beech),

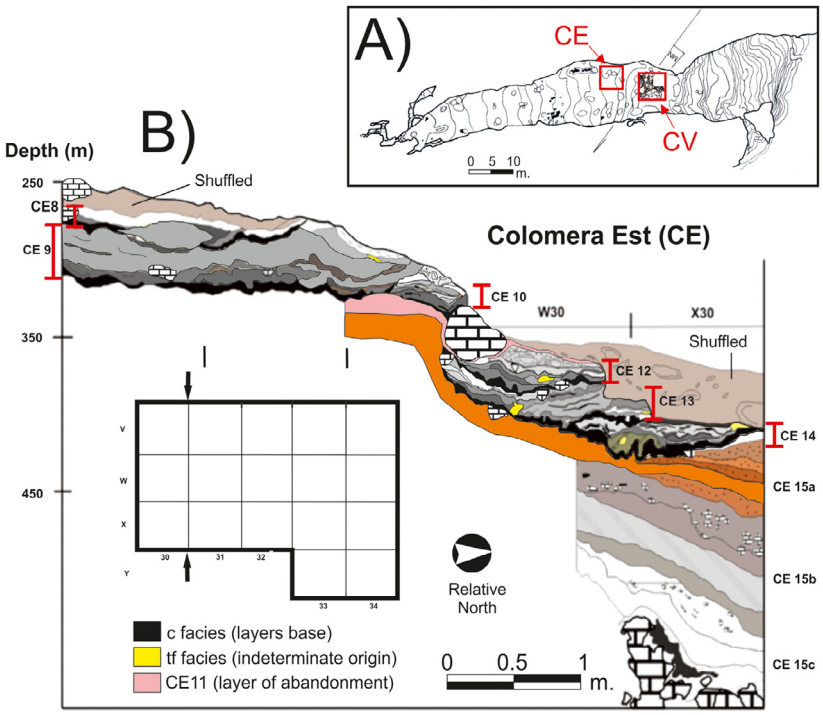


Fig. 4. A: Cave plan; B: Stratigraphic profile and grid-square (2008–2009) of the Cova Colomera test pit CE (Oms et al., 2013: modified). According to Angelucci and others (2009), *c facies* relates to the accumulations of charcoal fragments and *tf facies* refers to silt with abundant ash and varied colour, sometimes with platy structure and moderate cementation.

Table 2A
Middle Holocene anthracological record from Cova Colomera.

Archaeological period	Early Neolithic						Late Neolithic			
Layer	**CE12**		**CE13**		**CE14**		**CE9**		**CE10**	
TAXA	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Acer sp.	9	7.50	11	7.33	17	8.42	24	7.12	14	14.00
Arbutus unedo	–	–	3	2.00	4	1.98	2	0.59	–	–
Buxus sempervirens	43	35.83	37	24.67	76	37.62	83	24.63	25	25.00
Clematis vitalba	–	–	–	–	–	–	1	0.30	–	–
Corylus avellana	–	–	1	0.67	–	–	1	0.30	–	–
Fraxinus sp.	–	–	–	–	–	–	4	1.19	–	–
Juniperus sp.	4	3.33	27	18.00	11	5.45	22	6.53	5	5.00
Lonicera sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00
Pinus sylvestris type	14	11.67	17	11.33	30	14.85	37	10.98	10	10.00
Pistacia lentiscus	–	–	1	0.67	–	–	1	0.30	–	–
Populus sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00
Prunus type 2	1	0.83	5	3.33	6	2.97	8	2.37	3	3.00
Prunus type 3	1	0.83	1	0.67	3	1.49	4	1.19	5	5.00
Quercus sp. *deciduous*	35	29.17	34	22.67	35	17.33	91	27.00	19	19.00
Quercus sp. *evergreen*	5	4.17	3	2.00	5	2.48	5	1.48	1	1.00
Rhamnus alaternus/Phillyrea	–	–	–	–	1	0.50	1	0.30	–	–
Rosaceae/Maloideae	–	–	1	0.67	1	0.50	–	–	–	–
Taxus baccata	2	1.67	–	–	2	0.99	18	5.34	6	6.00
Indeterminated angiosperm 1	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00
cf. *Sambucus*	–	–	–	–	–	–	3	0.89	–	–
Total taxa	**9**		**12**		**12**		**16**		**12**	
cf. *Arbutus unedo*	–	–	–	–	–	–	3	0.89	–	–
cf. *Pinus*	–	–	–	–	–	–	1	0.30	1	1.00
cf. *Prunus*	–	–	–	–	1	0.50	–	–	–	–
Total identified	**114**		**141**		**192**		**309**		**92**	
Indeterminable angiosperm	6	5.00	6	4.00	6	2.97	18	5.34	6	6.00
Indeterminable conifer	–	–	–	–	2	0.99	–	–	–	–
Undetermined	–	–	3	2.00	2	0.99	10	2.97	2	2.00
Total sample	**120**	100	**150**	100	**202**	100	**337**	100	**100**	100

Fraxinus sp. (ash), *Hedera helix* (ivy), *Lonicera* sp. (honeysuckle), *Pistacia lentiscus* (lentisk), *Populus*/*Salix* (poplar/willows), *Prunus* type 2 and type 3 (plums), *Quercus* sp. evergreen and *Quercus* sp. deciduous (holm-oaks and oaks), *Rhamnus alaternus*/*Phillyrea* (buckthorn), Maloideae (pomes), indeterminate angiosperm and cf. *Sambucus* (elderberry), and conifers such as *P. sylvestris* type (Scots pine and black pine), *Taxus baccata* (yew) and *Juniperus* sp. (juniper). The taxon richness remains more or less homogeneous throughout the sequence, although taxon variability is higher in the Late Neolithic layers, especially in layer CE9.

The Early Neolithic layers CE12, CE13 and CE14 show a predominance of boxwood, with deciduous oak and *P. sylvestris* type subsequently. Maple shows low values in the three Early Neolithic layers (no more than 8.5%). On the other hand, juniper increases in layer CE13, although it displays a low presence in the earlier layer CE14. Sporadic fragments (≤5%), such as *A. unedo*, *C. avellana*, holm-oak, *P. lentiscus*, *Prunus* sp., *R. alaternus*/*Phillyrea*, Rosaceae/ Maloideae and *T. baccata* are present (Table 2A). By the same token, boxwood, deciduous oak and *P. sylvestris* type continued to predominate in the Late Neolithic layers CE9 and CE10. However, maple has higher recorded values compared to the previous period, detected mainly in layer CE10. Juniper shows a decrease. Other taxa, such as *Fraxinus* sp., *Lonicera* sp., *P. lentiscus*, *Populus*/*Salix*, *Prunus* sp., holm-oak, *R. alaternus*/*Phillyrea*, indeterminate angiosperm 1, *T. baccata* and cf. *Sambucus*, are also present. Likewise, *T. baccata* and *Prunus* sp. are documented in both these layers.

The Early Bronze Age silo EE1 shows high values for deciduous oak. Furthermore, boxwood and pine are well represented (Table 2B). Sporadic fragments of other taxa (≤5%), such as maple, ash, juniper and holm-oak, are also identified. Finally, the Middle Bronze Age layer CE8 is characterised by a predominance of deciduous oak and boxwood although, compared to the older layers, the values of boxwood are lower. Likewise, scarce appearances of *Acer* sp., *C. avellana*, *F. sylvatica*, *Fraxinus* sp., *H. helix*, *P. sylvestris* type, *Prunus* sp., evergreen oak, Rosaceae/Maloideae and *T. baccata* are identified.

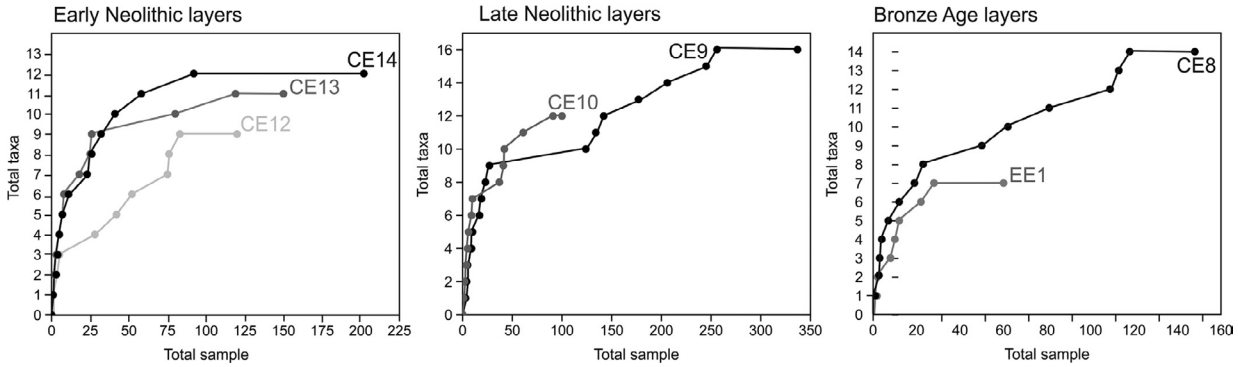


Fig. 5. Taxon accumulation curves of the Holocene layers of Cova Colomera.

Table 2B
Late Holocene anthracological record from Cova Colomera.

Archaeological period	Early Bronze Age			Middle Bronze Age	
Layer	**EE1**			**CE8**	
TAXA	n	Oms et al., 2009b	%	n	%
Acer sp.	2	23	6.94	11	7.43
Arbutus unedo	–	5	1.39	–	–
Buxus sempervirens	14	92	29.44	29	19.59
Corylus avellana	–	4	1.11	1	0.68
Fagus sylvatica	–	–	–	1	0.68
Fraxinus sp.	1	1	0.56	2	1.35
Hedera helix ssp.	–	2	0.56	1	0.68
Ilex aquifolium	–	4	1.11	–	–
Juniperus sp.	5	16	5.83	9	6.08
Pinus sylvestris type	14	25	10.83	9	6.08
Pistacia cf. *terebintus*	–	2	0.56	–	–
Prunus type 2	–	–	–	1	0.68
Quercus sp. *deciduous*	18	95	31.39	53	35.81
Quercus sp. *evergreen*	2	4	1.67	7	4.73
Rhamnus alaternus/Phillyrea	–	2	0.56	–	–
Rhamnus cathartica/saxatilis	–	3	0.83	–	–
Rosaceae/Maloideae	–	1	0.28	1	0.68
Taxus baccata	–	7	1.94	5	3.38
Tilia sp.	–	1	0.28	–	–
cf. *Ribes*	–	1	0.28	–	–
Total taxa	**18**			**13**	
cf. *Acer*	1	1	0.56	–	–
cf. *Corylus avellana*	–	–	–	1	0.68
cf. *Lonicera*	–	1	0.28	–	–
Pinus sp.	–	1	0.28	–	–
Prunus sp.	–	2	0.56	2	1.35
Quercus sp.	–	1	0.28	–	–
Rhamnus sp.	–	1	0.28	–	–
Total identified	**352**			**133**	
Indeterminable angiosperm	2	4	1.67	6	4.05
Indeterminable conifer	1	1	0.56	1	0.68
Undetermined	–	–	–	8	5.41
Total sample	**360**		100	**148**	100

5. Discussion

5.1. Transformation of the vegetation landscape and the environmental conditions around Cova Colomera

The anthracological results from Cova Colomera provide key data for describing the local-scale environment in the Central Pre-Pyrenees during the Middle-Late Holocene. Anthracological analysis of 1117 charcoal fragments from Cova Colomera shows the taxon diversity and changes in the relative values along the sequence (Fig. 6). Although the anthracological sequence is very homogeneous in terms of the richness and ubiquity of woody taxa, there is a tendency towards a progressive increase and predominance of deciduous forest elements. However, a slight increase in evergreen oaks is detected at the top of the anthracological sequence.

According to the anthracological results obtained, the local area of Cova Colomera remained relatively stable over the period in question, dominated as it was by forest communities of deciduous oaks, with a significant presence of *B. sempervirens* and *Acer* sp. This assemblage of taxa is usually associated with sub- and supra-Mediterranean deciduous oak formations. The presence of mesophilic taxa such as maple, *Prunus* sp., Maloideae, common buckthorn and boxwood can be taken to indicate temperate and humid climatic conditions. Other shrubby vegetation and small trees, such as *Juniperus* sp. and *R. alaternus*/*Phillyrea*, could have also developed in more open spaces, indicating the existence of clearances. These open forest formations under a humid climate may well correlate with the results from the study of the small vertebrates in the Holocene layers at Cova Colomera (López-García et al., 2010), which indicated the chorotype of micromammals with mid-European requirements, currently found at the higher altitudes of the Pyrenees. Sub-Mediterranean thermophilic elements requiring more humidity, such as *Tilia* and *Pistacia* cf. *terebinthus*, are identified in the silo EE1 at Cova Colomera, dated to the Early Bronze Age, and maple appears throughout the anthracological sequence. Riverine taxa, such as *Populus*/*Salix*, and *Fraxinus* sp., are documented, although their presence is always low. These elements are likely to have been part of the riparian vegetation, occupying the riverbanks in the Montsec mountain range or shadier and more humid locations such as deep narrow gorges. The other represented circum- and sub-Mediterranean small trees, shrubs and liana, such as *A. unedo*, *C. avellana*, *Ilex aquifolium*, *H. helix* and *C. vitalba*, appear in lower frequencies. The occurrence of *P. sylvestris* type suggests the presence of conifer forests, which underwent a slight decline in the course of the anthracological sequence, mainly during the Middle Bronze Age. These formations would have probably been growing at higher altitudes in nearby areas of the Pre-Pyrenees and *T. baccata* would have probably developed in shadier areas. In the other hand, holm-oaks and sclerophyllous elements such as *A. unedo* and *R. alaternus*/*Phillyrea* show a low relative frequency throughout the

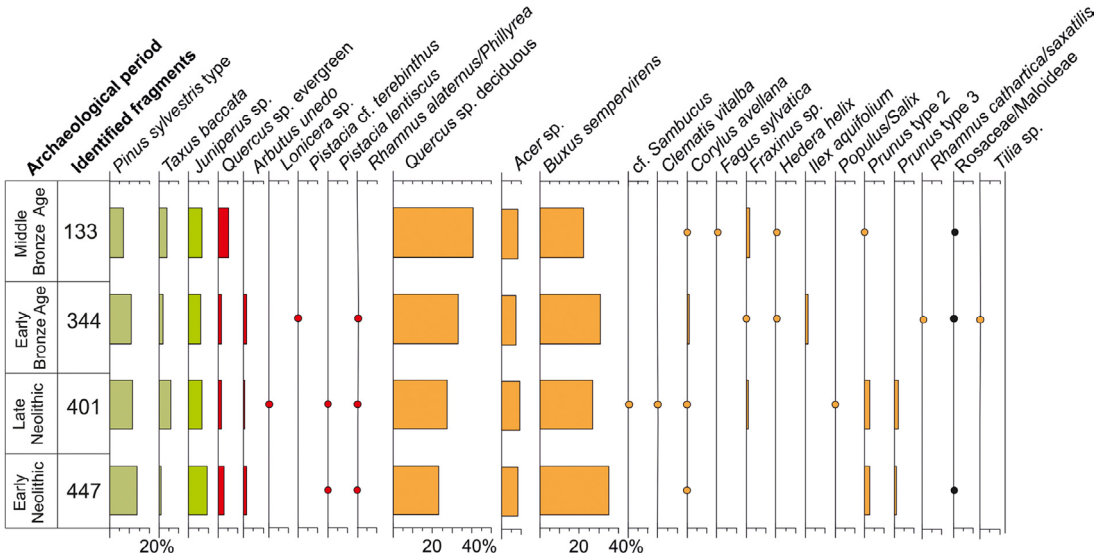


Fig. 6. Diagram with anthracological results for Cova Colomera. Results from Early Bronze age silo EE1 (Oms et al., 2009b) have been included.

anthracological sequence of Cova Colomera. However, from a diachronic point of view, a slight increase in holm-oak is detected, especially in the Middle Bronze Age.

In northeastern Spain and southern France, Mediterranean forests currently form an ecoregion in transition between the western European temperate broadleaf and mixed forest ecoregion and the Iberian sclerophyllous and semi-deciduous forest ecoregion (Dinerstein et al., 2017). Mediterranean forests thus display ecological characteristics of both the Mediterranean and Atlantic climate (Blanco et al., 1997; Carreras and Ferré, 2014). Likewise, the plant community that includes the evergreen oak forest and an evergreen understory of low trees and high shrubs (such as *Olea europaea*, *A. unedo*, *R. alaternus*/*Phillyrea*, *Erica* sp. and *P. lentiscus*) is also identified as an ecoregion of the Mediterranean biome that currently dominates the area. These sclerophyllous taxa display low representation throughout the anthracological sequence of Cova Colomera. They may have occupied secondary positions in drier or sunnier places, probably in areas of deciduous oak forest degradation.

In the Central Pre-Pyrenees, from the Early-Middle Holocene boundary (8.2 ka BP), the deciduous oak forest would have occupied a more extensive area than at present, favoured by a temperate and humid climate (Fig. 7). Palaeoclimate records from Pre-Pyrenean ranges, for example from Estanyá lake (Morellón et al., 2008), indicate greater water availability in three periods during the Holocene: the Early Holocene: 8.5–8.2 ka BP; and the Middle Holocene: 6.7–5.9 ka BP and 4.9–4.2 ka BP. Although these periods correspond to more humid conditions in the Mediterranean area, brief arid episodes also occurred at 8.2 and 7.5 ka BP (Jalut et al., 2009; Bergadà et al., 2018).

T. baccata records have very low values in pollen sequences, probably owing to the poor pollination rates and morphological difficulties (Chybicki and Oleksa, 2018), although the species is well represented in Middle Holocene anthracological records in the northern Iberian Peninsula (see Uzquiano et al., 2015), especially in mid-mountain areas. Differences in *T. baccata* values between anthracological and pollen data may correspond to variable humidity conditions at higher altitudes, which are probably dominated by coniferous forests. Additionally, the high relative frequency of boxwood in the Cova Colomera anthracological record is noteworthy. Boxwood is a sub-Mediterranean taxon, which currently grows in montane and subalpine zones and in some southern locations in the Iberian Peninsula, within an altitudinal range from 26 m to 2500 m a.s.l. (Bolòs and Vigo, 1984-2001; Carreras and Ferré, 2014). In some places, especially in disturbed oak forests, boxwood can play a pioneer role and can form extended shrubby formations, although it is most often associated with undergrowth in the

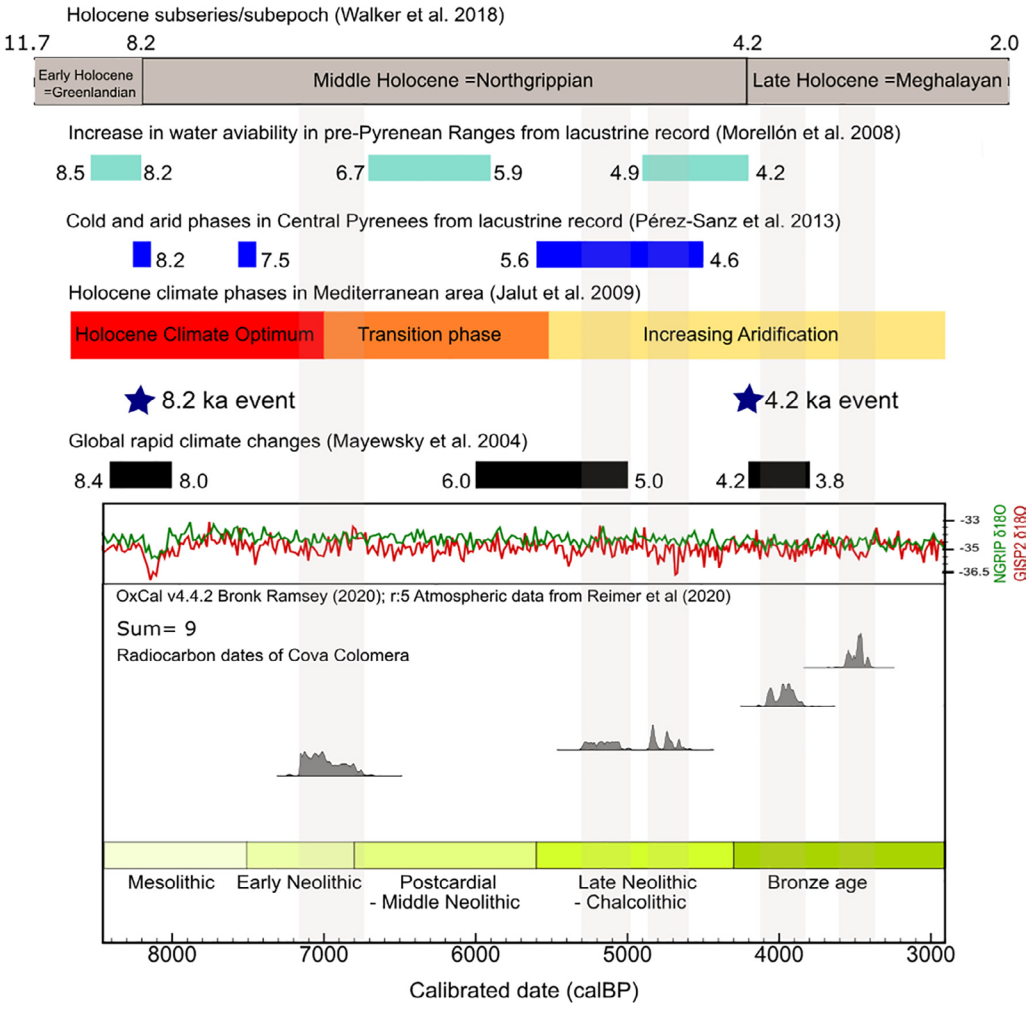


Fig. 7. Calibrated radiocarbon dates of Cova Colomera in relation of different climate proxies.

deciduous oak forest (Rivas-Martínez, 1987; Carreras et al., 2015; Pascual, 2015) and can be considered an indicator of degraded or cleared areas (Pascual, 2015). In the local area around Cova Colomera, woodland formed by deciduous oaks and including maple and boxwood is currently found as part of the forest structure, especially in more temperate or Eurosiberian areas in the Pyrenees and Pre-Pyrenees, under temperate and humid climate conditions. These taxa are common in Middle Holocene anthracological sequences from NE Iberian Peninsula, including littoral sites as well as sites in inner pre-littoral ranges, such as Cova del Toll (Mas and Allué, 2020), Cova de l'Avellaner (Ros, 1996), Cova Gran (Allué, unpublished), Cova d'en Pau III and Plansallosa (Ros, 1996; Piqué, 2005), La Draga (Piqué, 2005), Cova del Frare (Ros, 1996), Bauma del Serrat del Pont and La Prunera (Piqué, 2005).

According to our results, the dynamics of vegetation transformation during the Middle-Late Holocene were more or less homogeneous in the Central Pre-Pyrenees. On a local scale, global aridity events would not have affected the vegetation landscape structure, and deciduous oak forests, temperate taxa and montane conifers would have developed well in the area. The rapid global climate change detected in the 4.2 to 3.8 ka period (Mayewski et al., 2004) and the aridification trend that affected the Mediterranean basin (Fletcher and Sánchez Goñi, 2008; Allué et al., 2009; Jalut et al., 2009; Carrión et al., 2010b; Bergadà et al., 2018) may have been less influential than elsewhere in bringing about the Mediterraneanization of the Central Pre-Pyrenees landscape. Likewise, a slight increase in the evergreen oak forest was detected in the Middle Bronze Age layer of Cova Colomera. Yew, maple and boxwood continued to be well represented in Bronze Age layers from Cova Colomera and Cova Gran (Allué, unpublished). However, the vegetation composition deduced from these anthracological assemblages shows a continuing predominance of deciduous oak forests, with montane conifers and temperate taxa.

5.2. Anthropogenic impacts: Human and environment interactions

The archaeological record at Cova Colomera is associated with short-term occupations related to herding activities such as foddering, litter-bedding, etc. (Oms et al., 2013; Bergadà and Oms, 2021). The systematic burning of such fumier deposits often provides rich vegetal remains (see Angelucci et al., 2009; Euba et al., 2016; Vergès et al., 2016; Polo-Díaz et al., 2016; Burguet-Coca et al., 2020), and Cova Colomera is no exception. The anthracological sequence shows high taxonomic diversity, including 29 woody taxa. Some of these could have been part of the herd's fodder diet. However, we cannot rule out the use of some woody taxa as fuel, such as pine, juniper or yew, or as objects and tools that were thrown into the fire after use. Moreover, ovicaprine herds are a potential agent for reducing undergrowth vegetation. During the winter, browsing is focused on evergreen and semi-deciduous species, whereas in spring and autumn herbaceous grasses are also browsed (Bartolomé et al., 1998; Osoro et al., 2013). High-protein woody species such as *C. vitalba*, *Acer opalus*, *Quercus* sp., lentisk and strawberry tree are currently consumed by ovicaprine herds in Mediterranean areas (Rogosic et al., 2006; Bartolomé, 2014), whereas other taxa such as junipers and boxwood are rejected by herds as fodder (Bartolomé, 2014). However, the wood of the boxwood is also of good quality: hard, fine and compact, easy to polish and dye, and it could have been used for manufacturing objects. The wood produces slow combustion, a property much appreciated for its use as fuel (Caruso-Ferme and Piqué-Huerta, 2014). Examples such as the Neolithic settlement of La Draga (Banyoles, Girona) show the use of boxwood in the production of agricultural tools (Palomo et al., 2011; Piqué et al., 2018). Accordingly, archaeological work on some of the phases of the fumier documented the preservation and accumulation of leaves and branches of boxwood, possibly for the adaptation of beds or spaces for livestock (Bergadà and Oms, 2021; Oms et al., 2013).

Cova Colomera has provided no evidence of human occupation during the Middle Neolithic, although the cave was used by humans in the Early Neolithic and from the Late Neolithic to the Bronze Age cultural period. Two possible scenarios can be weighed up. In the NE of the Iberian Peninsula, evidence of occupation by Middle Neolithic populations has only been documented in burial contexts or in the open-air settlement of Ca n'Isach (Palau-saverdera, Girona) (Tarrús et al., 2016), whereas no evidence of occupation of caves and rock-shelters has been found (see Oms and Martín, 2018). A first hypothesis could be the non-preservation of evidence of human occupation due to erosion in karst systems and on mountainsides (see Polo-Díaz et al., 2014; Bergadà et al., 2018). A second, alternative hypothesis postulates the intentional abandonment of caves and rock-shelters due to changes in livestock grazing practices.

With respect to the human impact on forest communities at a local scale, the forest cover from the Early Neolithic to the Middle Bronze Age does not seem to have changed significantly in terms of either recovery or degradation. This could indicate that human groups carried out a reiterated but non-intensive exploitation of the forests. Accordingly, little evidence of intense human activities on the landscape can be found in the Iberian Central Pre-Pyrenees, although the exploitation of plant resources has been documented since the Upper Pleistocene and Early Holocene (Allué et al., 2012, 2018b). At lower altitudes and similar to Cova Colomera, Neolithic layers or structures at Les Auvelles (Oms et al., 2019), Cova Gran (Mora et al., 2011) and Forat de Conqueta (Mora et al., 2009; Allué, 2011) show similarities as well as slight differences in the composition of their vegetation landscape. On the one hand, the open-air archaeological site of Les Auvelles has yielded an anthracological record of oak taxa in which, although dominated by deciduous oak, evergreen oak is also represented, with high ubiquity values (Martín Seijo and Piqué Huerta, 2008). According to the authors, this assemblage could be influenced by specific fuel and wood selection patterns. On the other hand, anthracological data from the cave of Forat de Conqueta and the rock-shelter of Cova Gran (Allué, unpublished) indicate an assemblage similar to that of Cova Colomera. Archaeological research has identified livestock practices in the Holocene layers of Cova Gran, especially involving livestock enclosure, and has interpreted the use of the cave in terms of the transhumance routes through the southern Pyrenees (Polo-Díaz et al., 2014; Burguet-Coca et al., 2020; Martín and Oms, 2021), and also some mountainous Pyrenees areas (Gassiot et al., 2017; Knockaert et al., 2018; Tejedor-Rodríguez et al., 2021). The forest formations were probably the same in the different Pre-Pyrenean valleys, without any differences in human pressure causing more open forests in some areas.

Profound transformations of natural landscapes into cultural landscapes are currently the result of human pressure (Butzer, 1989; Quézel and Médail, 2003; Blondel, 2006; Pérez-Obiol et al., 2011). Humans have exploited forest wood resources and interfered with the natural development and distribution of woody plants for millennia. However, evidence of the anthropogenic footprint in the landscape during the Middle-Late Holocene is not homogeneous in the Iberian Peninsula. For example, it seems to be less intense in mountainous areas (e.g., Carrión et al., 2010b). In these areas above 2000 m a.s.l., Neolithic populations would have consumed varying amounts of wood according to the functionality and location of the settlements (Obea et al., 2021). Therefore, these archaeological sites show no evidence of extensive agriculture or substantial modification of the landscape. In contrast, the transformation of the vegetation landscape appears to be more intense in Mediterranean coastal areas (e.g., Riera-Mora and Esteban-Amat, 1994; Revelles et al., 2015). Nevertheless, there is no doubt that anthropogenic activities were important at a local scale particularly in the Late Holocene. The anthropic impact on landscapes during the Early Bronze Age has also been inferred from the increase in microcharcoal particles associated with the recurrence of fire events in mountain areas (Carrión et al., 2010b), more intensive land-use dynamics (Rull et al., 2021), and more specialised fuel-gathering patterns (Ros, 1995b, 1998; Piqué, 1999; Allué, 2007; Allué et al., 2009; Vila and Piqué, 2012; Obea et al., 2021).

6. Conclusions

The anthracological analysis of Cova Colomera documents changes in the vegetation landscape in the Central Pre-Pyrenees. These changes are related to specific climatic dynamics and a low anthropogenic impact, especially associated with herding and livestock management activities. The anthracological sequence shows how from the Middle to Late Holocene the local area of Cova Colomera continued to be dominated in the long term by deciduous oak forest ecosystems associated with sub- and supra-Mediterranean deciduous formations, while the coniferous forest gradually receded. According to our results, arid episodes in the Central Pre-Pyrenees did not cause major changes in vegetation cover, since the environmental conditions in the area of study included certain particularities that favoured the establishment of a temperate and humid climate. However, the Late Holocene began to show a slight increase in evergreen oaks, mainly during the Middle Bronze Age.

The evidence of the anthropogenic activities on the landscape during the Middle Holocene is not homogeneous in the NE Iberian Peninsula, as some areas displayed certain particularities. Neolithic human groups who settled in the open air and took advantage of the caves and rock-shelters to carry out specialised activities were well aware of the potential of the landscapes. However, the herding activities in evidence during the Neolithic seem to have exerted slight pressure on the structure of the different landscapes, especially in inland areas of the NE Iberian Peninsula such as the Central Pre-Pyrenees. The human presence in this area was therefore probably not intensive. Accordingly, we do not observe such intensive exploitation of forest resources as in the areas near the coast. Finally, the Bronze Age populations to which more intensive exploitation of forest resources is attributed on a regional scale do not seem to exert such an intensive influence at the local scale of Cova Colomera. The differences in the intensity of forest exploitation may be due to the different functionalities of the occupations as well as the different locations of the settlements.

Funding

Bàrbara Mas is supported by a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) with financial sponsorship of the Generalitat de Catalunya, integrated in the project "Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)", 2021–2024, PID2020-117186GB-I00, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government. This work is supported by the project "El poblamiento del NE peninsular y su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial", 2021–2024, PID-2020-113960GB-100, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government, and by the MINECO/FEDER (CGL2015-65387-C31-P), Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government and by the "María de Maeztu excellence accreditation" (cex2019-000945-M), and by the projects SGR2017-836, SGR201700011 of the Generalitat de Catalunya.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

We want to thank the fieldwork team that was working in the Cova Colomera, as well as Dr. Juan Manuel López-García for managing the manual flotation process and the anthracological remains recovery. We would like to thank Dr. Santiago Riera Mora that provided comments that helped to improve the manuscript, and to Rupert Glasgow for reviewing the English language of the manuscript. We want to thank the IPHES-CERCA to offer the use of the microscopy laboratory and workspaces. In addition, we want to thank to the editor Dr. José S. Carrión, and the two anonymous reviewers whose comments helped to improving our manuscript.

References

Alcolea, M., 2017. Paisaje vegetal y gestión de recursos leñosos durante la transición Epipaleolítico-Neolítico en el Valle del Ebro. Aportaciones desde la Antracología, Área de Prehistoria. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, p. 700.

Allué, E., 2007. Informe de l'anàlisi antracològica del jaciment de Mas d'en Boixos (Pacs del Penedés, Baix Penedés). Mostres del neolític, Edat del Bronze, Ferro i Ibèric. Unpublished ReportInstitut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES).

Allué, E., 2010. Informe de l'estudi antracològic La Serreta - Vilafranca Centre (Vilafranca del Penedès). Excavació arqueològica del jaciment de La Serreta corresponent a la intervenció del projecte "Remodelació dels enllaços i implantació de peatges tancats a l'autopista AP-7. Enllaç Vilafranca Centre. Fase 3B" (Vilafranca del Penedès, Alt Penedès. Tarragona).

Allué, E., 2011. Estudi antracològic del jaciment de Forat de Conqueta (Santa Linya, Lleida). Treballs d'Arqueologia 17, 27–35.

Allué, E., Mas, B., 2020. The meaning of *Pinus sylvestris*-type charcoal taphonomic markers in Palaeolithic sites in NE Iberia. J. Archaeol. Sci. Rep. 30, 102231. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102231.

Allué, E., Nadal, J., Estrada, A., García-Argüelles, P., 2007. Los datos antracológicos de la Balma del Gai (Bagues, Barcelona): Una aportación al conocimiento de la vegetación y la explotación de los recursos forestales durante el Tardiglaciar en el NE Peninsular. Trab. Prehist. 64 (1), 87–97.

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). C.R. Palevol 11, 507–518. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.04.004.

Allué, E., Picornell-Gelabert, L., Daura, J., Sanz, M., 2017. Reconstruction of the palaeoenvironment and anthropogenic activity from the Upper Pleistocene/Holocene anthracological records of the NE Iberian Peninsula (Barcelona, Spain). Quat. Int. 457, 172–189. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.024.

Allué, E., Expósito, I., Tumung, L., Ollé, A., Bazgir, B., 2018a. Early evidence of Prunus and Prunus cf. amygdalus from Palaeolithic sites in the Khorramabad Valley, western Iran. Comp. Rend. Palevol. 17 (6), 335–345. https://doi.org/10.1016/j.crpv.2018.01.001.

Allué, E., Martínez-Moreno, J., Roy, M., Benito-Calvo, A., Mora, R., 2018b. Montane pine forests in NE Iberia during MIS 3 and MIS 2. A study based on new anthracological evidence from Cova Gran (Santa Linya, Iberian Pre-Pyrenees). Rev. Palaeobot. Palynol. 258, 62–72. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.06.012.

Angelucci, D.E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A., Vergès, J.M., 2009. Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. World Archaeol. 41 (2), 191–214. https://doi.org/10.1080/00438240902843659.

Antolín, F., Piqué, R., Ballesteros, A., Burjachs, F., Buxó, R., Mensua, C., Edo, M., 2013. A Changes in the perception of and the interaction with the environment from the Mesolithic (10300–8500 cal BC) to the Early Neolithic (c. 5400 cal BC) in Can Sadurní Cave (Begues, Barcelona province, Spain). A view from the archaeobotanical data. In: Damblon, F. (Ed.), Proceedings of the Fourth International Meeting of Anthracology (Brussels, 8–13/09/2008). Royal Belgian Institute of Natural Sciences. Archaeopress (BAR International Series: 2486), Oxford, pp. 19–30.

Asouti, E., Kabukcu, C., 2021. Anthracology: Charcoal science in archaeology and palaeoecology. Quat. Int. 593-594, 1–5. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.013.

Badal, E., Bernabeu, J., Vernet, J.L., 1994. Vegetation changes and human action from the Neolithic to Bronze Age (7000-4000 B.P.). Veg. Hist. Archaeobotany 3, 155–166.

Bartolomé, J., 2014. Control del sotobosque mediante pastoreo con ovino en un bosque mixto de pino silvestre y roble. In: Martínez, A. (Ed.), 53a Reunión Científica de la SEEP "Pastos y Pac 2014–2020". Potes, Cantabria, pp. 579–586.

Bartolomé, J., Franch, J., Plaixats, J., Seligman, N.G., 1998. Diet selection by sheep and goats on Mediterranean heathwoodland range. J. Range Manag. 51 (4), 383–391. https://doi.org/10.2307/4003322.

Bergadà, M.M., Oms, F.X., 2021. Pastoral practices, bedding and fodder during the Early Neolithic through micromorphology at Cova Colomera (Southeastern Pre-Pyrenees, Iberia). Open Archaeol. 7 (1), 1258–1273. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0183.

Bergadà, M.M., Cervelló, J.M., Edo, M., Cebrià, A., Oms, F.X., Martínez, P., Antolín, F., Morales, J.I., Pedro, M., 2018. Chronostratigraphy in karst records from the Epipaleolithic to the Mid/Early Neolithic (c. 13.0–6.0 cal ka BP) in the Catalan Coastal Ranges of NE Iberia: environmental changes, sedimentary processes and human activity. Quat. Sci. Rev. 184, 26–46. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.09.008.

Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M., Gómez, A., Gómez, F., Moreno, J.C., Morla, C., Regato, P., Sáinz, H., 1997. Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica. Editorial Planeta, Madrid.

Blondel, J., 2006. The 'design' of mediterranean landscapes: a millennial story of humans and ecological systems during the historic period. Hum. Ecol. 34 (5), 713–729. https://doi.org/10.1007/s10745-006-9030-4.

Bolòs, O., Vigo, J., 1984-2001. Flora dels Països Catalans. Barcino, Barcelona.

Brochier, J.E., 1983. Bergeries et feus de bois néolithiques dans le Midi de la France. Caractérisation et incidence sur le raisonnement sédimentologique. Quartär 33 (34), 119–135.

Brochier, J.E., 1991. Géoarchéologie du monde agropastoral. In: Guilaine, J. (Ed.), Pour une Archéologie agraire. Armand Colin, Paris, pp. 303–322.

Brochier, J.E., 1996. Feuilles ou fumiers? Observations sur le rôle des poussières sphérolitiques dans l'interprétation des dépôts archéologiques holocènes. Anthropozoologica 24, 19–30.

Burguet-Coca, A., Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A., Allué, E., Mora, R., Cabanes, D., 2020. Pen management and livestock activities based on phytoliths, dung spherulites, and minerals from Cova Gran de Santa Linya (Southeastern pre-Pyrenees). Archaeol. Anthropol. Sci. 12 (7), 1–16. https://doi.org/10.1007/s12520-020-01101-6.

Burjachs, F., Giralt, S., Roca, J.R., Seret, G., Julià, R., 1997. Palinología holocénica y desertización en el Mediterráneo occidental. In: Ibáñez, J.J., Valero-Garcés, B., Machado, C. (Eds.), El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo: implicaciones en la desertización. Logroño, Geoforma ediciones, pp. 379–394.

Butzer, K.W., 1989. Arqueología. Una ecología del hombre. Bellaterra ed, Barcelona.

Carreras, J., Ferré, A., 2014. Cartografia dels hàbitats a Catalunya Versió 2. Manual d'interpretació. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Carreras, J., Ferré, A., Vigo, J., 2015. Manual dels hàbitats de Catalunya: catàleg dels hàbitats naturals reconeguts en el territori català d'acord amb els criteris establerts pel CORNE biotopes manual de la Unió Europea. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

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. Rev. Palaeobot. Palynol. 162, 458–475. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.12.007.

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. J. Arid Environ. 74 (7), 731–736. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.11.014.

Caruso-Ferme, L., Piqué-Huerta, R., 2014. Landscape and forest exploitation at the ancient Neolithic site of La Draga (Banyoles, Spain). The Holocene 24 (3), 266–273.

Chabal, L., 1992. La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. Bull. Soc. Bot. Franc. Actual. Bot. 139, 213–236.

Chabal, L., 1997. Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive): l'anthracologie, méthode et paléoécologie. Éditions de la Maison de Sciences de l'Homme, Paris.

Chabal, L., Fabre, L., Terral, J.F., Théry-Parisot, I., 1999. La botanique. In: Errance (Ed.), Collection Archéologiques. Revue archéologique du Centre de la France, Paris, pp. 43–104.

Chybicki, I.J., Oleksa, A., 2018. Seed and pollen gene dispersal in Taxus baccata, a dioecious conifer in the face of strong population fragmentation. Ann. Bot. 122, 409–421. https://doi.org/10.1093/aob/mcy081 %J Annals of Botany.

Daura, J., Sanz, M., Oms, F.X., Pedro, M., Martínez, P., Mendiela, S., Oliva-Poveda, M., Gibaja, J.F., Mozota, M., Alonso-Eguíluz, M., Albert, R.M., Allué, E., Bañuls-Cardona, S., López-García, J.M., Santos-Arévalo, F.J., Fullola, J.M., 2019. Deciphering Neolithic activities from a Cardial burial site (Cova Bonica) on the western Mediterranean coast. J. Archaeol. Sci. Rep. 23, 324–347. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.10.036.

Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E.C., Jones, B., Barber, C.V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., Sechrest, W., Price, L., Baillie, J.E.M., Weeden, D., Suckling, K., Davis, C., Sizer, N., Moore, R., Thau, D., Birch, T., Potapov, P., Turubanova, S., Tyukavina, A., de Souza, N., Pintea, L., Brito, J.C., Llewellyn, O.A., Miller, A.G., Patzelt, A., Ghazanfar, S.A., Timberlake, J., Klöser, H., Shennan-Farpón, Y., Kindt, R., Lillesø, J.-P.B., van Breugel, P., Graudal, L., Voge, M., Al-Shammari, K.F., Saleem, M., 2017. An Ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. BioScience 67 (6), 534–545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014.

Euba, I., Allué, E., Burjachs, F., 2016. Wood uses at El Mirador Cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. Quat. Int. 414 (1), 285–293. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.084.

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. Quat. Res. 70, 451–464. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.07.002.

Fletcher, W., Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., López-Merino, L., Peña, L., Burjachs, F., López-Sáez, J.A., García-Antón, M., Carrión-Marco, Y., Uzquiano, P., Postigo, J.M., Barrón, E., Allué, E., Badal, E., Dupré, M., Fierro, E., Munuera, M., Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Jiménez-Moreno, G., Gil-Romera, G., Leroy, S., García-Martínez, M.S., Montoya, E., Yll, E., Vieira, M., Rodríguez-Ariza, M.O., Anderson, S., Peñalba, C., Gil-García, M.J., Pérez-Sanz, A., Albert, R.M., Díez, M.J., Morales, C., Gómez-Manzaneque, F., Parra, I., Ruiz-Zapata, B., Riera, S., Zapata, L., Ejarque, A., Vegas, T., Rull, V., Scott, L., Andrade, A., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Moreno, E., Hernández-Mateo, L., Sánchez-Baena, J.J., Riquelme, J.A., Iglesias, R., Franco, F., Chaín, C., Figueiral, I., Grau, E., Matos, M., Jiménez-Espejo, F., Arribas, A., Garrido, G., Finlayson, G., Finlayson, C., Ruiz, M., Pérez-Jordà, G., Miras, Y., 2012. Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid.

Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Rodríguez, D., Obea, L., Quesada, M., Díaz, S., 2017. The beginning of high mountain occupations in the pyrenees. human settlements and mobility from 18,000 cal BC to 2000 cal BC. In: Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.), High Mountain Conservation in a Changing World. Springer International Publishing, Cham, pp. 75–105.

González-Sampériz, 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., 2017. Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the Last Glacial Maximum: a view from the lake records. CATENA 149, 668–688. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.041.

Heinz, C., Barbaza, M., 1998. Environmental changes during the Late Glacial and Post-Glacial in the central Pyrenees (France): new charcoal analysis and archaeological data. Rev. Palaeobot. Palynol. 104 (1), 1–17.

Heinz, C., Vernet, J.L., 1995. Anàlisi antracològica dels nivells mesolítics i del neolític antic de la Balma de la Margineda. Paleoecologia i relacions home-vegetació. In: Guilaine, J., Marztluff, M. (Eds.), Les excavacions a La Balma de la Margineda (1979-1991). Andorra la Vella: Govern d'Andorra, Ministeri d'Afers Socials i Cultura, pp. 26–64.

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. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 160 (3), 255–290. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00075-4.

Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. Quat. Int. 200 (1–2), 4–18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.03.012.

Kabukcu, C., 2018. Wood charcoal analysis in Archaeology. In: Pişkin, E., Marciniak, A., Bartkowiak, M. (Eds.), Environmental Archaeology: Current Theoretical and Methodological Approaches. Springer International Publishing, Cham, pp. 133–154.

Kabukcu, C., Chabal, L., 2021. Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: achievements and prospects. Quat. Int. 593-594, 6–18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004.

Knockaert, J., Balasse, M., Rendu, C., Burens, A., Campmajo, P., Carozza, L., Bousquet, D., Fiorillo, D., Vigne, J.-D., 2018. Mountain adaptation of caprine herding in the eastern Pyrenees during the Bronze Age: a stable oxygen and carbon isotope analysis of teeth. Quat. Int. 484, 60–74. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.029.

López-García, J.M., Blain, H.-A., Allué, E., Bañuls, S., Bargalló, A., Martín, P., Morales, J.I., Pedro, M., Rodríguez, A., Solé, A., Oms, F.X., 2010. First fossil evidence of an "interglacial refugium" in the Pyrenean region. Naturwissenschaften 97 (8), 753–761. https://doi.org/10.1007/s00114-010-0695-6.

Martín, P., Oms, F.X., 2021. Early Neolithic husbandry in the Pre-Pyrenean area. The management of herds at the Cova Colomera (Serra del Montsec, Spain) and its implications for the Early occupation of the region. Open. Archaeology 7 (1), 1216–1234. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0190.

Martín Seijo, M., Piqué Huerta, R., 2008. Consumo especializado de combustibles en el Neolítico : los datos antracológicos del yacimiento de Auvelles (Castelló de Farfanya, Lleida). In: Hernández, M.S., Soler, J.A., López, J.A. (Eds.), IV Congreso del Neolítico Peninsular. Alicante, Diputación Provincial de Alicante, pp. 432–437.

Mas, B., Allué, E., 2020. Estudi antracològic de la Cova del Toll (Moià). In: Guilaine, J., Llongueras, M., Petit, M.A., Oms, F.X. (Eds.), El Neolític i l'edat del Bronze a la Cova del Toll (Moià, Barcelona): les excavacions de 1976–1977. vol. 16. Monografies del SERP, Barcelona, pp. 129–148.

Mas, B., Allué, E., Alonso, E.S., Vaquero, M., 2021. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution. Archaeol. Anthropol. Sci. 13 (12), 1–18. https://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2.

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. Quat. Res. 62 (3), 243–255. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001.

Mora, R., Pizarro, J., Lou, M., Jordá-Pardo, J., Benito-Calvo, A., 2009. El jaciment de Forat de Conqueta (Santa Linya, Lleida). Localització i característiques geològiques. Treb. Arqueol. 16, 7–15.

Mora, R., Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., González, P., De la Torre Sáinz, I., 2011. Chrono-stratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (south-eastern Pre-Pyrenees, Iberian Peninsula). J. Quat. Sci. 26 (6), 635–644.

Morellón, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Sampériz, P., Mata, P., Romero, O., Maestro, M., Navas, A., 2008. Holocene palaeohydrology and climate variability in northeastern Spain: the sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range). Quat. Int. 181, 15–31. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.021.

Obea, L., Celma, M., Piqué, R., Gassiot, E., Martín, M., Salvador, G., Rodríquez, D., Quesada, M., Mazzucco, N., Garcia, D., Díaz, S., Clemente, I., 2021. Firewood-gathering strategies in high mountain areas of the Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Central Pyrenees) during Prehistory. Quat. Int. 593-594, 129–143. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.044.

Oms, F.X., Martín, A., 2018. Els primers pagesos i ramaders del nord-est de la península Ibèrica: El Neolític ca. 5600-2300 cal BC. In: Remolins, G., Gibaja, J.F. (Eds.), Les valls d'Andorra durant el Neolític: un encreuament de camins al centre dels Pirineus. vol. 2. Monografies del MAC, Barcelona, pp. 37–62.

Oms, F.X., Bargalló, A., Chaler, M., Fontanals, M., García, M.S., López, J.M., Morales, J.I., Nievas, T., Rodríguez, A., Serra, J., Solé, À., Vergès, J.M., 2008. La Cova Colomera (Sant Esteve de la Sarga, Lleida), una cueva-redil en el prepirineo de Lérida. Primeros resultados y perspectivas de futuro. In: Hernández-Pérez, M.S., Soler-Díez, J.A., López-Padilla, J.A. (Eds.), Actas IV Congreso del Neolítico Peninsular. Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, pp. 230–236.

Oms, F.X., Bargalló, A., López-García, J.M., Morales, J.I., Pedro, M., Solé, A., 2009a. L'arqueologia prehistòrica a la serralada del Montsec, des del segle XIX fins a l'actual projecte de recerca. Rev. Arqueol. Ponent 19, 29–50.

Oms, F.X., Petit, M.A., Allué, E., Bargalló, A., Blain, H.A., López-García, J.M., Martín, P., Morales, J.I., Pedro, M., Rodríguez, A., Solé, A., 2009b. Estudio transdisciplinar de la fosa EE1 de la Cova Colomera (Prepirineo de Lleida): implicaciones domésticas y paleoambientales en el Bronce Antiguo del noreste de la Península Ibérica. Trab. Prehist. 66 (1), 123–144.

Oms, F.X., Pedro, M., Bargalló, A., López-García, J.M., Morales, J.I., Solé, A., 2010. El projecte arqueològic a la Serra del Montsec (Pallars Jussà). Noves dades per el coneixement

del Neolítici i edat del Bronze al Prepirineu de Lleida, 2n Col·loqui d'Arqueologia d'Odèn. Odèn, pp. 39–46.
Oms, F.X., López-García, J.M., Mangado, X., Martín, P., Mendiela, S., Morales, J.I., Pedro, M., Rodríguez, A., Rodríguez-Cintas, À., Yubero, M., 2013. Hàbitat en cova i espai pels ramats CA. 6200-6000 BP: la Cova Colomera (Prepirineu de Lleida) durant el Neolític antic. Saguntum 45, 25–38. https://doi.org/10.7203/SAGVNTVM.45.2007.
Oms, F.X., Pedro, M., Morales, J.I., Allué, E., Frigola, J., Mendiela, S., Rodríguez, A., Serra, J., Yubero, M., 2015. La Cova Colomera 30 anys després. Ocupacions humanes entre 6180–3280 BP al Congost de Mont-rebei. Campanyes de 2005-2011, Primeres Jornades d'Arqueologia i Paleontologia del Pirineu i Aran. Coll de Nargó i la Seu d'Urgell: Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura, pp. 116–123.
Oms, F.X., Sánchez de la Torre, M., Petit, M.A., López-Cachero, F.J., Mangado, X., 2019. Nuevos datos del VI y V milenio cal BC en el llano y Prepirineo de Lleida (NE de la Península Ibérica): el Abric del Xicotó y Les Auvelles. MUNIBE Antropol. Arkeol. 70, 93–107.
Osoro, K., Ferreira, L.M.M., García, U., Jáuregui, B.M., Martínez, A., Rosa García, R., Celaya, R., 2013. Diet selection and performance of sheep and goats grazing on different heathland vegetation types. Small Rumin. Res. 109, 119–127. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.07.010.
Palomo, A., Gibaja, J.F., Piqué, R., Bosch, A., Chinchilla, J., Tarrus, J., 2011. Harvesting cereals and other plants in Neolithic Iberia: the assemblage from the lake settlement at la Draga. Antiquity 85 (329), 759–771.
Pascual, R., 2015. Guia dels arbres dels Països Catalans. Valls: 9 Grup Editorial, Cossetània Edicions.
Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic historic of the Iberian Peninsula. The Holocene 21 (1), 75–93. https://doi.org/10.1177/0959683610384161.
Picornell-Gelabert, L., Servera-Vives, G., Carrión Marco, Y., Burjachs, F., Currás, A., Llergo, Y., Dufraisse, A., De Luís Arrillaga, M., Mus Amézquita, M., 2020. Late Holocene Aleppo pine (Pinus halepensis Miller) woodlands in Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean): Investigation of their distribution and the role of human management based on anthracological, dendro-anthracological and archaeopalynological data. Quat. Int. 593-594, 346–363. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.006.
Piqué, R., 1999. Producción y uso del combustible vegetal: una evaluación arqueológica. Universidad Autónoma de Barcelona; Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
Piqué, R., 2005. Paisaje y gestión de recursos forestales entre el VI y IV milenio cal AC en el Noreste de la Península Ibérica. In: Arias, P., Ontañon, R., García, C. (Eds.), III Congreso de Neolítico de la Península Ibérica. Universidad de Cantabria, Santander, pp. 45–52.
Piqué, R., Morera, N., Revelles, J., Castells, E., López-Bultó, O., Franch, A., Burjachs, F., 2018. The distribution and use of Box (*Buxus sempervirens* L.) in the Northeastern Iberian Peninsula during the Holocene. Environ. Archaeol. 26 (2), 179–191. https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1515054.
Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A., Mora, R., 2014. Prehistoric herding facilities: site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia). J. Archaeol. Sci. 41, 784–800. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.09.013.
Polo-Díaz, A., Alonso Eguíluz, M., Ruiz, M., Pérez, S., Mújika, J., Albert, R.M., Fernández Eraso, J., 2016. Management of residues and natural resources at San Cristóbal rockshelter: contribution to the characterisation of chalcolithic agropastoral groups in the Iberian Peninsula. Quat. Int. 414, 202–225. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.013.
Quézel, P., Médail, F., 2003. Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier (Collection Environnement), Paris.
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). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 435, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.002.
Revelles, J., Burjachs, F., Palomo, A., Piqué, R., Iriarte, E., Pérez-Obiol, R., Terradas, X., 2018. Human-environment interaction during the Mesolithic- Neolithic transition in the NE Iberian Peninsula. Vegetation history, climate change and human impact during the Early-Middle Holocene in the Eastern Pre-Pyrenees. Quat. Sci. Rev. 184, 183–200. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.08.025.
Riera, S., Esteve, X., Nadal, J., 2007. Systèmes d'explotation et anthropisation du paysage méditerranéen du néolitique Ancien au premier âge du Fer: le cas de la dépression de Penedès (nord-est de la péninsule ibérique). In: Richard, H., Magny, M., Mordant, C. (Eds.), Environements et cultures à l'âgedu Bronze en Europe Occidentale. Actes des congres nationaux des Sociétés historiques et scientifiques 129e. Besançon, 2004. 21. Documents préhistoriques, Paris, pp. 121–141.
Riera-Mora, S., Esteban-Amat, A., 1994. Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (northeastern Iberian Peninsula). Veg. Hist. Archaeobotany 3, 7–23.
Rivas-Martínez, S., 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
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 (1), 3–13. https://doi.org/10.1177/0959683610388058.
Roberts, C.N., Woodbridge, J., Palmisano, A., Bevan, A., Fyfe, R., Shennan, S., 2019. Mediterranean landscape change during the Holocene: synthesis, comparison and regional trends in population, land cover and climate. The Holocene 2985, 923–937. https://doi.org/10.1177/0959683619826697.
Rogosic, J., Pfister, J.A., Provenza, F.D., Grbesa, D., 2006. Sheep and goat preference for and nutritional value of Mediterranean maquis shrubs. Small Rumin. Res. 64, 169–179. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.017.
Ros, M.T., 1995a. Estudi antracològic de tres jaciments de la vall del Llierca (Garrotxa, Catalunya). L'activitat humana i el medi vegetal des del Neolític Àntic al Bronze Final. In: Ceretans, I.d.E. (Ed.), Xè Col·loqui Internacional d'Arqueologia a Puigcerdà. Cultures i Mèdi de la Prehistòria a l'Edat Mitjana. Homenatge al Professor Jean Guilaine. Puigcerdà, pp. 87–96.
Ros, M.T., 1995b. Anàlisi antracologica. In: Boquer, S., Bosch, J., Cruells, W., Miret, J., Molist, M., Rodón, T. (Eds.), El jaciment de l'Institut de batxillerat Antoni Pous. Un assentament a l'aire lliure de finals del calcolític (Manlleu, Osona). Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura, Barcelona, pp. 145–148.
Ros, M.T., 1996. Datos antracológicos sobre la diversidad paisajística de Catalunya en el Neolítico, I Congrés del neolític a la Península Ibèrica. Rubricatum, Gavà, Museu de Gavà, pp. 43–56.
Ros, M.T., 1998. La vegetació de la Catalunya meridional i territoris propers de la Depressió de l'Ebre, en la Prehistoria recent i Protohistoria, a partir dels estudis antracològics. Gala 3-5, 19–32.
Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Corella, J.P., Trapote, M.C., Montoya, E., Valero-Garcés, B., 2021. A unique Pyrenean varved record provides a detailed reconstruction of Mediterranean vegetation and land-use dynamics over the last three millennia. Quat. Sci. Rev. 268 (15) 107128. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107128.
Schweingruber, F.H., 1990. Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie microscopique du bois. Microscopic wood anatomy. 3rd ed. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf.
Senabre, M.R., Socias, J., 1993. Camí de Santa Maria dels Horts (Vilafrana del Penedès, Alt Penedès). Memòria de l'excavació d'urgència. Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya, Barcelona.
Tarrús, J., Aliaga, S., Chinchilla, J., Mercadal, O., 2016. Ca n'Isach (Palau-saverdera), un poblado neolítico (V-IV milenio a.C.) en la zona dolménica del Alt Empordà, Del neolític a l'edat del bronze en el Mediterrani occidental. Estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver. València: TV SIP 119, 249–256.
Tejedor-Rodríguez, C., Moreno-García, M., Tornero, C., Hoffmann, A., García-Martínez de Lagrán, Í., Arcusa-Magallón, H., Garrido-Pena, R., Royo-Guillén, J.I., Díaz-Navarro, S., Peña-Chocarro, L., Alt, K.W., Rojo-Guerra, M., 2021. Investigating Neolithic caprine husbandry in the Central Pyrenees: insights from a multi-proxy study at Els Trocs cave (Bisaurri, Spain). PLoS One 16 (1), e0244139. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244139.
Uzquiano, P., Allué, E., Antolín, F., Burjachs, F., Picornell, L., Piqué, R., Zapata, L., 2015. All about yew: on the trail of Taxus baccata in southwest Europe by means of integrated palaeobotanical and archaeobotanical studies. Veg. Hist. Archaeobotany 24, 229–247. https://doi.org/10.1007/s00334-014-0475-x.
Vergès, J.M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J.I., Martín-Rodríguez, P., Carrancho, A., Expósito-Barea, I., Guardiola, M., Lozano, M., Marsal, R., Oms, F.X., Euba, I., Rodriguez, A., 2016. El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): a whole perspective. Quat. Int. 414 (1), 236–243. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.01.044.
Vila, S., Piqué, R., 2012. Paisatge vegetal i gestió del combustible a la plana occidental catalana entre el neolític i l'edat mitjana: estat de la qüestió des de l'anàlisi antracològica. Rev. Arqueol. Ponent 22, 9–36.
Woodbridge, J., Roberts, N., Fyfe, R., 2018. Pan-Mediterranean Holocene vegetation and land-cover dynamics from synthesized pollen data 45 (9), 2159–2174. https://doi.org/10.1111/jbi.13379.

Ecological Informatics 74 (2023) 101984

Contents lists available at ScienceDirect

Ecological Informatics

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolinf

Modelling Mediterranean oak palaeolandscapes using the MaxEnt model algorithm: The case of the NE Iberia under the Middle Holocene climatic scenario

Bàrbara Mas [a,b,*], Santiago Riera [a], Ethel Allué [c,d]

[a] Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, Spain
[b] Faculty of Geography and History, Institut d'Arqueologia de la Universitat de Barcelona (IAUB), University of Barcelona, 08001 Barcelona, Spain
[c] Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social (IPHES-CERCA), Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain
[d] Universitat Rovira i Virgili (URV), Departament d'Història i Història de l'Art, Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:
Maximum entropy model
Mediterranean oaks
Anthracology
Neolithic populations
Climate change

ABSTRACT

The Mediterranean Basin is a global biodiversity hotspot, and oak tree species play an important role in it. Since the beginning of the Holocene (~11.4 kyr BP), the distribution of forests has not occurred uniformly, resulting in diverse types of vegetation landscapes. In this study, we used a maximum entropy algorithm (MaxEnt) to obtain the ecological niche model (ENM) of two sub-Mediterranean oak species, *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and *Quercus ilex* subsp. ilex (holm oak), both in the present day in the Iberian Peninsula and within a Middle Holocene (8.2–4.2 kyr BP) climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Moreover, we used the locations of Neolithic archaeological sites containing anthracological data to analyze the relationship between human occupations and oak habitats. Our results suggest that the two oaks have responded differently to the climatic conditions that have occurred, and show changes in both potential distributions. The palaeolandscape vegetation map shows a denser vegetation cover in the lowlands and a more open landscape in the highlands, with a higher dominance of *Quercus pubescens* in the septentrional areas, while *Quercus ilex* was more restricted to certain coastal areas. Temperature and precipitation factors, mainly seasonal climatic conditions, have had a greater impact on the distribution of vegetation than other factors. We found a good overlap between the ENM of the two oaks and the locations of the Neolithic sites analysed, and determined that the distribution of Neolithic archaeological sites is not random. The Neolithic populations in the study area depended heavily on the resources of the deciduous and evergreen sub- Mediterranean forest, although they also exploited the resources of the mountain pine forest. Neolithic sites distribution suggests that Neolithic human groups were aware of the potential of forests and probably gathered woody resources in their surroundings.

1. Introduction

The interaction between human activities and the natural environment has been of key importance in the Mediterranean area for millennia, and has therefore played a major role in shaping modern landscapes and ecosystems. The human impact on forests has occurred through the exploitation of forest resources over the course of millennia (e.g., Allué et al., 2017a, 2018; Allué and Mas, 2020; Coles et al., 1978; Mas et al., 2021; Smith, 1999; Théry-Parisot, 2002; Vidal-Matutano et al., 2017, among others). Wood has unquestionably been a resource of great value to humans, and wood gathering and forest management practices have often been the focus of attention in the literature (e.g., Alcolea et al., 2021; Asouti and Austin, 2005; Dufraisse et al., 2018; Euba et al., 2016; Marinova and Thiebault, 2008; Mas et al., 2022, among others). Despite evidence of forest exploitation since the Palaeolithic, it is widely accepted that the process of Neolithization increased the impact on local landscapes throughout the world (e.g., Banks et al., 2013; Feeser et al., 2019; Fyfe et al., 2019, among others). However, several authors have suggested both chronological and geographical differences in the establishment of Neolithic populations throughout the Mediterranean Basin (e.g., Bernabeu et al., 2018; Gkouma and Karkanas, 2018; Guilaine, 2018, 2019; Leroy et al., 2019; Li et al., 2013; Natali and

* Corresponding author at: Seminari d'Estudis i Recerques Prehistòriques (SERP), Departament d'Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona, C/ Montalegre 6, 08001 Barcelona, Spain.
E-mail address: barbara.mas86@gmail.com (B. Mas).

https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984
Received 21 July 2022; Received in revised form 4 January 2023; Accepted 5 January 2023
Available online 19 January 2023
1574-9541/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

Forgia, 2018; Oms et al., 2016), explained in terms of different environmental adaptation strategies (e.g., Weniger et al., 2019; Weninger et al., 2009) and innovations in farming technologies (e.g., Antolín and Jacomet, 2015; Halstead, 2018).

Archaeological research in the NE Iberian Peninsula has evidenced the establishment of Neolithic populations during the Middle Holocene (8.2 to 4.2 ka BP) (e.g., Oms et al., 2021; Oms and Martín, 2018). Although archaeological data clearly provide a record of farming activities, including husbandry and crop cultivation, they do not offer enough information to assess the impact of human activities on the vegetation cover of the surrounding landscapes during the process of Neolithization. Thus, different palaeobotanical approaches have been applied to determine past plant communities. Data relating to the presence of plant communities come from published pollen records (e.g., Azuara et al., 2020; Carrión et al., 2007; Carrión et al., 2010a, 2010b; Fletcher et al., 2012; Fletcher and Sánchez, 2008; González-Sampériz et al., 2017; González-Sampériz et al., 2020; Iriarte-Chiapusso et al., 2016; Jalut et al., 2000, 2009; Leunda et al., 2020; Pérez-Obiol et al., 2011; Revelles, 2017; Revelles et al., 2022; Riera et al., 2007; Riera and Esteban, 1994; among others) and charcoal sequences (e.g., 2021; Allué et al., 2009; Allué and Mas, 2020; Mas et al., 2022; Piqué et al., 2018; Ros, 1998; Ros and Vernet, 1987; Uzquiano, 2018, among others). These have served as the primary sources of reference in research of this type. Pollen records provide palaeoecological data on a large geographical scale, whereas anthracological records have more local significance (e.g., Asouti and Kabukcu, 2021; Chabal, 1992, 1997; Chabal et al., 1999; Kabukcu, 2018; Kabukcu and Chabal, 2021). Some palaeobotanical researchers suggest that it is not possible to propose a single palaeoecological model of the Holocene for the NE Iberian Peninsula (e.g., Allué et al., 2009, 2017b; Burjachs and Riera, 1996; Carrión et al., 2010a; Piqué et al., 2021; Revelles et al., 2022; Riera and Esteban, 1994). Indeed, palaeobotanical data indicate the existence of a highly heterogeneous landscape. For example, anthracological sequences from the NE Iberian Peninsula have shown that deciduous oak woodland was clearly present during the Neolithic period (e.g., Allué et al., 2009; Mas et al., 2022; Mas and Allué, 2020; Piqué, 2005; Ros, 1995, 1996). However, deciduous oak woodlands were widespread in conjunction with sclerophyllous taxa, indicating mixed oak forests (deciduous and evergreen oaks) in some geographical locations (e.g., Allué et al., 2009, 2017b; Antolín et al., 2013; Daura et al., 2019; Martín and Piqué, 2008; Piqué, 2005; Ros, 1996; Senabre and Socias, 1993). Unfortunately, the distribution patterns of past forest formations are uncertain (e.g., Chabal and Heinz, 2021), indicating the need to expand upon our understanding of the ecological, geographical and human factors that influence species distribution.

Recently, several studies based on ecological niche models (ENMs), habitat suitability models (HSMs), and species distribution models (SDMs) have been used to explain current, past and future habitats suitable for different species (Dormann, 2007; Elith et al., 2011; Guisan and Thuiller, 2005; Sillero et al., 2021, 2023). The data most often used in ENMs are georeferenced species distribution records combined with geospatial datasets (raster maps) representing environmental and geographic parameters that may affect the occurrence of species. The ENM is an empirical approximation for evaluating the species-environment equilibrium, which can estimate the environmental predictors that influenced the expected distribution of species and how they did so (e.g., Bradie and Leung, 2017; Elith et al., 2006; Guisan et al., 2017; Sillero et al., 2021). The use of ENM is widespread in ecology research in several fields of interest, such as forest management (Jafarov et al., 2021; Sun et al., 2021; Vessella and Schirone, 2013) and studies of invasive species expansion (Carboni et al., 2018; MacDougall et al., 2009), the impacts of climate change (Boonman et al., 2020; Moor et al., 2015; O'Donnell et al., 2012; Santini et al., 2021), and local refugia (Roces-Díaz et al., 2018; Wolf et al., 2021), among others.

This study represents a first approach based on maximum entropy (MaxEnt) to examine current and past suitable habitats for sub-Mediterranean oak woodlands, including the deciduous *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and the evergreen *Quercus ilex* subsp. *ilex* (holm oak). The ENMs of the two oak species under current environmental conditions were generated within the region of the Iberian Peninsula, while the ENMs generated under the climatic scenario of the Middle Holocene were projected to the NE Iberian Peninsula. Therefore, we analysed the location of Neolithic settlements in relation to the predicted suitability habitats. Our aims were 1) to determine the factors which most influence the current distribution of both oak species in the Iberian Peninsula, 2) to map the realised ecological niches of both oak species under a Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and 3) to evaluate the results using the Neolithic settlement locations which provided the anthracological data.

2. Study areas

We applied the current ENMs to the Iberian Peninsula, a region located in the western Mediterranean Basin (SW Europe) and geographically isolated from Europe by the Pyrenees. The Pyrenees are a mountainous region at the confluence of the Mediterranean and Central Europe. Thus, these mountains form a geographic barrier, which contributes to the isolation of the Iberian Peninsula. The elevations in the region vary widely, from valleys below 200 m a.s.l. to summits of 3404 m a.s.l. (Mount Aneto). The Pyrenees have a continental climate with great differences in temperature between the northern and southern slopes and the interior (Carreras and Ferré, 2014), which is explained by the orographic effect and the influence of the Atlantic Ocean. To define the modelling background area, we used the limits of the two main biogeographical regions (Eurosiberian region and Mediterranean region) as they work as closed systems, as recommended by Sillero et al. (2009). The Iberian Peninsula is distinguished by a great deal of orographic diversity, with an irregular elevation range extending from sea level to $\geq$3000 m a.s.l. This also results in a pronounced climatic gradient from the rainiest and coldest areas in the north and northwest (Eurosiberian region) to the driest and warmest areas in the south and southeast (Mediterranean region) (Fig. 1A). Mean annual precipitation can vary widely, ranging from 1800 mm to 215 mm (Fig. 1B), and mean annual temperatures can range from −3.1 °C in high elevation areas to temperatures exceeding 18 °C (Fig. 1C) (AEMet, 2021).

We tested our model under the Middle Holocene climatic scenario in the background area of the NE Iberian Peninsula. The NE Iberian Peninsula is also characterised by climatic and orographic diversity. Notable geographical features include the coastal (*litoral*) and pre-coastal (*prelitoral*) mountain ranges, which act as a barrier to the humid air masses of the Mediterranean Sea. Consequently, the two mountain ranges prevent more humid air from penetrating into inland areas. Mean annual temperature varies markedly from the coast to the mountainous areas, ranging from 18 °C to 1 °C, respectively (Meteocat data from 2021). Elevation is a relevant modifier of climatic conditions, especially precipitation, which tends to be more abundant and regular in mountainous areas. Thus, mean annual rainfall varies from 250 mm to 1450 mm (Meteocat data from 2021). The Eurosiberian and Mediterranean regions influence the NE Iberian Peninsula, determining different biogeographical stages or vegetation series (Carreras and Ferré, 2014; Rivas-Martínez, 1987) and ecoregions (Dinerstein et al., 2017; Olson et al., 2001).

3. Materials and methods

3.1. Occurrence data

We created an ENM of two tree species that are dominant in some Mediterranean landscapes: *Quercus pubescens* Willd. (pubescent oak) and *Quercus ilex* subsp. *ilex* (holm oak). The two oak species have different ecological and environmental requirements (Table 1). The holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) is native to the central-western Mediterranean

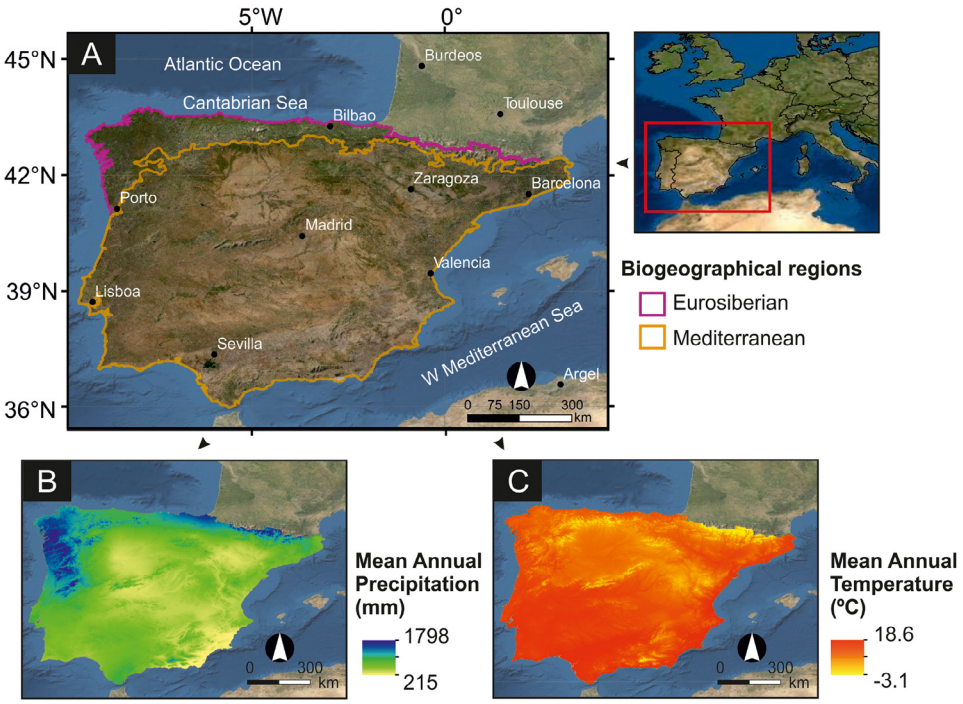


Fig. 1. A) Location map of the study area and biogeographical regions; B) Mean annual precipitation and C) Mean annual temperature maps of the Iberian Peninsula.

Table 1
Environmental features of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) and pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.). The ecological and environmental requirements of both tree species were gathered from specialized vegetation atlases (Serrada et al., 2008).

	Quercus ilex subsp. *ilex*	*Quercus pubescens* Willd.
Temperature (C°)		
Average Annual Temperature	10–18	5–15
Average Temperature in coldest month	>10	-3 - 7
Average Temperature in warmest month	< 25	15–25
Pluviometry (mm)		
Mean Annual Rainfall	>500	600
Average Rainfall during summer	>150	150
Geographical distribution		
Bioclimate (Rivas-Martínez, 1987)	meso-Mediterranean	supra-Mediterranean, Montane
Altitude range (m.a.s.l.)	0–1.000	(0) 200–1.600
Climate	Drier conditions	Temperate conditions

Basin and is a dominant evergreen sclerophyllous species, mainly integrated with Mediterranean pines and mesic shrubs in open and disturbed areas in some locations of the western Mediterranean (Reille and Pons, 1992; Terradas, 1997). It grows in the Atlantic valleys of the Eurosiberian region and in coastal areas with a temperate and mildly humid Mediterranean climate conditions, mainly from the Cantabrian region to the NE Iberian Peninsula. The subspecies *rotundifolia* (*ballota*) is distinguished from subsp. *ilex* by the fact that it grows in the innermost areas of regions with drier and warmer Mediterranean climate conditions (Castroviejo et al., 1990: 20), and its hybridisation with *Quercus coccifera* is recurrent (Castroviejo et al., 1990: 35). The pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) is frequently hybridised with other sympatric eciduous oaks (*Q. faginea*, *Q. petraea*, *Q. humilis* or *Q. pyrenaica*) San-Miguel-Ayanz et al., 2016) and represents the predominant tree species in the large temperate forests of southern Europe. The pubescent oak is a thermophilous and sub-Mediterranean species primarily found in the NE Iberian Peninsula (Fig. 2).

Occurrence data refers to sets of coordinates (X-Y) where species have been observed. We used the location points from the GBIF-Global Biodiversity Information Facility (https://www.gbif.org/) online database to obtain the coordinates of the two oak species in the Iberian Peninsula. The database indicated a total of 3308 occurrences of *Quercus ilex* subsp. *ilex* and 6739 of *Quercus pubescens* Willd. Based on the work of Hijmans (2012), in order to reduce the potential location biases in the species records, we applied filters to narrow the datasets, such as removing the occurrences of *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*, and deleting duplicates and outliers using R and ArcGis programs. The ocurrences of the two oak species were standarized in 10 km grids as a way to obtain a homogeneous sample for use in modelling. In total, 298 locations were selected for *Quercus pubescens* Willd. and 288 for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (Fig. 3).

3.2. Selecting variables

To generate the ENM of the two oak species, we used current bioclimatic variables (raster maps) from the Worldclim.org project (Fick and Hijmans, 2017). From the 19 bioclimatic variables available, we excluded the variables bio3 'Isothermality (bio2/bio7) (x100)', bio14 'Precipitation of wettest month' and bio15 'Precipitation seasonality (Coefficient of variation)' as they are biased when projected to past climate scenarios (Bedia et al., 2013). Furthermore, we generated three geographic variables (elevation, slope and aspect) from a DEM (digital elevation model) of the Iberian Peninsula using the ArcGis program. To calculate the aspect variable, we followed that described in Sillero et al. (2021), who recommend using radians. All of these variables were in GeoTIFF format with 1 km^2 resolution (30 s). They were then transformed into ASCII files so that they could be worked on in MaxEnt.

The correlation between the set of variables was measured using

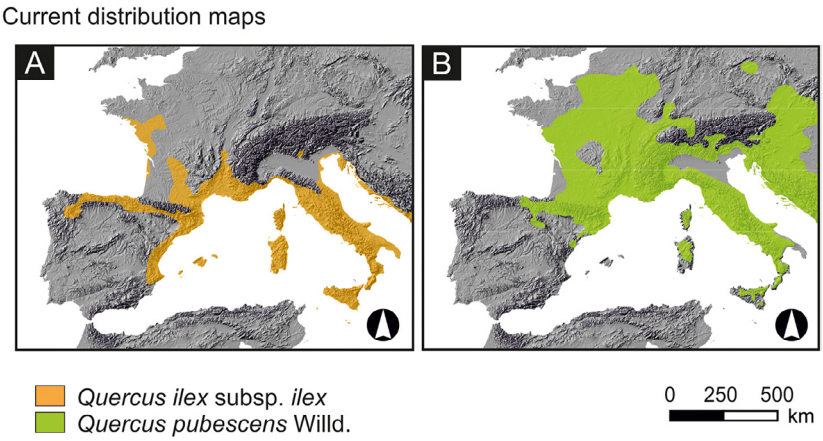


Fig. 2. Current distribution map of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. in the western Mediterranean (Caudullo et al., 2017).

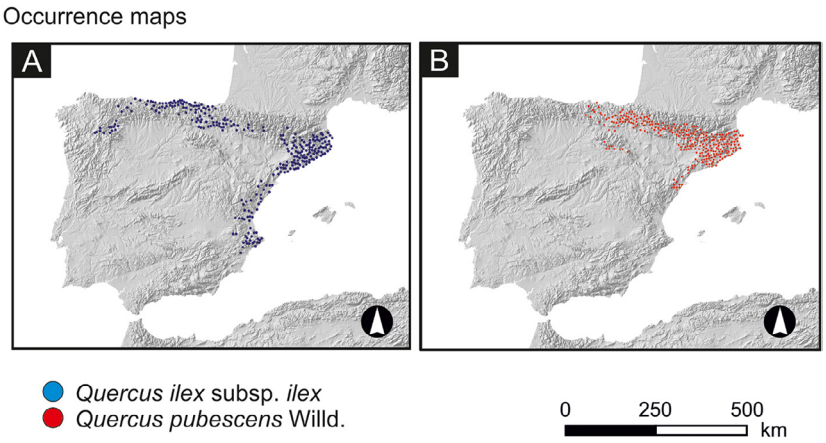


Fig. 3. Current observations of A) *Quercus ilex* subsp. *ilex* and B) *Quercus pubescens* Willd. used by MaxEnt ENMs.

parametric (Pearson) and non-parametric (Kendall and Spearman) coefficients (Field et al., 2012) (see Supplementary Material 1A). Then, we used the variance inflation factor (VIF) to measure the multicollinearity or non-independence of each variable with a combination of all the other variables in the model together (Sillero et al., 2021) (see Supplementary Material 1B). Furthermore, we selected the variables that were least correlated with one another and with the VIF value below as 3 (Bedia et al., 2013; Braunisch et al., 2013; Merow et al., 2013; Sillero et al., 2021). We also selected the six variables with least correlation among them: 1) bio4, 'Temperature seasonality', indicates the amount of temperature variation over a given year based on the standard deviation *100 of monthly temperature averages (degrees Celsius); 2) bio8, 'Mean temperature of wettest quarter', is a quarterly index of mean temperatures that occur during the wettest season (degrees Celsius); 3) bio9, 'Mean temperature of driest quarter', is a quarterly index that approximates the mean temperatures that occur during the driest quarter (degrees Celsius); 4) bio13, 'Precipitation of wettest month', is the index that identifies the total precipitation that occurs during the wettest month (millimetres); 5) bio19, 'Precipitation of coldest quarter', is a quarterly index that indicates the total precipitation that occurs during the coldest quarter (millimetres); and 6) 'Slope' in % values of the Iberian Peninsula (see Supplementary Material 1C). Finally, we used clamping maps of MaxEnt to project the same set of environmental variables used to perform the current models but expressing other time frame (Middle Holocene) and also different range of values. To do this, we downloaded the bioclimatic variables for the Middle Holocene climatic scenario from the CCSM4 set (National Center for Atmospheric Research, USA) from Worldclim.org (Fick and Hijmans, 2017). This datafile is the most accurate set for the Mediterranean region (sensu McSweeney et al., 2015).

3.3. Running the ENM and evaluating accuracy and importance values

To calculate both ENMs, we used MaxEnt v.3.4.4. free software with the high-performing machine-learning algorithm Maximum Entropy (MaxEnt) (Phillips et al., 2006). MaxEnt compares the conditions of the background with the conditions of species presences using the localities of the occurrence (X and Y coordinates = by observed sample) of the sample species (Dudík et al., 2007; Guillera-Arroita et al., 2015; Phillips et al., 2006, 2009, 2017; Phillips and Dudík, 2008). MaxEnt estimates the range of species with the constraint of the expected value of each pixel. The algorithm weights each variable by means of a constant and estimates the probability distribution by exponentiating the sum of the weighted variables. This probability distribution is then divided by a scaling constant to ensure that the probability values range from 0.0 to 1 (Phillips et al., 2006). We ran 10 replicates of both ENMs using 500 maximum iterations with the subsample run type and a 30 random test percentage. The MaxEnt model's output was analysed, and the

contribution and permutation importance of each variable used to develop the model (Pearson et al., 2007; Warren and Seifert, 2011) were calculated using the jackknife test (n−1) (Cameron, 2014), included in the MaxEnt software. Then, the probabilistic binomial threshold test with clog-log function was applied to estimate the probability of species presence (Phillips et al., 2017). Finally, using clamping maps of MaxEnt, we projected both models under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Then, we reclassified the predicted suitability values of each pixel (0 to 1) of both projected models. We considered 0 as not suitability distributions, suitability distributions below 0.28 as the lowest probability of species occurrence, between 0.28 and 0.70 as moderately suitable, and over 0.70 as most suitable.

Many techniques have recently been developed for statistically evaluating species distribution models (e.g., Elith et al., 2006, 2011; Hijmans, 2012; Sillero et al., 2021, 2023). We used a variety of methods to evaluate and compare the results of our MaxEnt models. Firstly, the accuracy of both current ENMs was evaluated using the ROC curve and the AUC value (Lobo et al., 2008; Peterson et al., 2008; Phillips et al., 2006), both of which are included in MaxEnt. Moreover, we used the marginal response curves of MaxEnt to view how the habitat suitability varies as each environmental variable is changed while keeping all other environmental variables at their average value. Finally, based on that described in Sillero et al. (2021), we calculated 100 null models to compare the evaluation metrics (AUC value) between our real models and null models using *t*-test (one-way ANOVA test if variables were parametric and Kruskal Wallis test if variables were non-parametric) (Field et al., 2012). This is necessary because in presence-background methods, the metrics are relative and not absolute (absences are not available) (Bohl et al., 2019).

3.4. Middle Holocene anthracological data available for the NE Iberian Peninsula

We analysed anthracological data from Neolithic sites in the NE Iberian Peninsula to explore any possible associations between the location of archaeological sites and the potential distribution of the two oak species in a Middle Holocene climate scenario. The establishment of Neolithic cultural phases in the study area during the Middle Holocene (8.2 to 4.2 ka BP) has been extensively analysed (e.g., Martín et al., 2010; Oms et al., 2016; Oms and Martín, 2018, among others), but anthracological studies are currently scarce (Mas et al., 2022; Revelles et al., 2022). Given the diverse topographical characteristics of the study area, the anthracological data were taken from several geographical locations in order to provide a broader palaeolandscape analysis (Supplementary Material 2A). We revised all the available anthracological data, and two main criteria were used to select the sites. To avoid statistical bias, we only included sites that had >30 identified charcoal fragments, and we selected the layer from each site that had the highest number of identified taxa. The anthracological data included in this work came from 23 sites, both in rock shelters/caves and in the open air, stemming from 27 archaeological layers (Table 2) (Supplementary Material 2B).

It is important to mention that a continuous sequence of human occupation throughout the Neolithic period has not been documented in any of the archaeological sites discussed here, although Cova Colomera (Mas et al., 2022), Bauma del Serrat del Pont (Piqué, 2005), Cova 120 (Piqué, 2005; Ros, 1995) and Cova de la Guineu (Allué et al., 2009) have the most complete anthracological sequences of the Middle Holocene sub-epoch.

Some taxonomic categories of species used in anthracological studies conducted in the 1990s are currently no longer in use (Heinz and Vernet, 1995; Ros, 1996, 1998), and these have been updated. For example, *Crataegus* sp., *Amelanchier ovalis*, *Sorbus* sp. and *Malus sylvestris* are classified as Rosaceae-Maloideae, as most of the time this is the most common taxon identification level. To unify nomenclature, taxa of the same families were included in a genus "sp." or regrouped "/". In accordance with Schweingruber (1990), some anatomical features are difficult to identify, and species-level taxonomy of some genera is not always achieved (*Acer* sp., *Fraxinus* sp., *Prunus* sp., *Ulmus* sp., *Populus/Salix* or *Rhamnus alaternus/Phillyrea*). *Quercus* hybridisations make it difficult to identify them at the species level using anatomical features. Thus, Mediterranean oaks are often grouped into two categories: *Quercus* sp. evergreen (including *Quercus ilex/coccifera*) (Uzquiano et al., 2016) and *Quercus* sp. deciduous (including *Quercus faginea, Q. pubescens,* and *Q. pyrenaica*). Finally, *Pinus sylvestris*-type includes *Pinus sylvestris*, *P. nigra* and *P. uncinata*. *Pinus uncinata* has only been identified at

Table 2
Archaeological sites included in this paper.

Archaeological period	Site	Aspect	m a.s.l.	Vegetation stages	Layer	Reference
Early Neolithic	Barranc d'en Fabra	Open air	100	Termo-Mediterranean	–	Ros, 1996
	La Serreta	Open air	123	Meso-Mediterranean	E61	Allué, 2010
	La Draga	Open air	178	Meso-Mediterranean	Sector A	Piqué, 2005
	Cova d'en Pau	Cave	187	Meso-Mediterranean	III	Ros, 1996; Piqué, 2005
	Plansallosa	Open air	273	Supra-Mediterranean	II	Ros, 1995; Piqué, 2005
	Bauma del Serrat Pont	Rock shelter	300	Meso-Mediterranean	III.4	Piqué, 2005
	Cova Bonica	Cave	402	Meso-Mediterranean	IV2	Daura et al., 2019
	Can Sadurní	Cave	420	Meso-Mediterranean	18	Antolín et al., 2013
	Cova de l'Avellaner	Cave	430	Montane	–	Ros, 1996
	Cova 120	Cave	460	Meso-Mediterranean	III	Piqué, 2005
	Cova Colomera	Cave	670	Meso-Mediterranean	CE14	Mas et al., 2022
	Cova de la Guineu	Cave	734	Meso-Mediterranean	Ie	Allué et al., 2009
	Cova del Toll	Cave	745	Montane	C5, C4, C3	Mas and Allué, 2020
	Cova del Frare	Cave	942	Meso-Mediterranean	C6	Ros, 1996
	Balma Margineda	Rock shelter	970	Sub-Alpine	C3b	Heinz and Vernet, 1995
	Cova del Vidre	Cave	1100	Supra-Mediterranean	2 central	Alcolea, 2017
	Camp del Colomer	Open air	1385	Sub-Alpine	FS29	Piqué et al., 2015
	Coves del Fem	Cave	530	Supra-Mediterranean	UE 104	Alcolea, 2017
Late Neolithic	Roques del Sarró	Open air	196	Meso-Mediterranean	–	Vila and Piqué, 2012
	Santa Maria dels Horts	Open air	215	Meso-Mediterranean	–	Senabre and Socias, 1993
	Bauma del Serrat Pont	Rock shelter	300	Meso-Mediterranean	III.3	Piqué, 2005
	Cova Gran de Santa Linya	Rock shelter	385	Meso-Mediterranean	Fumier 3Nb	Allué, unpublished
	Auvelles	Rock shelter	417	Meso-Mediterranean	–	Martín and Piqué, 2008
	La Prunera	Open air	458	Montane	–	Piqué, 2005
	Cova 120	Cave	460	Meso-Mediterranean	II	Ros, 1995; Piqué, 2005
	Cova Colomera	Cave	670	Meso-Mediterranean	CE9	Mas et al., 2022
	Cova de la Guineu	Cave	734	Meso-Mediterranean	Id	Allué et al., 2009

the site of Balma Margineda (Heinz and Vernet, 1995) and is included in the *Pinus sylvestris*-type category.

The classification of Neolithic sites was based on the frequencies of the woody taxa (plant association) using a cluster analysis with the Manhattan distance (Supplementary Material 2C). This, in turn, allowed us to gain a deeper insight into the dynamics of landscape transformation during the Neolithic period.

4. Results

4.1. Accuracy of the two oak ENMs and current suitable distributions

The average training AUC value for the 10 replicated runs and 500 iterations of *Quercus ilex* subsp. *ilex* was 0.9261 and the average test AUC 0.9168. For *Quercus pubescens* Willd., these values were 0.932 and 0.9281, respectively. According to Phillips et al. (2006), these AUC results are very close to the value of 1, so the maximum entropy algorithm provided a valid estimation for both oak ENMs. These results indicate that both MaxEnt models were successfully performed and demonstrated high accuracy (Fig. 4).

The AUC values of the 100 null models and our empirical models were not normally distributed (Saphiro-Wilk p = value 6.952e-16 and *p*-value = 4.026e-15, respectively) and there was no equality between groups (Kruskal-wallis p-value = 2.383e-13).

4.2. Important variables and response curves

Table 3 shows the percentage contribution and the permutation importance results for the current environmental and geographical variables that affect the geographical distribution of both oak species, according to the threshold test.

The variables 'Temperature seasonality' (bio4), 'Mean temperature of driest quarter' (bio9) and 'Precipitation of wettest month' (bio13) obtained a total percent contribution of 82.50% for *Quercus pubescens*. This result indicates that these three variables contain more information that other variables do, and that they contribute more information to the model of *Quercus pubescens*. Thus, the main factors that affected the pubescent oak ENM were the temperature factors bio4 and bio9, and the precipitation factor bio13. The geographical variable 'Slope' contributed only 4.6% to the model.

In addition, the variables 'Temperature seasonality' (sd*100) (bio4), 'Mean temperature of wettest quarter' (bio8), 'Precipitation of wettest month' (bio13) and 'Precipitation of coldest quarter' (bio19) had the highest contribution values for the *Quercus ilex* subsp. *ilex*., yielding a total percent contribution of 94%. The geographical variable 'Slope' had lowest contribution value (1.3). For instance, the main factors affecting the distribution of the current potentially suitable habitat for holm oak were temperature factors (bio4 and bio8) and precipitation factors (bio13 and bio19).

The response curves in Fig. 5 demonstrate how the two oak species responded to the six variables. The variables bio4 and bio13 were found to be significant contributors to both models. The results showed that the most ideal range for bio4 and bio13 was higher for *Quercus pubescens* than for *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

4.3. Vegetation formation types according to the anthracological data

The cluster plots (Fig. 6) show the anthracological association and the configuration of five types of landscape or vegetation scenarios during the Middle Holocene.

In the first group (Fig. 6 in red), the anthracological data documented in the Early-Middle Neolithic layers (7.5 to 5.6 cal ka BP) of Cova Colomera (Mas et al., 2022), Cova del Toll (Mas and Allué, 2020), Cova de l'Avellaner (Ros, 1996), Bauma del Serrat del Pont (III.4) (Piqué, 2005), Cova de la Guineu (Allué et al., 2009), Can Sadurní (Antolín et al., 2013), Cova d'en Pau III, Plansallosa, La Draga and Cova del Frare (Piqué, 2005; Ros, 1995, 1996) indicate a landscape dominated by deciduous oak (20–71%) together with sub-Mediterranean mesophilous taxa, mainly *Buxus sempervirens* and *Acer* sp. Conversely, *Pinus sylvestris* type, *Taxus baccata*, evergreen oaks (*Quercus ilex/coccifera*) (<23%) and Mediterranean trees and shrubs yielded very low values (see Supplementary Material 2B). The frequency values of deciduous oak, boxwood (*Buxus sempervirens*) and maple (*Acer* sp.) are similar among the sites. However, some differences can be observed, especially in the values of conifers such as the yew (*Taxus baccata*) and mountain pines (*Pinus sylvestris*-type). Moreover, boxwood was not documented in either Can Sadurní or Cova de la Guineu. The anthracological data from the Late Neolithic layers (5.6 to 4.2 cal ka BP) of La Prunera and Bauma del Serrat Pont (III.3) (Piqué, 2005), Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished) and Cova Colomera (Mas et al., 2022) show a a plant community that is very similar in composition to the Early-Middle Neolithic first group (see Supplementary Material 2C).

The second group (Fig. 6 in ochre) consists of the Early-Middle Neolithic anthracological data from Cova 120 (III) (Piqué, 2005) and Cova Bonica (Daura et al., 2019), and the Late Neolithic anthracological data from Cova de la Guineu (Ic) (Allué et al., 2009), Auvelles (Martín and Piqué, 2008) and Santa Maria dels Horts (Senabre and Socias, 1993). This Early-Middle Neolithic group indicates a mixed oak forest formation (deciduous and evergreen oaks) with montane pines (*Pinus sylvestris* type), Mediterranean pines (*Pinus halepensis/pinaster*) and *Juniperus* sp., and a marked presence of sclerophyllous and sub-Mediterranean shrubby vegetation, such as the strawberry tree (*Arbutus unedo*), and evergreen buckthorn (*Rhamnus alaternus/Phillyrea*). This second group seems to have a more open vegetation cover than that determined for the first group.

The third group (Fig. 6 in green) includes the Early-Middle Neolithic

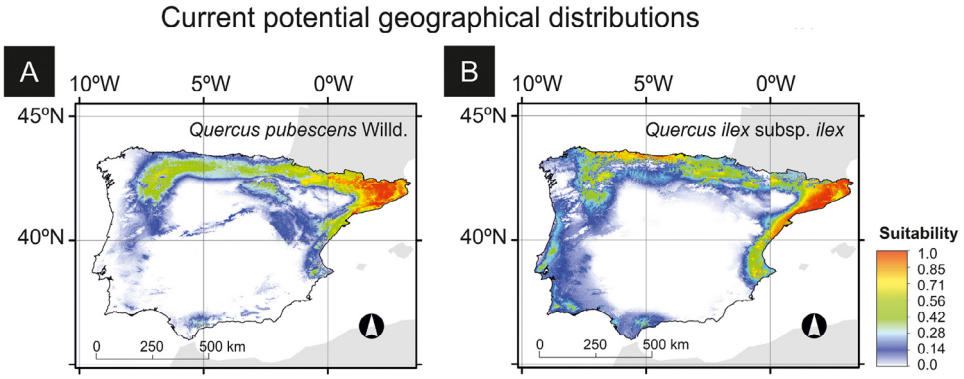


Fig. 4. Distribution maps of current suitable habitats of A) *Quercus pubescens* Willd. and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

Table 3
The values show averages of 10 replicate runs, estimating the relative contributions of the environmental and territorial variables to the MaxEnt model. The percentage contribution determines the jackknife; in each iteration of the training algorithm, the increase in regularized gain is added to the contribution of the corresponding variable. Permutation importance shows the values of that variable on training presence, and background data are randomly permuted. The model is reevaluated on the permuted data, and the resulting drop in training AUC is shown, normalized to percentages.

		Quercus pubescens Willd.		*Quercus ilex* subsp. *ilex*	
Variable	Description	Percent contribution	Permutation importance	Percent contribution	Permutation importance
Temperature factors					
bio4	Temperature seasonality	30.4	13.8	41.9	39.5
bio8	Mean temperature of wettest quarter	9.5	12.2	24.8	13.8
bio9	Mean temperature of driest quarter	33.8	22.1	4.7	10.4
Precipitation factors					
bio13	Precipitation of wettest month	18.3	45.6	14.1	21.1
bio19	Precipitation of coldest quarter	3.4	5.8	13.2	13.7
Geographical factors					
Slope	In degrees	4.6	0.4	1.3	1.5

layers of La Serreta (Allué, 2010) and Barranc d'en Fabra (Ros, 1996), and the Late Neolithic layer of Cova Gran de Santa Linya (Allué, unpublished) (Fig. 6 in turquoise). The anthracological assemblage for the Early-Middle Neolithic points to a less mixed oak forest formation (deciduous and evergreen oaks), and an increased presence of shrubby vegetation. Thus, thermophilous shrubby taxa such as lentisk (*Pistacia lentiscus*) olive (*Olea europea*) and evergreen oaks are more abundant than mesophilous taxa. The Late Neolithic layer of Cova Gran de Santa Linya has many similarities with group 1, even though boxwood is less present. It has therefore been separated from the cluster.

The fourth and fifth groups from the Early-Middle Neolithic (see Fig. 6 in blue and purple, respectively) include Camp del Colomer (Piqué et al., 2015) and Cova del Vidre (Alcolea, 2017) (group 4), and Coves del Fem (Alcolea, 2017) and Balma Margineda (Heinz and Vernet, 1995) (group 5). Likewise, the Late Neolithic site of Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2012) appears as an outlier, with high frequencies of maquis formations, with species such as *Pistacia lentiscus* (67.6%). The anthracological data of the fourth group indicate high frequencies of conifers, mainly montane pines (*Pinus sylvestris*-type), the most representative taxon in the assemblage. In addition, values for deciduous oaks and yew (*Taxus baccata*) are higher than for evergreen oaks. The other woody taxa are present in low relative frequencies. The anthracological assemblage for the fifth group shows high values for montane pines and low values for deciduous oaks.

4.4. Suitable distribution maps of the two oak species based on the Middle Holocene climatic scenario (8.200 to 4.2 ka BP) and site location

The two distribution maps of suitable habitats for the two species studied are attached in ASCCI format (Supplementary Material 3). Fig. 7 shows the locations of Early-Middle Neolithic archaeological sites and suitable distributions for both oaks. The sites located in the north-eastern inland area, including La Draga, Cova d'en Pau, Bauma del Serrat Pont, Plansallosa and Cova de l'Avellaner (group 1), and Cova 120 (group 2) are within habitats poorly-moderately suited to *Quercus pubescens* and unsuitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (Table 4). Nevertheless, La Draga and Cova d'en Pau are located near a moderately suitable habitat for *Quercus pubescens*, as well as near a poorly suitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

The sites located in coastal and pre-coastal areas, including Cova del Frare, Can Sadurní and Cova de la Guineu (group 1), Cova Bonica (group 2), and La Serreta and Barranc d'en Fabra (group 3) are in areas with a moderate to high suitability for *Quercus pubescens*, and near areas with a low to moderate suitability for *Quercus ilex* subsp. *ilex* (see Table 4). Near these sites, Cova del Toll (group 1) is in an area moderately suitable for *Quercus pubescens* but unsuitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Moreover, the inland locations of Cova Colomera (group 1), Camp del Colomer and Cova del Vidre (group 4), and Coves del Fem and Balma Margineda (group 5) are in an unsuitable area for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Nevertheless, Cova Colomera, Coves del Fem and Cova del Vidre are within habitats poorly-moderately suited to *Quercus pubescens*, although Camp del Colomer and Balma Margineda are in an area where the species does not occur.

The Late Neolithic sites are shown in Fig. 8, along with the habitat suitability distributions for *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Group 1, including Cova 120, Bauma del Serrat Pont, La Prunera and Cova Colomera, and group 3, including Cova Gran de Santa Linya are in the least-moderately suitable habitat for *Quercus pubescens* and in an unsuitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Moreover, different trends can be observed in group 2. Auvelles is in unsuitable areas for both species, unlike the sites located in the coastal and pre-coastal areas, such as Cova de la Guineu and Santa Maria dels Horts, which are located within de moderately suitable habitats for both oak species (see Table 4). Finally, Roques del Sarró (group 4) are in unsuitable habitats.

5. Discussion

5.1. Physical-environmental factors and current suitable habitats for oak woodlands in the NE Iberian Peninsula

MaxEnt models have emerged as a promising tool for predicting suitable habitats and estimating the ecological niches of the species in a given geographical area (Dudík et al., 2007; Elith et al., 2011; Merow et al., 2013; Peterson et al., 2015). We applied this approach to gain an understanding of how forest oak ecosystems respond to climatic factors and geographical features in the Iberian Peninsula. As important components of forests distributed in the western Mediterranean region, the two oak species analysed are of special interest in evaluating plant-environment interactions (Moreno-Fernández et al., 2021). Our results demonstrate a significant contribution of temperature and precipitation seasonality factors in both MaxEnt models. Thus, our results suggest that the temperature factor 'Temperature seasonality' (bio4) and the factor 'Precipitation of the wettest month' (bio13) are more influential to the occurrence of both oak species in the Iberian Peninsula. The marginal response curves in bio4 seem to be different for both oak species, as *Quercus pubescens* responds to highest values of temperature seasonality than *Quercus ilex* subsp. *ilex*. However, the responses of both species seem to be similar in bio13, although *Quercus pubescens* responds to highest values than *Quercus ilex* subsp. *ilex*. 'Mean temperature of driest quarter' (bio9) also contributed significantly to the ENM of *Quercus pubescens*, whereas 'Mean temperature of wettest quarter' (bio8) and 'Precipitation of coldest quarter' (bio19) contributed significantly to the ENM of *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

The Mediterranean climate regime is notably characterised by a water deficit during the summer drought season. Interactions between drought and plant communities have been intensively debated (e.g., Carrión et al., 2010b; Maestre et al., 2005). Several studies on drought stress response patterns suggest a higher drought tolerance in evergreen

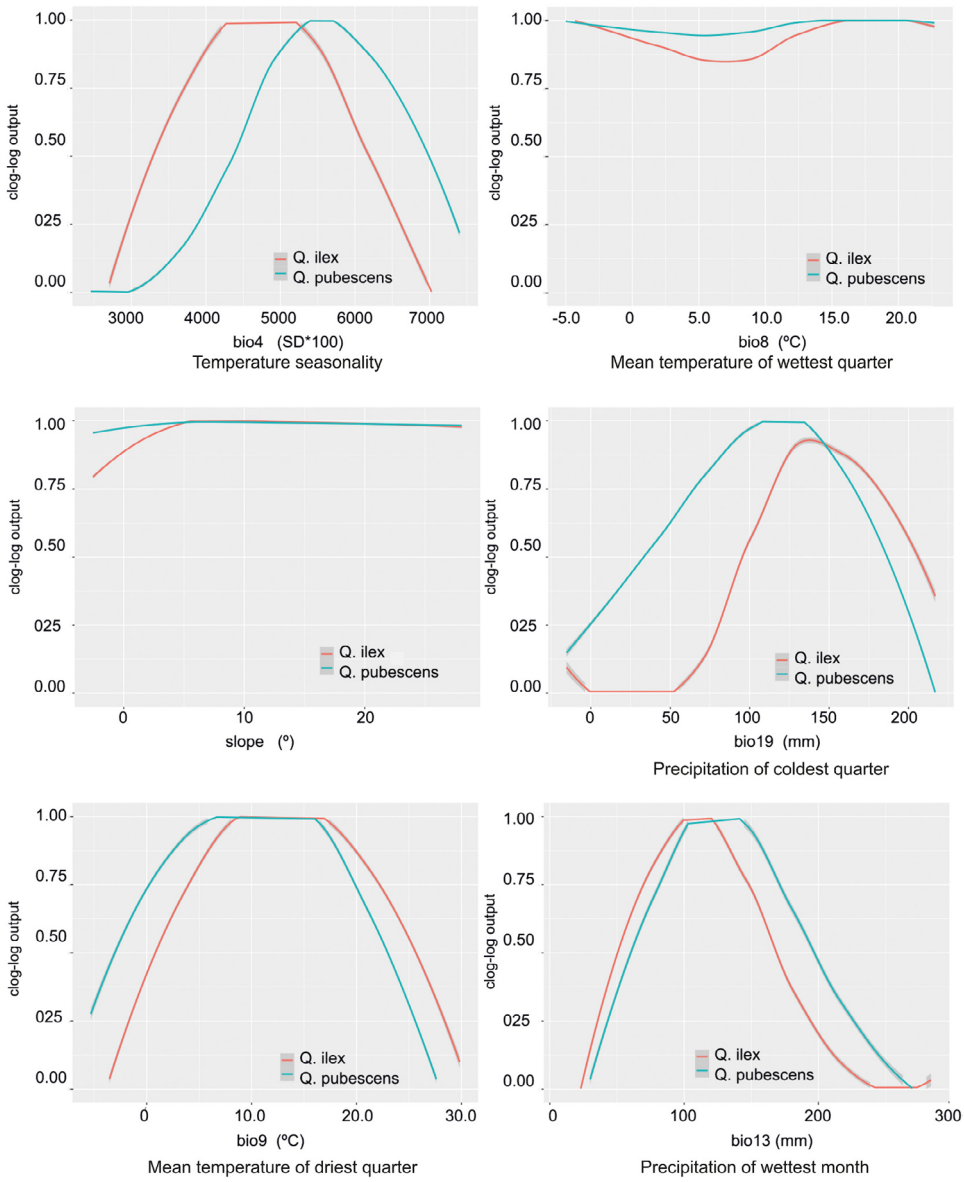


Fig. 5. Marginal response curve plots of the environmental variables used in MaxEnt related to *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The x-axis reflects the variation in value of the variable, and the y-axis reflects the probability of the species occurring in the study area.

than in deciduous oak species (e.g., Damesin et al., 1998; Mediavilla and Escudero, 2004; Vaz et al., 2010). Früchtenicht et al. (2018) suggested that the good performance of the two Mediterranean oak species during drought seasons could be a consequence of a better water supply achieved through a deeper root system. Furthermore, Madritsch et al. (2019) pointed out that there are individual-specific mechanisms that explain the differences in drought tolerance between evergreen and deciduous oak species, such as differences in specialized genes and proteins.

Quercus ilex has thin, deep, vertical roots, and water absorption depends mainly on the local precipitation regime (Baquedano and Castillo, 2007) as the species requires well-drained soils. This root mechanism, which reflects the probability of undergoing greater water stress in wet or rainy areas (Gea-Izquierdo et al., 2009), could explain the result obtained for the variable 'Precipitation during the wettest month' (bio13) (see Table 3). Thus, the high-water flow in the roots of *Quercus ilex*, especially in the dry season, may be one of the reasons for the high water requirements of the species. This may explain why the species does not occur in areas where water availability is low in the dry season. *Quercus pubescens* has a different strategy for its root system, which is mainly used for shallow water uptake and is relatively active in shallow soil layers, so it primarily depends on the kind of soil and slope conditions (Di Iorio et al., 2005) and is more efficient in water absorption at higher elevations. Furthermore, higher elevations could be related to cold conditions, as can be demonstrated by the high contribution for cold conditions (bio9). The slope variable does not contribute much to the ENM of *Quercus pubescens* and holds little importance, though elevation range was the most influential geographical variable for explaining the occurrence of the species.

The Iberian Peninsula is a region that has a wide range of climatic

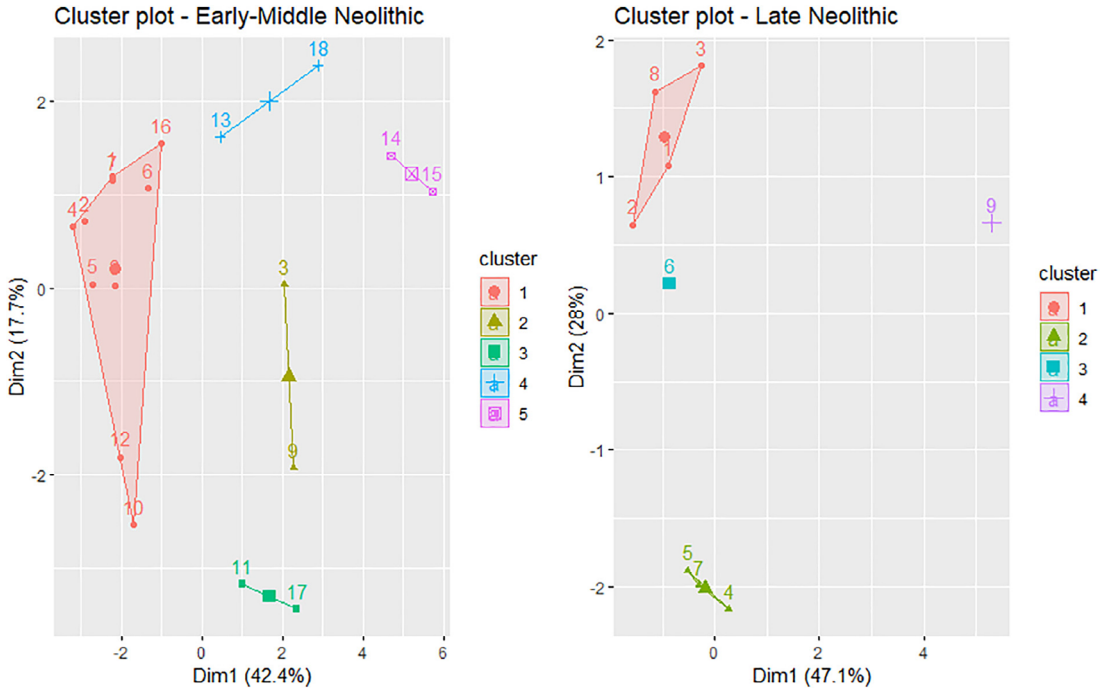


Fig. 6. Cluster plots according to anthracological data during the Middle Holocene. Early-Middle Neolithic: 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau (III); 3. Cova 120 (III); 4. Bauma del Serrat Pont (III.4); 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu (Id); 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre; Late Neolithic: 1. Cova 120 (II); 2. Bauma del Serrat Pont (III.3); 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu (Ic); 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró.

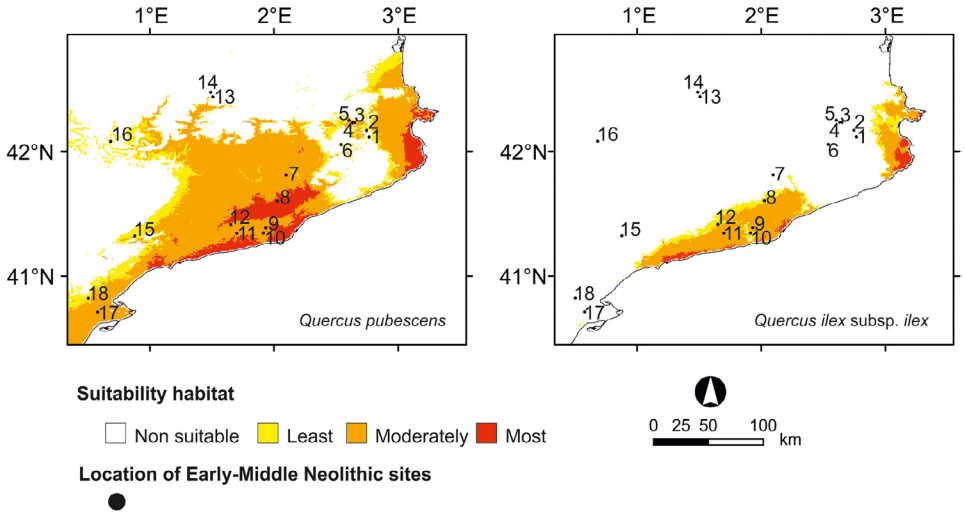


Fig. 7. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario of the NE Iberian Peninsula, and the locations of Early-Middle Neolithic sites with anthracological data. 1. La Draga; 2. Cova d'en Pau; 3. Cova 120; 4. Bauma del Serrat Pont; 5. Plansallosa; 6. Cova de l'Avellaner; 7. Cova del Toll; 8. Cova del Frare; 9. Cova Bonica; 10. Can Sadurní; 11. La Serreta; 12. Cova de la Guineu; 13. Camp del Colomer; 14. Balma Margineda; 15. Coves del Fem; 16. Cova Colomera; 17. Barranc d'en Fabra and 18. Cova del Vidre.

regionalisation due to its heterogeneous orography and geographical particularities (Rivas-Martínez, 1987). This complexity makes it necessary to be caution in assessing the importance of the environmental variables used in the two MaxEnt models, which respond mainly to bioclimatic factors. Presence-background methods compare the environmental conditions and geographical features of the study area with the conditions used by the species in order to distinguish between suitable and unsuitable habitats (Phillips et al., 2006). However, it is important to note that just because a habitat could be suitable, does not mean that the species would be present. And, conversely, just because a

Table 4
Results of predicted suitability values according to the coordinates (pixel) of the Neolithic sites that are included in this study. Period: Archaeological period; Group: Anthracological groups; Id: the site number as shown in Fig. 7 and Fig. 8.

Period	Group	Id	Site	*Q. pubescens* (value)	Suitability habitat	*Q. ilex* (value)	Suitability habitat
Early Neolithic	1	1	La Draga	0.21	Least	0	Non suitable
	1	2	Cova d'en Pau	0.22	Least	0	Non suitable
	2	3	Cova 120	0.39	Moderately	0	Non suitable
	1	4	Bauma del Serrat Pont	0.37	Moderately	0	Non suitable
	1	5	Plansallosa	0.36	Moderately	0	Non suitable
	1	6	Cova de l'Avellaner	0.22	Least	0	Non suitable
	1	7	Cova del Toll	0.56	Moderately	0	Non suitable
	1	8	Cova del Frare	0.77	Most	0.26	Least
	2	9	Cova Bonica	0.71	Most	0.45	Moderately
	1	10	Can Sadurní	0.29	Moderately	0.58	Moderately
	2	11	La Serreta	0.61	Moderately	0.42	Moderately
	1	12	Cova de la Guineu	0.54	Moderately	0.3	Moderately
	4	13	Camp del Colomer	0	Non suitable	0	Non suitable
	5	14	Balma Margineda	0	Non suitable	0	Non suitable
	5	15	Coves del Fem	0.25	Least	0	Non suitable
	1	16	Cova Colomera	0.22	Least	0	Non suitable
	3	17	Barranc d'en Fabra	0.36	Moderately	0	Non suitable
	4	18	Cova del Vidre	0.29	Moderately	0	Non suitable
Late Neolithic	1	1	Cova 120	0.39	Moderately	0	Non suitable
	1	2	Bauma del Serrat Pont	0.37	Moderately	0	Non suitable
	1	3	La Prunera	0.24	Least	0	Non suitable
	2	4	Santa Maria dels Horts	0.61	Moderately	0.46	Moderately
	2	5	Cova de la Guineu	0.54	Moderately	0.3	Moderately
	3	6	Cova Gran de Santa Linya	0.2	Least	0	Non suitable
	2	7	Auvelles	0	Non suitable	0	Non suitable
	1	8	Cova Colomera	0.22	Least	0	Non suitable
	4	9	Roques del Sarró	0	Non suitable	0	Non suitable

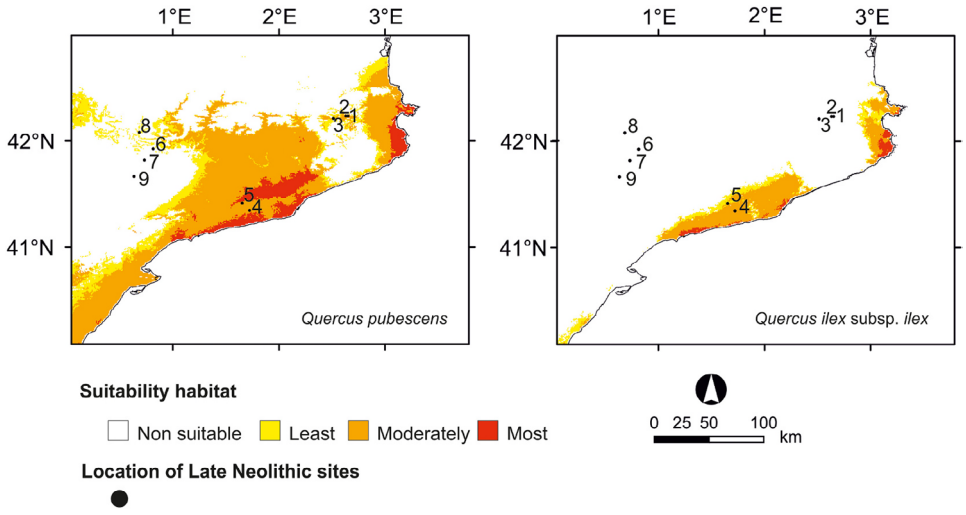


Fig. 8. Habitat suitability maps of A) *Quercus pubescens* and B) *Quercus ilex* subsp. *ilex* under a Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and the locations of Late Neolithic sites with anthracological data. 1. Cova 120; 2. Bauma del Serrat Pont; 3. La Prunera; 4. Santa Maria dels Horts; 5. Cova de la Guineu; 6. Cova Gran de Santa Linya; 7. Auvelles; 8. Cova Colomera and 9. Roques del Sarró.

habitat could be unsuitable, does not mean that the species would be absent. Currently, many forested Mediterranean landscapes are in fact mosaics of habitats dominated by deciduous and evergreen oaks, with a mix of both species in many environments (e.g., Blondel et al., 1992; Dinerstein et al., 2017). Although it is certain that the dynamics of Mediterranean forests are complex and highly heterogeneous (e.g., Blondel et al., 2010; Burjachs et al., 2017; Carrión et al., 2010a; Di Rita et al., 2018; Médail and Diadema, 2009; Pausas and Keeley, 2009; Shachak et al., 2008), physical-environmental factors restrict their distribution and could limit the presence of certain dominant tree species (e.g., Newman et al., 2006; Pérez-Obiol et al., 2011; Warren and Seifert, 2011; Médail et al., 2019; Boonman et al., 2020;). Climatic changes have affected the precipitation regimes and drought conditions on different scales and under different conditions (e.g., Colville et al., 2020; González-Sampériz et al., 2017, 2020; Metzger et al., 2005; Uzquiano et al., 2016; Walker et al., 2018). Nevertheless, a local approach may be required to understand multifaceted vegetation histories.

In summary, our results have proved that MaxEnt models can effectively improve the accuracy of assessments of the function of the bioclimatic and geographical factors that may or may not be suitable for two Mediterranean oak species. The results have allowed us to evaluate how the potential distributions of these two oak formations could have been affected under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula, and what form the relationships between human-

plant communities may have taken.

5.2. Oak formations under the middle Holocene climatic scenario: An anthracological perspective (8.2– 4.2 ka BP)

Using MaxEnt, this study has provided, for the first time, two potential distribution maps for two sub-Mediterranean forest types (deciduous and evergreen oak woodlands) during the Middle Holocene in the NE Iberian Peninsula, in accordance with the palaeoclimatic reconstruction available on Worldclim.org (Fick and Hijmans, 2017). Our results showed that *Quercus pubescens* and *Quercus ilex* subsp. *ilex* have changed their suitable habitat ranges, probably in response to environmental conditions. Thus, during the Middle Holocene, the suitable area for *Quercus pubescens* may have been larger than that for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. Our results showed that the suitability ranges on the central coast and in some southern areas may have been favourable for both species, although the suitable habitat for *Quercus pubesens* extended to the pre-coastal (pre-littoral) and inland areas.

Both the projected MaxEnt maps have distributions that overlap well with the sites, and they are both consistent with the anthracological groups that were obtained. These anthracological sequences indicate that deciduous oak woodlands were well established during the Neolithic period and had a certain degree of continuity. Additionally, the presence of sclerophyllous taxa indicates a tendency towards mixed oak forests in some locations. Moreover, our results have characterised five distinct vegetation formations, two of which were most exploited by Neolithic populations (group 1 and group 2). The first group of sites evidenced a plant community dominated by deciduous oak together with high frequencies of mesophilous taxa, mainly *Buxus sempervirens* and *Acer* sp. This landscape predominated during the Early to the Late Neolithic periods. All the archaeological sites included in this group are located within the habitat suitability range of *Quercus pubescens*. The climate was likely temperate and relatively humid in the vicinity of the inland Neolithic sites (Mas et al., 2022). Nevertheless, some of the Neolithic sites included in this group, such as Cova de la Guineu, Cova del Frare and Can Sadurní, are located near the central coast, in the least-moderately suitable habitat for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. The development of Mediterranean vegetation is likely due to reduced precipitation and increased environmental aridity (Allué et al., 2009, 2017b; Carrión et al., 2007, 2010b; Pérez-Obiol et al., 2011). Based on this, some authors found a considerable increase in evergreen oak pollen in the coastal region and suggest that the spread of these trees could correspond to the onset of the Mediterranean climate (Jalut et al., 1997; Burjachs et al., 1997).

All the archaeological sites included in the second group are in the coastal area. The results of our models (see Table 3) demonstrate that these areas would delimit zones with lower and more irregular precipitation values (bio19 and bio13), as well as brusquer seasonal temperatures (bio9, bio8). As described in Section 4.2., the occurrence of *Quercus ilex* is more likely than that of *Quercus pubescens* in locations where seasonal precipitation has lower values (see Fig. 5). Montane conifers (*Pinus sylvestris*-type and *Taxus baccata*) and deciduous oak assemblages are characteristic of the fourth and the fifth groups of Neolithic sites. It is important to note that the anthracological data from these sites shows that both oaks either appear with low frequencies or are non-existent, and these sites are located far from highly suitable habitats. The high representation of conifers could be due to the fact that deciduous oak forests probably do not grow at high elevations where mountain pines are more likely to persist.

The anthracological sequences of Cova Colomera and Bauma del Serrat Pont include different Neolithic periods. However, the anthracological data showed that Neolithic populations would have selected mesophilic vegetation throughout the Neolithic. Furthermore, MaxEnt's results showed that the area around these sites was more suitable for deciduous oak than evergreen oak. The diachronic continuity of the landscape around these two sites suggests that the Neolithic activities in the vicinity may not have markedly affected the surrounding forest structure during the Early to Late Neolithic (e.g., Alcalde et al., 2005; Mas et al., 2022). In relation to these considerations, Alcalde et al. (2005) found archaeological evidence of short occupations at Bauma del Serrat del Pont. Moreover, Martín and Oms (2021) have suggested that Cova Colomera also seems to have been used seasonally by Neolithic groups for livestock practices, mainly the stabling of small herds for short periods.

The anthracological sequences of Cova 120 and Cova de la Guineu showed differences in the plant community between the Early Neolithic and the Late Neolithic. Hence, anthracological data of Cova 120 showed an increase in mesophilic vegetation during the Late Neolithic (from group 2 to group 1). Likewise, Cova de la Guineu showed more evergreen oak and thermophilic vegetation during the Late Neolithic (from group 1 to group 2). Moreover, MaxEnt's results suggested that the optimal environmental conditions for thermophilous vegetation and evergreen oak would not have occurred around Cova 120, as the area was not suitable for *Quercus ilex* subsp. *ilex*. In contrast, the area around Cova de la Guineu would have been moderately suited to both oak species. This is probably due to the environmental differences related to seasonality in these two areas, especially the different precipitation (bio13 and bio19) and temperature (bio4, bio8, and bio9) regimes. Our results are consistent with the fact that the aridity episode of the 8.2 ka BP event gave rise to a variety of responses in the NE Iberian Peninsula, as suggested by Revelles et al. (2015). These authors argued that the effect of the 8.2 ka BP event was mild or non-existent in some sub-Mediterranean regions, although it may have led to a drier environment in Mediterranean coastal areas and in high mountain areas. A key feature of this period could thus be the local seasonality of rainfall distribution, an important parameter that might explain the instability of Mediterranean landscapes (Berger and Guilaine, 2009). Moreover, regional climatic conditions, mainly the increase in aridity starting 4.2 ka BP (e.g., Allué et al., 2009, 2017b; Araus et al., 1997; Carrión et al., 2010a, 2010b) and the impact of human activities, would explain these diachronic changes in landscapes around these sites. These processes would favour an increase in shrub vegetation around Cova 120 with species such as *Buxus sempervirens* (temperate, humid area) and an increase in evergreen oaks and thermophilous vegetation in Cova de la Guineu (area with more seasonal climate and precipitation). Further studies related to forest management would definitely shed light on the impact of human activities on these vegetal formations (Delhon et al., 2009; Dufraisse et al., 2022).

Both the presence and the absence of different arboreal and shrubby species in Neolithic sites could be explained by the variations in local landscape composition and, in fact, environmental differences due primarily to aridity (Allué et al., 2009, 2017b). Additionally, the different strategies of wood gathering could be an important factor in interpreting plant associations (Kabukcu and Chabal, 2021). Therefore, we suggest that these associations could correspond to a local catchment area. As detailed above, the first and the second groups show the two types of woodlands that Neolithic human groups would have recurrently exploited. Both sub-Mediterranean deciduous oak and sclerophyllous woodland with evergreen oak were the most exploited landscapes in the NE Iberian Peninsula during the Middle Holocene. Nevertheless, montane pine forest (*Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* and *Pinus nigra*) was also harvested, although at a relatively reduced scale compared to oak. Our results show a good overlap between the two oak ENMs and the Neolithic sites that provided the anthracological data. This could be evidence that forest resources were exploited in locations close to settlements during the Neolithic, as some authors have suggested (e.g., Piqué et al., 2021). Wood harvesting is an activity that depends on social and economic contexts, and activities related to wood exploitation and forest management were probably partly conditioned by the environment.

6. Conclusions

Using MaxEnt, this study provides ecological niche models (ENM) for two oak species, the pubescent oak (*Quercus pubescens* Willd.) and the holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), at present in the Iberian Peninsula and under the Middle Holocene climatic scenario in the NE Iberian Peninsula. Differences between suitable habitats for the two oak species seem to be due to different environmental tolerances. Seasonal temperature factors and seasonal rainfall are influential bioclimatic variables for the occurrence of both species, whereas geographical factors are not highly significant. Based on anthracological data from the Neolithic, we have distinguished five main plant associations in which Neolithic populations recurrently exploited forest resources. This study suggests that the Neolithic populations in the study area were largely dependent on resources from the forest, mainly deciduous oak forest with mesophilous taxa, and from Mediterranean oak forest. Finally, the results obtained in the potential oak palaeo-vegetation maps demonstrate a good overlap with the locations of the Neolithic sites analysed. Thus, Neolithic human groups that settled in open air sites and took advantage of caves and rock shelters to pursue their specialized activities were well aware of the potential of forests and probably gathered woody resources in the surrounding area. We found that the use of MaxEnt models improved our understanding of how climate dynamics might affect local patterns of vegetation distribution. We also highlight the importance of modelling palaeolandscape maps in order to shed light into human-environment interactions.

Funding

Bàrbara Mas is supported by a PhD grant FI-AGAUR (2020 FI_B00013) with financial sponsorship of the Generalitat de Catalunya, integrated in the project of the University of Barcelona, directed by professor S. Riera, “Cambios ambientales, paisajísticos y adaptabilidad humana en un llano litoral mediterráneo durante el Holoceno: el sector de Montjuic en el pla de Barcelona (PALEOBARCINO-II)”, 2021–2024, PID2020-117186GB-I00, Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government. This work is supported by the project PID-2020-113960GB-100 (2021-2024) “El poblamiento del NE peninsular y su relación con el entorno natural durante el Pleistoceno superior y el Holoceno inicial” from Ministerio de Ciencia e Innovación, Spanish Government, and by the “María de Maeztu excellence accreditation” (cex2019–000945-M) granted to the IPHES-CERCA research group, and by the projects 2021SGR_01237 (IPHES-CERCA, University Rovira i Virgili) and 2021SGR_00337 (SERP, University of Barcelona) of the Generalitat de Catalunya.

Declaration of Competing Interest

The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests:

Bàrbara Mas reports financial support was provided by University of Barcelona. Santiago Riera reports financial support was provided by University of Barcelona. Ethel Allué reports financial support was provided by Catalan Institute of Human Paleo-Ecology and Social Evolution.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

Acknowledgements

We are grateful to the two anonymous reviewers whose comments and suggestions helped us improve our manuscript. We would also like to thank Dr. Neftalí Sillero for providing us with help and recommendations regarding the MaxEnt methodology and evaluation metrics. Furthermore, we would like to thank the Bosch i Gimpera Fundation (University of Barcelona) for sponsoring the dedicated course on Ecological Niches Model of the Transmitting Science (Barcelona, Spain). Lastly, we would like to acknowledge Rupert Glasgow and Lisa Mann for reviewing the English language of both the first and revised versions of our manuscript. We are also thankful to the IPHES-CERCA for offering us use of their workspaces.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101984.

References

AEMet, 2021. Resumen anual climatológico 2021. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Gobierno de España.

Alcalde, G., Molist, M., Saña, M., 2005. Les ocupacions neolítiques de la Balma del Serrat del Pont. In: Tribuna d'Arqueologia 2001-2002, pp. 27–38. http://hdl.handle.net/10256/15370.

Alcolea, M., 2017. Paisaje vegetal y gestión de recursos leñosos durante la transición Epipaleolítico-Neolítico en el Valle del Ebro. In: Aportaciones desde la Antracología, Área de Prehistoria. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, p. 700.

Alcolea, M., Dufraisse, A., Royo, M., Mazo, C., de Luis, M., Longares, L.A., Utrilla, P., Fábregas, R., 2021. Dendro-anthracological tools applied to scots type pine forests exploitation as fuel during the Mesolithic-Neolithic transition in the southern central pre-Pyrenees (Spain). Quat. Int. 593-594, 332–345. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.029.

Allué, E., 2010. Informe de l'estudi antracològic La Serreta - Vilafranca Centre (Vilafranca del Penedès). Excavació arqueològica del jaciment de La Serreta corresponent a la intervenció del projecte Remodelació dels enllaços i implantació de peatges tancats a l'autopista AP-7. Enllaç Vilafranca Centre. Fase 3B' Vilafranca del Penedès, Alt Penedès. Tarragona.

Allué, E., Mas, B., 2020. The meaning of Pinus sylvestris-type charcoal taphonomic markers in Palaeolithic sites in NE Iberia. J. Archaeol. Sci. Rep. 30, 102231 https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102231.

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., Solé, A., Burguet-Coca, A., 2017a. Fuel exploitation among Neanderthals based on the anthracological record from Abric Romaní (Capellades, NE Spain). Quat. Int. 431 (Part A), 6–15. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.12.046.

Allué, E., Picornell-Gelabert, L., Daura, J., Sanz, M., 2017b. Reconstruction of the palaeoenvironment and anthropogenic activity from the upper Pleistocene/Holocene anthracological records of the NE Iberian Peninsula (Barcelona, Spain). Quat. Int. 457, 172–189. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.024.

Allué, E., Martínez-Moreno, J., Roy, M., Benito-Calvo, A., Mora, R., 2018. Montane pine forests in NE Iberia during MIS 3 and MIS 2. A study based on new anthracological evidence from Cova gran (Santa Linya, Iberian pre-Pyrenees). Rev. Palaeobot. Palynol. 258, 62–72. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2018.06.012.

Antolín, F., Jacomet, S., 2015. Wild fuit use among early farmers in the Neolithic (5400-2300 cal BC) in the north-east of the Iberian Peninsula: an intensive practice? Veg. Hist. Archaeobotany 24 (1), 19–33.

Antolín, F., Piqué, R., Ballesteros, A., Burjachs, F., Buxó, R., Mensua, C., Edo, M., 2013. A Changes in the perception of and the interaction with the environment from the Mesolithic (10300–8500 cal BC) to the Early Neolithic (c. 5400 cal BC) in Can Sadurní Cave (Begues, Barcelona province, Spain). A view from the archaeobotanical data. In: Damblon, F. (Ed.), Proceedings of the Fourth International Meeting of Anthracology (Brussels, 8–13/09/2008). Royal Belgian Institute of Natural Sciences. Oxford: Archaeopress, pp. 19–30 (BAR International Series: 2486).

Araus, J.L., Febrero, A., Buxo, R., Camalich, M.D., Martin, D., Molina, F., Rodriguez-Ariza, M.O., Romagosa, I., 1997. Changes in carbon isotope discrimination in grain cereals from different regions of the western Mediterranean Basin during the past seven millennia. Palaeoenvironmental Evidence of a Differential Change in Aridity during the late Holocene. 3 (2), 107–118. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.1997.00056.x.

Asouti, E., Austin, P., 2005. Reconstructing woodland vegetation and its explotation by past societies, based on the analysis and interpretation of archaeological wood charcol macro-remains. Environ. Archaeol. 10, 1–18.

Asouti, E., Kabukcu, C., 2021. Anthracology: charcoal science in archaeology and Palaeoecology. Quat. Int. 593-594, 1–5. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.05.013.

Azuara, J., Sabatier, P., Lebreton, V., Jalali, B., Sicre, M.-A., Dezileau, L., Bassetti, M.-A., Frigola, J., Combourieu-Nebout, N., 2020. Mid- to late-Holocene Mediterranean climate variability: contribution of multi-proxy and multi-sequence comparison using wavelet spectral analysis in the northwestern Mediterranean basin. Earth Sci. Rev. 208, 103232 https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103232.

Banks, W.E., Antunes, N., Rigaud, S., Francesco, d.E., 2013. Ecological constraints on the first prehistoric farmers in Europe. J. Archaeol. Sci. 40 (6), 2746–2753. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.02.013.

Baquedano, E., Castillo, F.J., 2007. Drought tolerance in the Mediterranean species Quercus coccifera, Quercus ilex, Pinus halepensis, and Juniperus phoenicea. Photosynthetica 45 (2), 229–238. https://doi.org/10.1007/s11099-007-0037-x.
Bedia, J., Herrera, S., Gutiérrez, J.M., 2013. Dangers of using global bioclimatic datasets for ecological niche modeling. Limitations for future climate projections. Glob. Planet. Chang. 107, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.04.005.
Berger, J.-F., Guilaine, J., 2009. The 8200calBP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective. Quat. Int. 200, 31–49. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.013.
Bernabeu, J., García, O., Orozco-Köhler, T., 2018. New insigths relating to the beginning of the Neolithic in the eastern Spain: evaluating empirical data and modelled predictions. Quat. Int. 470, 439–450. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.071.
Blondel, J., Isenmann, P., Maistre, M., Perret, P., 1992. What are the consequences of being a downy oak (Quercus pubescens) or a holm oak (Q. ilex) for breeding blue tits (Parus caeruleus)? Vegetatio 99 (100), 129–136. http://www.jstor.org/stable/20046142.
Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., Boeuf, G., 2010. The Mediterranean Region: Biological Diversity in Space and Time. Oxford University Press, Oxford.
Bohl, C.L., Kass, J.M., Anderson, R.P., 2019. A new null model approach to quantify performance and significance for ecological niche models of species distributions. J. Biogeogr. 46 (6), 1101–1111. https://doi.org/10.1111/jbi.13573.
Boonman, C.C.F., Benítez-López, A., Schipper, A.M., Thuiller, W., Anand, M., Cerabolini, B.E.L., Cornelissen, J.H.C., Gonzalez-Melo, A., Hattingh, W.N., Higuchi, P., Laughlin, D.C., Onipchenko, V.G., Peñuelas, J., Poorter, L., Soudzilovskaia, N.A., Huijbregts, M.A.J., Santini, L., 2020. Assessing the reliability of predicted plant trait distributions at the global scale. Glob. Ecol. Biogeogr. 29 (6), 1034–1051. https://doi.org/10.1111/geb.13086.
Bradie, J., Leung, B., 2017. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. J. Biogeogr. 14, 1344–1361. https://doi.org/10.1111/jbi.12894.
Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H., Bollmann, K., 2013. Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. Ecography 36 (9), 971–983. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x.
Burjachs, F., Riera, S., 1996. Canvis vegetals i climàtics durant el neolític a la façana mediterrània ibèrica, I Congrés del Neolític a la Península Ibèrica. Rubicatum, Gavà, Museu de Gavà, pp. 21–24.
Burjachs, F., Giralt, S., Roca, J.R., Seret, G., Julià, R., 1997. Palinología holocénica y desertización en el Mediterráneo occidental. In: Ibáñez, J.J., Valero-Garcés, B., Machado, C. (Eds.), El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo: implicaciones en la desertización. Geoforma ediciones, Logroño, pp. 379–394.
Burjachs, F., Pérez-Obiol, R., Picornell-Gelabert, L., Revelles, J., Servera-Vives, G., Expósito, I., Yll, E.-I., 2017. Overview of environmental changes and human colonization in the Balearic Islands (Western Mediterranean) and their impacts on vegetation composition during the Holocene. J. Archaeol. Sci. Rep. 12, 845–859. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.018.
Cameron, A.C., 2014. Inference for health econometrics: Inference, model tests, diagnostics, multiple tests, and bootstrap. In: Culyer, A.J. (Ed.), Encyclopedia of Health Economics. Elsevier, San Diego, pp. 47–52.
Carboni, M., Calderon-Sanou, I., Pollock, L., Violle, C., Consortium, D, Thuiller, W., 2018. Functional traits modulate the response of alien plants along abiotic and biotic gradients. Glob. Ecol. Biogeogr. 27 (10), 1173–1185. https://doi.org/10.1111/geb.12775.
Carreras, J., Ferré, A., 2014. Cartografia dels hàbitats a Catalunya Versió 2. Manual d'interpretació. Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
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. Quat. Sci. Rev. 26, 1455–1475. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.03.013.
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. Rev. Palaeobot. Palynol. 162, 458–475. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2009.12.007.
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. J. Arid Environ. 74 (7), 731–736. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.11.014.
Castroviejo, S., Laínz, M., López-González, G., Montserrat, P., Muñoz-Garmendia, F., Paiva, J., Villar, L., 1990. Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. In: Platanaceae-Plumbaginaceae (patrim), Vol. II. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.
Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorological maps for the main European woody species. Data in Brief 12, 662–666. https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007.
Chabal, L., 1992. La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. Bulletin de la société botanique de France. Actualités Botaniques 139, 213–236.
Chabal, L., 1997. Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive): l'anthracologie, méthode et paléoécologie. Éditions de la Maison de Sciences de l'Homme, Paris.
Chabal, L., Heinz, C., 2021. Reconstructing the heterogeneity of past woodlands in anthracology using the spatial distribution of charcoals in archaeological layers: applied to the postglacial occupation of the Abeurador cave (Hérault) in the South of France. Quat. Int. 593-594 (1), 19–35. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.080.
Chabal, L., Fabre, L., Terral, J.F., Théry-Parisot, I., 1999. La botanique. In: Errance (Ed.), Collection Archéologiques. Revue archéologique du Centre de la France, Paris, pp. 43–104.
Coles, J.M., Heal, S.V.E., Orme, B.J., 1978. The use and character of wood in prehistoric Britain and Ireland. Proceed. Prehist. Society. 44, 1–45. https://doi.org/10.1017/S0079497X00009968.
Colville, J.F., Beale, C.M., Forest, F., Altwegg, R., Huntley, B., Cowling, R.M., 2020. Plant richness, turnover, and evolutionary diversity track gradients of stability and ecological opportunity in a megadiversity center. Proc. Natl. Acad. Sci. 117 (33), 20027. https://doi.org/10.1073/pnas.1915646117.
Damesin, C., Rambal, S., Joffre, R., 1998. Co-occurrence of trees with different leaf habit: A functional approach on Mediterranean oaks. Acta Oecol. 19 (3), 195–204. https://doi.org/10.1016/S1146-609X(98)80024-6.
Daura, J., Sanz, M., Oms, F.X., Pedro, M., Martínez, P., Mendiela, S., Oliva-Poveda, M., Gibaja, J.F., Mozota, M., Alonso-Eguíluz, M., Albert, R.M., Allué, E., Bañuls-Cardona, S., López-García, J.M., Santos-Arévalo, F.J., Fullola, J.M., 2019. Deciphering Neolithic activities from a Cardial burial site (Cova Bonica) on the western Mediterranean coast. J. Archaeol. Sci. Rep. 23, 324–347. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.10.036.
Delhon, C., Thiébault, S., Berger, J.F., 2009. Environment and landscape management during the middle neolithic in southern France: evidence for agro-sylvo-pastoral systems in the middle Rhone Valley. Quat. Int. 200 (1–2), 50–65. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.008.
Di Iorio, A., Lasserre, B., Scippa, G.S., Chiatante, D., 2005. Root system architecture of Quercus pubescens trees growing on different sloping conditions. Ann. Bot. 95 (2), 351–361. https://doi.org/10.1093/aob/mci033.
Di Rita, F., Fletcher, W.J., Aranbarri, J., Margaritelli, G., Lirer, F., Magri, D., 2018. Holocene forest dynamics in central and western Mediterranean: periodicity, spatio-temporal patterns and climate influence. Sci. Rep. 8 (1), 8929. https://doi.org/10.1038/s41598-018-27056-2.
Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E., Hahn, N., Palminteri, S., Hedao, P., Noss, R., Hansen, M., Locke, H., Ellis, E.C., Jones, B., Barber, C.V., Hayes, R., Kormos, C., Martin, V., Crist, E., Sechrest, W., Price, L., Baillie, J.E.M., Weeden, D., Suckling, K., Davis, C., Sizer, N., Moore, R., Thau, D., Birch, T., Potapov, P., Turubanova, S., Tyukavina, A., de Souza, N., Pintea, L., Brito, J.C., Llewellyn, O.A., Miller, A.G., Patzelt, A., Ghazanfar, S.A., Timberlake, J., Klöser, H., Shennan-Farpón, Y., Kindt, R., Lillesø, J.-P.B., van Breugel, P., Graudal, L., Voge, M., Al-Shammari, K.F., Saleem, M., 2017. An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. BioScience 67 (6), 534–545. https://doi.org/10.1093/biosci/bix014.
Dormann, C.F., 2007. Promising the future? Global change projections of species distributions. Basic Appl. Ecol. 8, 387–397. https://doi.org/10.1016/j.baae.2006.11.001.
Dudík, M., Phillips, S.J., Schapire, R.E., 2007. Maximum entropy density estimation with generalized regularization and an application to species distribution modeling. J. Mach. Learn. Res. 8 (44), 1217–1260.
Dufraisse, A., Coubray, S., Girardclos, O., Nocus, N., Lemoine, M., Dupouey, J.C., Marguerie, D., 2018. Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. Quat. Int. 463, 232–249. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065.
Dufraisse, A., Coubray, S., Picornell-Gelabert, L., Alcolea, M., Girardclos, O., Delarue, F., Nguyen, Tu, 2022. Taming trees, shaping forests, and managing woodlands as resources for understanding past societies. Contributions and current limits of Dendro-Anthracology and Anthraco-isotopy. Front. Ecol. Evol. 10, 135. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.823968.
Elith, J.H., Graham, C.P., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A.J., Hijmans, R., Huettmann, F.R., Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J.G., Lohmann, L.A., Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Mcc, M., Overton, J., Townsend Peterson, A.J., Phillips, S., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R.E., Schapire, R., Soberón, J., Williams, S.S., Wisz, M.E., Zimmermann, N., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography 29 (2), 129–151. https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x.
Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists, 17 (1), 43–57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x.
Euba, I., Allué, E., Burjachs, F., 2016. Wood uses at El Mirador cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. Quat. Int. 414 (1), 285–293. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.084.
Feeser, I., Dörfler, W., Kneisel, J., Hinz, M., Dreibrodt, S., 2019. Human impact and population dynamics in the Neolithic and bronze age: multi-proxy evidence from north-western Central Europe. The Holocene 29 (10), 1596–1606. https://doi.org/10.1177/0959683619857223.
Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. Int. J. Climatol. 37 (12), 4302–4315.
Field, A., Miles, J., Field, Z., 2012. Discovering Statistics Using R. SAGE, London.
Fletcher, W.J., Sánchez, M.F., 2008. Orbital- and sub-orbital-scale climate impacts on vegetation of the western Mediterranean basin over the last 48,000 yr. Quat. Res. 70, 451–464. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.07.002.
Fletcher, W., Carrión, J.S., Fernández, S., González-Sampériz, P., López-Merino, L., Peña, L., Burjachs, F., López-Sáez, J.A., García-Antón, M., Carrión-Marco, Y., Uzquiano, P., Postigo, J.M., Barrón, E., Allué, E., Badal, E., Dupré, M., Fierro, E., Munuera, M., Rubiales, J.M., García-Amorena, I., Jiménez-Moreno, G., Gil-Romera, G., Leroy, S., García-Martínez, M.S., Montoya, E., Yll, E., Vieira, M.,

Rodríguez-Ariza, M.O., Anderson, S., Peñalba, C., Gil-García, M.J., Pérez-Sanz, A., Albert, R.M., Díez, M.J., Morales, C., Gómez-Manzaneque, F., Parra, I., Ruiz-Zapata, B., Riera, S., Zapata, L., Ejarque, A., Vegas, T., Rull, V., Scott, L., Andrade, A., Pérez-Díaz, S., Abel-Schaad, D., Moreno, E., Hernández-Mateo, L., Sánchez-Baena, J. J., Riquelme, J.A., Iglesias, R., Franco, F., Chaín, C., Figueiral, I., Grau, E., Matos, M., Jiménez-Espejo, F., Arribas, A., Garrido, G., Finlayson, G., Finlayson, C., Ruiz, M., Pérez-Jordà, G., Miras, Y., 2012. Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid.

Früchtenicht, E., Neumann, L., Klein, N., Bonal, D., Brüggemann, W., 2018. Response of Quercus robur and two potential climate change winners—Quercus pubescens and Quercus ilex—to two years summer drought in a semi-controlled competition study: I—tree water status. Environ. Exp. Bot. 152, 107–117. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.01.002.

Fyfe, R.M., Woodbridge, J., Palmisano, A., Bevan, A., Shennan, S., Burjachs, F., Legarra Herrero, B., García Puchol, O., Carrión, J.-S., Revelles, J., Roberts, C.N., 2019. Prehistoric palaeodemographics and regional land cover change in eastern Iberia. The Holocene 29 (5), 799–815. https://doi.org/10.1177/0959683619826643.

Gea-Izquierdo, G., Martín-Benito, D., Cherubini, P., Cañellas, I., 2009. Climate-growth variability in Quercus ilex L. west Iberian open woodlands of different stand density. Ann. For. Sci. 66, 802. https://doi.org/10.1051/forest/2009080.

Gkouma, M., Karkanas, P., 2018. The physical environment in northern Greece at the advent of the Neolithic. Quat. Int. 496, 14–23. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.034.

González-Sampériz, 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., 2017. Environmental and climate change in the southern Central Pyrenees since the last glacial maximum: A view from the lake records. CATENA 149, 668–688. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.041.

González-Sampériz, P., Gil-Romera, G., García-Prieto, E., Aranbarri, J., Moreno, A., Morellón, M., Sevilla-Callejo, M., Leunda, M., Santos, L., Franco-Múgica, F., Andrade, A., Carrión, J.S., Valero-Garcés, B.L., 2020. Strong continentality and effective moisture drove unforeseen vegetation dynamics since the last interglacial at inland Mediterranean areas: the Villarquemado sequence in NE Iberia. Quat. Sci. Rev. 242, 106425 https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106425.

Guilaine, J., 2018. A personal view of the neolithisation of the Western Mediterranean. Quat. Int. 470, 211–225. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.019.

Guilaine, J., 2019. The Neolithisation of Europe: An arrhythmic process. In: Horejs, B., Brami, M. (Eds.), The Central/Western Anatolian Farming Frontier. Verlag der Ä sterreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, pp. 241–250.

Guillera-Arroita, G., Lahoz-Monfort, J.J., Elith, J., Gordon, A., Kujala, H., Lentini, P.E., McCarthy, M.A., Tingley, R., Wintle, B.A., 2015. Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications, 24, 276–292. https://doi.org/10.1111/geb.12268.

Guisan, A., Thuiller, W., 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. Ecol. Lett. 8, 993–1009. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x.

Guisan, A., Thuiller, W., Zimmermann, N.E., 2017. Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R. Cambridge University Press, Cambridge.

Halstead, P., 2018. Forest clearance and land use by early farmers in Europe: insights from north Greek oral history. Quat. Int. 496, 42–50. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.010.

Heinz, C., Vernet, J.L., 1995. Anàlisi antracològica dels nivells mesolítics i del neolític antic de la Balma de la Margineda. Paleoecologia i relacions home-vegetació. In: Guilaine, J., Marztluff, M. (Eds.), Les excavacions a La Balma de la Margineda (1979-1991). Andorra la Vella. Govern d'Andorra, Ministeri d'Afers Socials i Cultura, pp. 26–64.

Hijmans, R.J., 2012. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model, 93 (3), 679–688. https://doi.org/10.1890/11-0826.1.

Iriarte-Chiapusso, M.J., Muñoz Sobrino, C., Gómez-Orellana, L., Hernández-Beloqui, B., García-Moreiras, I., Fernández 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. Quat. Int. 403, 211–236. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.029.

Jafarov, E.E., Loudermilk, L.E., Hiers, K.J., Williams, B., Linn, R., Jones, C., Hill, S.C., Atchley, A.L., 2021. Linking habitat suitability with a longleaf pine-hardwood model: building a species-predictive fire-land management framework. Ecol. Model. 440, 109387 https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109387.

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. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 160 (3), 255–290. https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00075-4.

Jalut, G., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Otto, T., 2009. Holocene circum-Mediterranean vegetation changes: climate forcing and human impact. Quat. Int. 200 (1–2), 4–18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.03.012.

Jalut, G., Esteban-Amat, A., Riera-Mora, S., Fontugne, M., Mook, R., Bonnet, L., Gauquelin, T., 1997. Holocene climatic changes in the western Mediterranean: installation of the Mediterranean climate. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science 325 (5), 327–334. https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)81380-8.

Kabukcu, C., 2018. Wood charcoal analysis in archaeology. In: Pişkin, E., Marciniak, A., Bartkowiak, M. (Eds.), Environmental Archaeology: Current Theoretical and Methodological Approaches. Springer International Publishing, Cham, pp. 133–154.

Kabukcu, C., Chabal, L., 2021. Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: achievements and prospects. Quat. Int. 593-594, 6–18. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004.

Leroy, S.A.G., Amini, A., Gregg, M.W., Marinova, E., Bendrey, R., Zha, Y., Beni, A.N., Fazeli Nashli, H., 2019. Human responses to environmental change on the southern coastal plain of the Caspian Sea during the Mesolithic and Neolithic periods. Quat. Sci. Rev. 218, 343–364. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.06.038.

Leunda, M., Gil-Romera, G., Daniau, A.-L., Benito, B.M., González-Sampériz, P., 2020. Holocene fire and vegetation dynamics in the Central Pyrenees (Spain). CATENA 188, 104411. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104411.

Li, F., Wu, L., Zhu, C., Zheng, C., Sun, W., Wang, X., Shao, S., Zhou, Y., He, T., Li, S., 2013. Spatial–temporal distribution and geographic context of Neolithic cultural sites in the Hanjiang River basin, southern Shaanxi, China. J. Archaeol. Sci. 40, 3141–3152. https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.010.

Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. Glob. Ecol. Biogeogr. 17 (2), 145–151. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x.

MacDougall, A.S., Gilbert, B., Levine, J.M., 2009. Plant invasions and the niche. J. Ecol. 97 (4), 609–615. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01514.x.

Madritsch, S., Wischnitzki, E., Kotrade, P., Ashoub, A., Burg, A., Fluch, S., Brüggemann, W., Sehr, E.M., 2019. Elucidating drought stress tolerance in European oaks through cross-species transcriptomics. G3 Genes|Genomes|Genetics 9 (10), 3181–3199. https://doi.org/10.1534/g3.119.400456.

Maestre, F.T., Valladares, F., Reynolds, J.F., 2005. Is the change of plant–plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments, 93 (4), 748–757. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01017.x.

Marinova, E., Thiebault, S., 2008. Anthracological analysis from Kovacevo, Southwest Bulgaria: woodland vegetation and its use during the earliest stages of the European Neolithic. Veg. Hist. Archaeobotany 17 (2), 223–231. https://doi.org/10.1007/s00334-007-0103-0.

Martín, P., Oms, F.X., 2021. Early Neolithic husbandry in the pre-Pyrenean area. The management of herds at the Cova Colomera (Serra del Montsec, Spain) and its implications for the early occupation of the region. Open Archaeol. 7 (1), 1216–1234. https://doi.org/10.1515/opar-2020-0190.

Martín, M., Piqué, R., 2008. Consumo especializado de combustibles en el Neolítico: los datos antracológicos del yacimiento de Auvelles (Castelló de Farfanya, Lleida). In: Hernández, M.S., Soler, J.A., López, J.A. (Eds.), IV Congreso del Neolítico Peninsular. Diputación Provincial de Alicante, Alicante, pp. 432–437.

Martín, A., Edo, M., Tarrús, J., Clop, X., 2010. Le Néolithique ancien de Catalogne (VIe première moitié du Ve millénaire av. J.C.). Les séquences chronoculturelles. In: Manen, C., Convertini, F., Binder, D., Sénépart, I. (Eds.), Premières Sociétés Paysannes de Méditerranée Occidentale. Structure des Productions Cerámiques. Séance de la Société Préhistorique Française, Paris, pp. 1–18.

Mas, B., Allué, E., 2020. Estudi antracològic de la Cova del Toll (Moià). In: Guilaine, J., Llongueras, M., Petit, M.A., Oms, F.X. (Eds.), El Neolític i l'edat del Bronze a la Cova del Toll (Moià, Barcelona): les excavacions de 1976–1977, vol. 16. Monografies del SERP, Barcelona, pp. 129–148.

Mas, B., Allué, E., Alonso, E.S., Vaquero, M., 2021. From forest to settlement: Magdalenian hunter-gatherer interactions with the wood vegetation environment based on anthracology and intra-site spatial distribution. Archaeol. Anthropol. Sci. 13 (12), 1–18. https://doi.org/10.1007/s12520-020-01264-2.

Mas, B., Oms, F.X., Allué, E., 2022. Anthropogenic impacts on vegetation landscapes and environmental implications during the middle-late Holocene in the Iberian central pre-Pyrenees: an anthracological approach. Rev. Palaeobot. Palynol. 300, 104624 https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104624.

McSweeney, C.F., Jones, R.G., Lee, R.W., Rowell, D.P., 2015. Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions. Clim. Dyn. 44 (11), 3237–3260. https://doi.org/10.1007/s00382-014-2418-8.

Médail, F., Diadema, K., 2009. Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin, 36, 1333–1345. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02051.x.

Médail, F., Monnet, A.-C., Pavon, D., Nikolic, T., Dimopoulos, P., Bacchetta, G., Arroyo, J., Barina, Z., Albassatneh, M.C., Domina, G., Fady, B., Matevski, V., Mifsud, S., Leriche, A., 2019. What is a tree in the Mediterranean Basin hotspot? A critical analysis. Forest Ecosyst. 6, 17. https://doi.org/10.1186/s40663-019-0170-6.

Mediavilla, S., Escudero, A., 2004. Stomatal responses to drought of mature trees and seedlings of two co-occurring Mediterranean oaks. For. Ecol. Manag. 187 (2), 281–294. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.006.

Merow, C., Smith, M.J., Silander Jr., J.A., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography 36 (10), 1058–1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x.

Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Mücher, C.A., Watkins, J.W., 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. Glob. Ecol. Biogeogr. 14 (6), 549–563. https://doi.org/10.1111/j.1466-822X.2005.00190.x.

Moor, H., Hylander, K., Norberg, J., 2015. Predicting climate change effects on wetland ecosystem services using species distribution modeling and plant functional traits. AMBIO 44 (1), 113–126. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0593-9.

Moreno-Fernández, D., Cañellas, I., Alberdi, I., 2021. Shrub richness is primarily driven by climate conditions in southwestern European woodlands. Ann. For. Sci. 78 (4), 98. https://doi.org/10.1007/s13595-021-01117-5.

Natali, E., Forgia, V., 2018. The beginning of the Neolithic in southern Italy and Sicily. Quat. Int. 470, 253–269. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.07.004.

Newman, G.S., Arthur, M.A., Muller, R.N., 2006. Above- and belowground net primary production in a temperate mixed deciduous Forest. Ecosystems 9 (3), 317–329. https://doi.org/10.1007/s10021-006-0015-3.
O'Donnell, J., Gallagher, R.V., Wilson, P.D., Downey, P.O., Hughes, L., Leishman, M.R., 2012. Invasion hotspots for non-native plants in Australia under current and future climates. Glob. Chang. Biol. 18 (2), 617–629. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02537.x.
Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., D'amico, J.A., Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P., Kassem, K.R., 2001. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. BioScience 51 (11), 933–938. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2.
Oms, F.X., Martín, A., 2018. Els primers pagesos i ramaders del nord-est de la península Ibèrica: El Neolític ca. 5600-2300 cal BC. In: Remolins, G., Gibaja, J.F. (Eds.), Les valls d'Andorra durant el Neolític: un encreuament de camins al centre dels Pirineus, vol. 2. Monografies del MAC, Barcelona, pp. 37–62.
Oms, F.X., Martín, A., Esteve, X., Mestres, J., Morell, B., Subirà, M.E., Gibaja, J.F., 2016. The neolithic in Northeast Iberia: chronocultural phases and 14C. Radiocarbon 58 (2), 291–309. https://doi.org/10.1017/RDC.2015.14.
Oms, F.X., Mestres, J., Martínez-Grau, H., Laborda, R., Antolín, F., Bergadà, M.M., Emens, A., Gibaja, J.F., González Olivares, C., Mangado, X., Martín, P., Mas, B., Nadal, J., Fullola, J.M., 2021. Fases de ocupación y estratigrafía del asentamiento neolítico de Les Guixeres de Vilobí (Sant Martí Sarroca, Barcelona). Trab. Prehist. 78 (2), 257–276. https://doi.org/10.3989/tp.2021.12275.
Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. A burning story: the role of fire in the history of life. BioScience 59 (7), 593–601. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10.
Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Townsend Peterson, A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. J. Biogeogr. 34, 102–117. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x.
Pérez-Obiol, R., Jalut, G., Julià, R., Pèlachs, A., Iriarte, M.J., Otto, T., Hernández-Beloqui, B., 2011. Mid-Holocene vegetation and climatic historic of the Iberian Peninsula. The Holocene 21 (1), 75–93. https://doi.org/10.1177/0959683610384161.
Peterson, A.T., Papeş, M., Soberón, J., 2008. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. Ecol. Model. 213, 63–72. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.11.008.
Peterson, A.T., Papeş, M., Soberón, J., 2015. Mechanistic and correlative models of ecological niches. Eur. J. Ecol. 1 (2), 28–38. https://doi.org/10.1515/eje-2015-0014.
Phillips, S.J., Dudík, M., 2008. Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and A Comprehensive Evaluation, 31, pp. 161–175. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.
Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecol. Model. 190, 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026.
Phillips, S.J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J., Ferrier, S., 2009. Sample Selection Bias and Presence-Only Distribution Models: Implications for Background and Pseudo-Absence Data, 19, pp. 181–197. https://doi.org/10.1890/07-2153.1.
Phillips, S.J., Anderson, R.P., Dudík, M., Schapire, R.E., Blair, M.E., 2017. Opening the Black Box: an Open-Source Release of Maxent, 40, pp. 887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049.
Piqué, R., 2005. Paisaje y gestión de recursos forestales entre el VI y IV milenio cal AC en el Noreste de la Península Ibérica. In: Arias, P., Ontañon, R., García, C. (Eds.), III Congreso de Neolítico de la Península Ibérica. Universidad de Cantabria, Santander, pp. 45–52.
Piqué, R., Fortó, A., Vidal, A., 2015. In: Solsona (Ed.), El uso del tejo en el yacimiento neolítico antiguo del camp del Colomer (Andorra), Actes de les IV Jornades Internacionals del Teix. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, pp. 259–264.
Piqué, R., Revelles, J., Burjachs, F., Caruso Fermé, L., Pérez-Obiol, R., 2018. Interdisciplinary approach to the landscape and firewood exploitation during the Holocene at La Garrotxa (Girona, NE Iberia). Quat. Int. 463, 401–413. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.11.025.
Piqué, R., Alcolea, M., Antolín, F., Berihuete-Azorín, M., Berrocal, A., Rodríguez-Antón, D., Herrero-Otal, M., López-Bultó, O., Obea, L., Revelles, J., 2021. Mid-Holocene Palaeoenvironment, Plant Resources and Human Interaction in Northeast Iberia: An Archaeobotanical Approach, 11, p. 5056. https://doi.org/10.3390/app11115056.
Reille, M., Pons, A., 1992. The ecological significance of sclerophyllous oak forests in the western part of the Mediterranean basin: a note on pollen analytical data. Vegetatio 99-100, 13–17. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2836-2_1.
Revelles, J., 2017. Archaeoecology of Neolithisation. Human-environment interactions in the NE Iberian Peninsula during the early Neolithic. J. Archaeol. Sci. Rep. 15, 437–445. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.02.004.
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). Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 435, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.002.
Revelles, J., Allué, E., Alcolea, M., Antolín, F., Berihuete-Azorín, M., Expósito, I., Garay, B., Mas, B., Piqué, R., Obea, L., Val-Peón, C., Burjachs, F., 2022. Site formation processes, human activities and palaeoenvironmental reconstructions from archaeobotanical records in cave and rock-shelter sites in NE Iberia. Rev. Palaeobot. Palynol. 299, 104612 https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104612.
Riera, S., Esteban, A., 1994. Vegetation history and human activity during the last 6000 years on the central Catalan coast (northeastern Iberian Peninsula). Veg. Hist. Archaeobotany 3, 7–23.
Riera, S., Esteve, X., Nadal, J., 2007. Systèmes d'explotation et anthropisation du paysage méditerranéen du néolitique Ancien au premier âge du Fer: le cas de la dépression de Penedès (nord-est de la péninsule ibérique). In: Richard, H., Magny, M., Mordant, C. (Eds.), Environements et cultures à l'âgedu Bronze en Europe Occidentale. Actes des congres nationaux des Sociétés historiques et scientifiques 129e. Besançon, 2004, 21. Documents préhistoriques, Paris, pp. 121–141.
Rivas-Martínez, S., 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España 1: 400.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
Roces-Díaz, J.V., Jiménez-Alfaro, B., Chytrý, M., Díaz-Varela, E.R., Álvarez-Álvarez, P., 2018. Glacial refugia and mid-Holocene expansion delineate the current distribution of Castanea sativa in Europe. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 491, 152–160. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.12.004.
Ros, M.T., 1995. Estudi antracològic de tres jaciments de la vall del Llierca (Garrotxa, Catalunya). L'activitat humana i el medi vegetal des del Neolític Àntic al Bronze Final. In: Ceretans, I.D.E. (Ed.), Xè Col·loqui Internacional d'Arqueologia a Puigcerdà. Cultures i Mèdi de la Prehistòria a l'Edat Mitjana. Homenatge al Professor Jean Guilaine. Puigcerdà, pp. 87–96.
Ros, M.T., 1996. Datos antracológicos sobre la diversidad paisajística de Catalunya en el Neolítico, I Congrés del neolític a la Península Ibèrica. Rubricatum, Gavà, Museu de Gavà, pp. 43–56.
Ros, M.T., 1998. La vegetació de la Catalunya meridional i territoris propers de la Depressió de l'Ebre, en la Prehistoria recent i Protohistoria, a partir dels estudis antracològics. Gala 3-5, 19–32.
Ros, M.T., Vernet, J.L., 1987. L'environnement végétal de l'homme du Néolithique à l'Age du Bronze dans le Nord-Est de la Catalogne: Analyse anthracologique de la Cova del Frare. In: Sant Llorenç del Munt (Matadepera, Barcelona), Premières Communautés Paysannes en Méditerranée occidentale. Colloque Internationale du CNRS, Montpellier, pp. 125–129.
San-Miguel-Ayanz, J., de Rodrigo, D., Caudillo, G., Houston-Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), 2016. European Atlas of Forest Tree Species. European Commission, Luxemburg.
Santini, L., Benítez-López, A., Maiorano, L., Čengić, M., Huijbregts, M.A.J., 2021. Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research. Divers. Distrib. 27 (6), 1035–1050. https://doi.org/10.1111/ddi.13252.
Schweingruber, F.H., 1990. Mikroskopische Holzanatomie. Anatomie Microscopique du Bois. Microscopic Wood Anatomy, 3rd ed. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf.
Senabre, M.R., Socias, J., 1993. Camí de Santa Maria dels Horts (Vilafrana del Penedès, Alt Penedès). Memòria de l'excavació d'urgència. Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya, Barcelona.
Serrada, R., Montero, M., Reque, J., 2008. Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA and FUCOVASA, Madrid.
Shachak, M., Boeken, B., Groner, E., Kadmon, R., Lubin, Y., Meron, E., Ne'Eman, G., Perevolotsky, A., Shkedy, Y., Ungar, E.D., 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. BioScience 58 (3), 209–221. https://doi.org/10.1641/B580307.
Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C.G., Sousa-Guedes, D., Martínez-Freiría, F., Real, R., Barbosa, A.M., 2021. Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. Ecol. Model. 456, 109671 https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671.
Sillero, N., Brito, J.C., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., 2009. Biogeographical patterns derived from remote sensing variables: the amphibians and reptiles of the Iberian Peninsula. Amphibia-Reptilia 30, 185–206. https://doi.org/10.1163/156853809788201207.
Sillero, N., Campos, J.C., Arenas-Castro, S., Barbosa, A.M., 2023. A curated list of R packages for ecological niche modelling. Ecol. Model. 476, 110242 https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110242.
Smith, W., 1999. Fuel for thought: Archaeobotanical evidence for the use of alternatives to wood fuel in late antique North Africa. J. Mediterr. Archaeol. 11 (2), 191–205. https://doi.org/10.1558/jmea.v11i2.191.
Sun, J., Jiao, W., Wang, Q., Wang, T., Yang, H., Jin, J., Feng, H., Guo, J., Feng, L., Xu, X., Wang, W., 2021. Potential habitat and productivity loss of Populus deltoides industrial forest plantations due to global warming. For. Ecol. Manag. 496, 119474 https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119474.
Terradas, J., 1997. Holm Oak and Holm Oak Forests: an introduction. In: Roda, F., Retana, J., Garcia, C.A., Bellot, J. (Eds.), Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 3–14.
Théry-Parisot, I., 2002. Gathering of firewood during the palaeolithic. In: Thiébault, S. (Ed.), Charcoal Analysis. Methodological Approaches. Palaeoecological Results and Wood Uses. Proc. 2nd Int. Meeting of Anthracology, vol. 1063. Oxford, BAR, Paris, pp. 243–249. International Series.
Uzquiano, P., 2018. Vegetation, firewood exploitation and human settlement in northern Spain in relation to Holocene climate and cultural dynamics. Quat. Int. 463, 414–424. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.10.034.
Uzquiano, P., Ruiz-Zapata, M., Gil-Garcia, M., Fernández, S., Carrión, J.S., 2016. Late quaternary developments of Mediterranean oaks in the Atlantic domain of the Iberian Peninsula: the case of the Cantabrian region (N Spain). Quat. Sci. Rev. 153, 63–77. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.10.013.
Vaz, M., Pereira, J.S., Gazarini, L.C., David, T.S., David, J.S., Rodrigues, A., Maroco, J., Chaves, M.M., 2010. Drought-induced photosynthetic inhibition and autumn recovery in two Mediterranean oak species (Quercus ilex and Quercus suber). Tree Physiol. 30 (8), 946–956. https://doi.org/10.1093/treephys/tpq044.

Vessella, F., Schirone, B., 2013. Predicting potential distribution of Quercus suber in Italy based on ecological niche models: conservation insights and reforestation involvements. For. Ecol. Manag. 304, 150–161. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.006.

Vidal-Matutano, P., Henry, A., Théry-Parisot, I., 2017. Dead wood gathering among Neanderthal groups: charcoal evidence from Abric del Pastor and El salt (eastern Iberia). J. Archaeol. Sci. 80, 109–121. https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.03.001.

Vila, S., Piqué, R., 2012. Paisatge vegetal i gestió del combustible a la plana occidental catalana entre el neolític i l'edat mitjana: estat de la qüestió des de l'anàlisi antracològica. Revista d'Arqueologia de Ponent 22, 9–36.

Vila, S., Piqué, R., 2012. Paisatge vegetal i gestió del combustible a la plana occidental catalana entre el neolític i l'edat mitjana: estat de la qüestió des de l'anàlisi antracològica. Revista d'Arqueologia de Ponent 22, 9–36.

Walker, M., Head, M.J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L., Fisher, D. A., Gkinis, V., Long, A.J., Lowe, J., Newnham, R.M., Rasmussen, S.O., Weiss, H., 2018. Formal ratification of the subdivision of the holocene series/epoch (quaternary system/period): two new global boundary Stratotype sections and points (GSSPs) and three new stages/subseries. Int. Union Geol. Sci. 41 (4), 213–223. https://doi.org/10.18814/epiiugs/2018/018016.

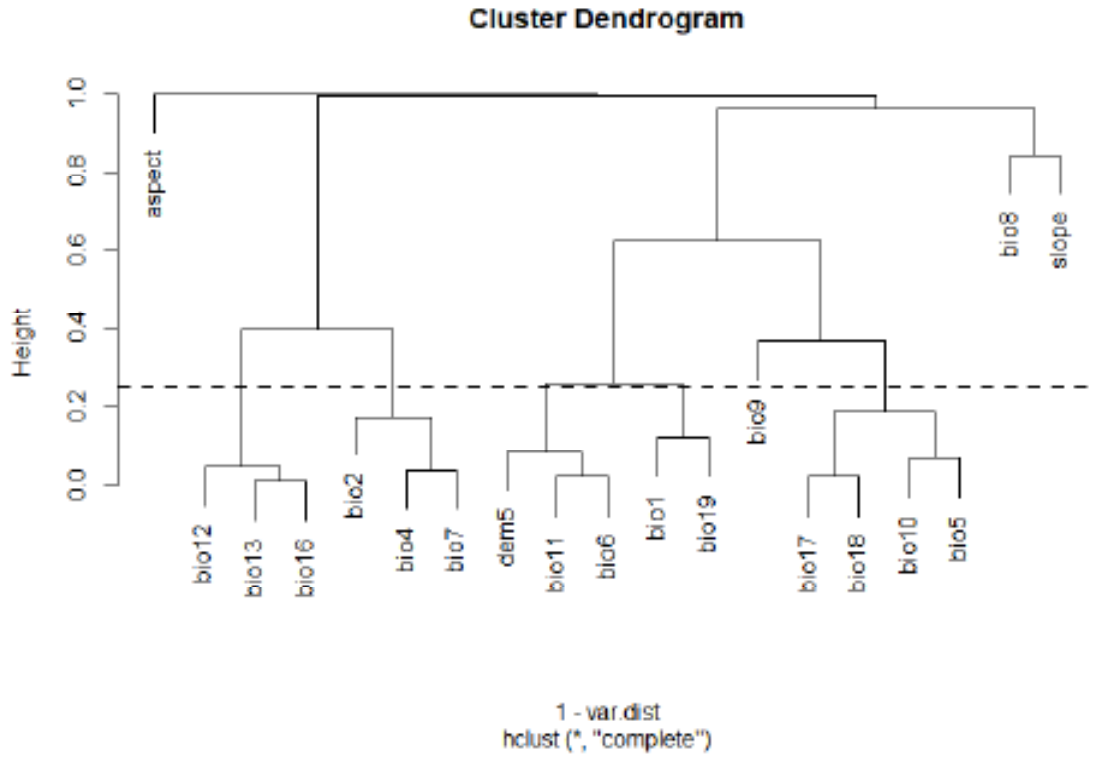
Warren, D.L., Seifert, S.N., 2011. Ecological Niche Modeling in Maxent: the Importance of Model Complexity and the Performance of Model Selection Criteria, 21, pp. 335–342. https://doi.org/10.1890/10-1171.1.

Weniger, G.C., de Andrés-Herrero, M., Bolin, V., Kehl, M., Otto, T., Potì, A., Tafelmaier, Y., 2019. Late glacial rapid climate change and human response in the westernmost Mediterranean (Iberia and Morocco). PLoS One 14 (12), e0225049. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225049.

Weninger, B., Clare, L., Rohling, E., Bar-Yosef, O., Böhner, U., Budja, M., Bundschuh, M., Feurdean, A., Gebe, H.G., Jöris, O., Linstädter, J., Mayewski, P., Mühlenbruch, T., Reingruber, A., Rollefson, G., Schyle, D., Thissen, L., Todorova, H., Zielhofer, C., 2009. The impact of rapid climate change on prehistoric societies during the Holocene in the eastern Mediterranean. Documenta Praehistorica 36, 7–59. https://doi.org/10.4312/dp.36.2.

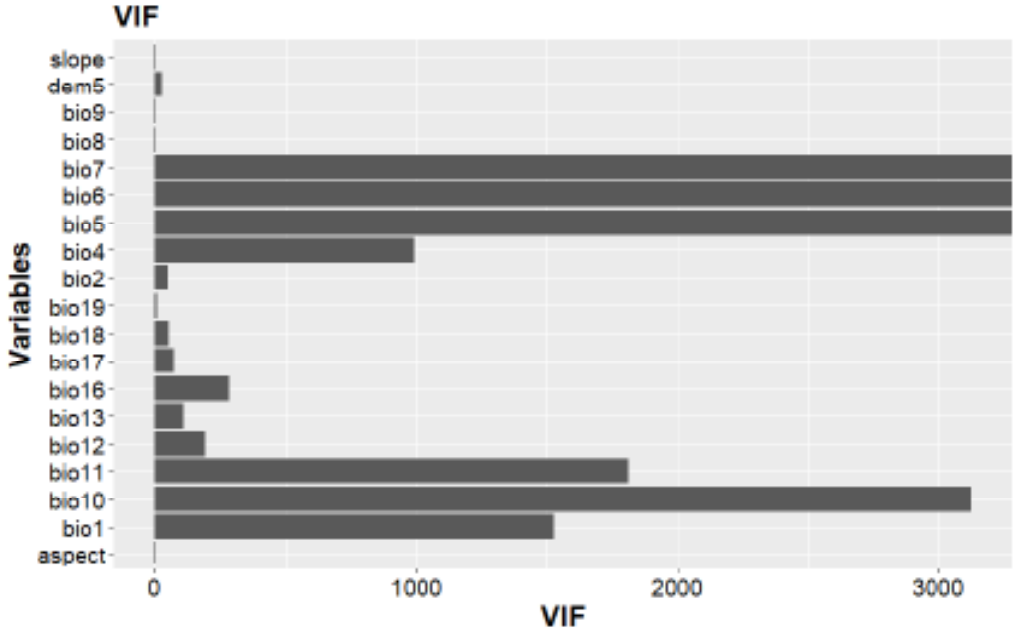
Wolf, C., Bell, D.M., Kim, H., Nelson, M.P., Schulze, M., Betts, M.G., 2021. Temporal consistency of undercanopy thermal refugia in old-growth forest. Agric. For. Meteorol. 307, 108520 https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108520.

Supplementary Material 1A. See attached figure for a clustered dendrogram (with Pearson's distance) of bioclimatic variables from Worldclim.org (Fick and Hijmans, 2017) and three geographical variables generated with ArcGis program from a DEM (Digital Elevation Model).

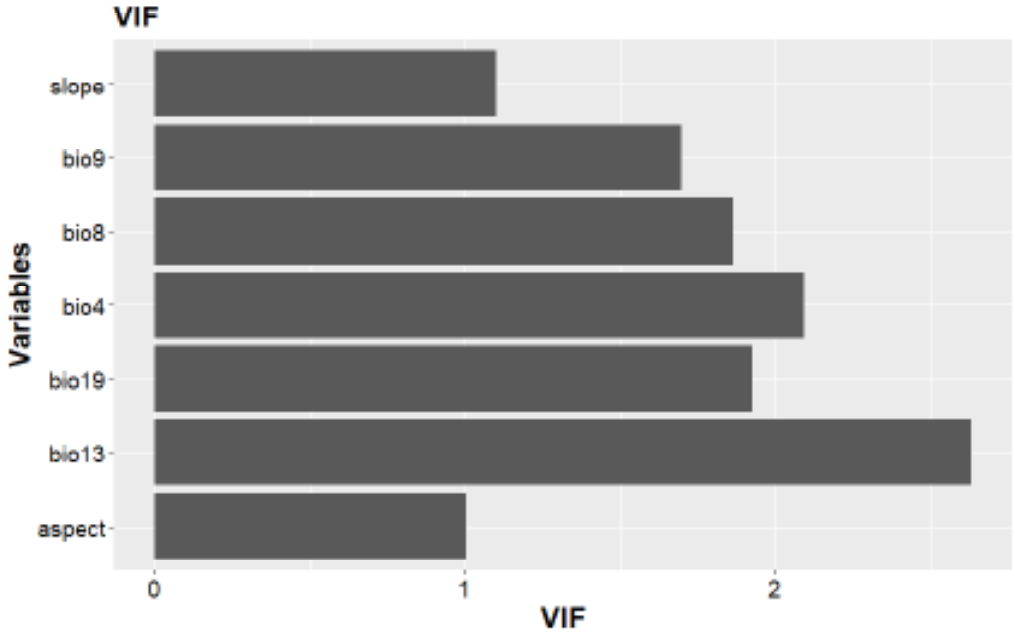


Supplementary Material 1B. See attached figure with VIF's results.

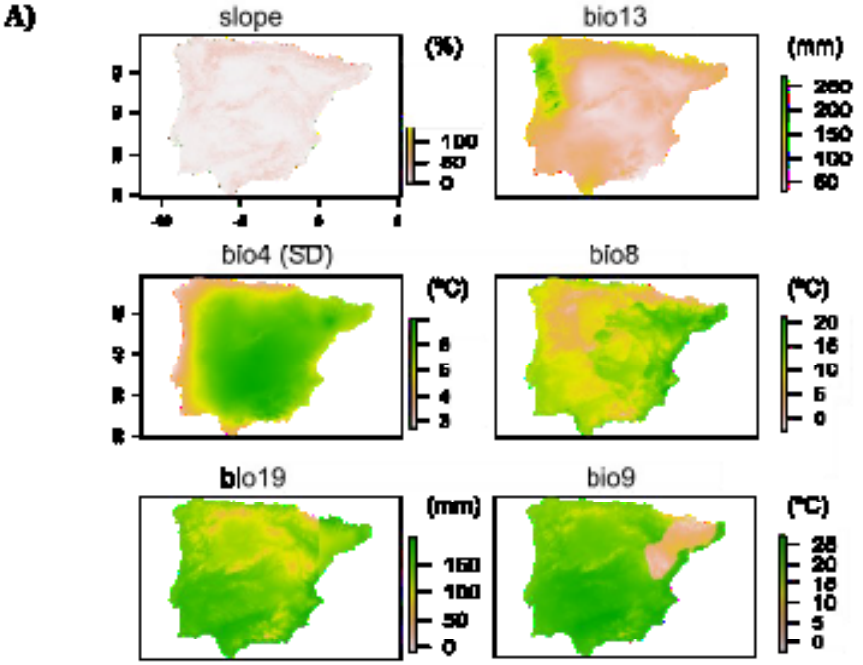
Total variables:

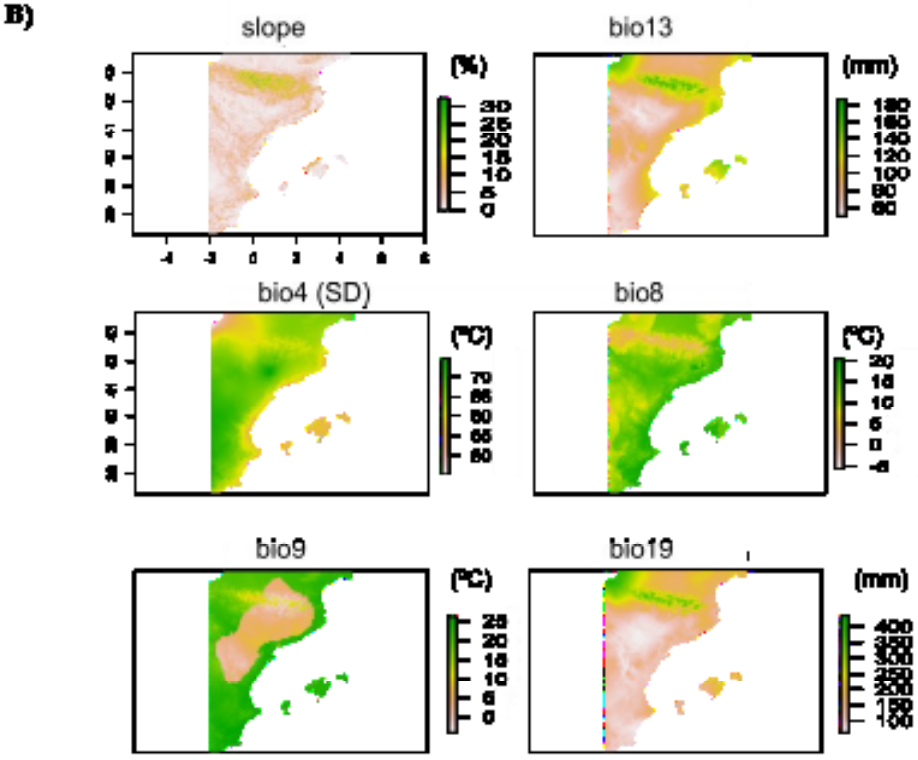


Variables with VIF value <3:



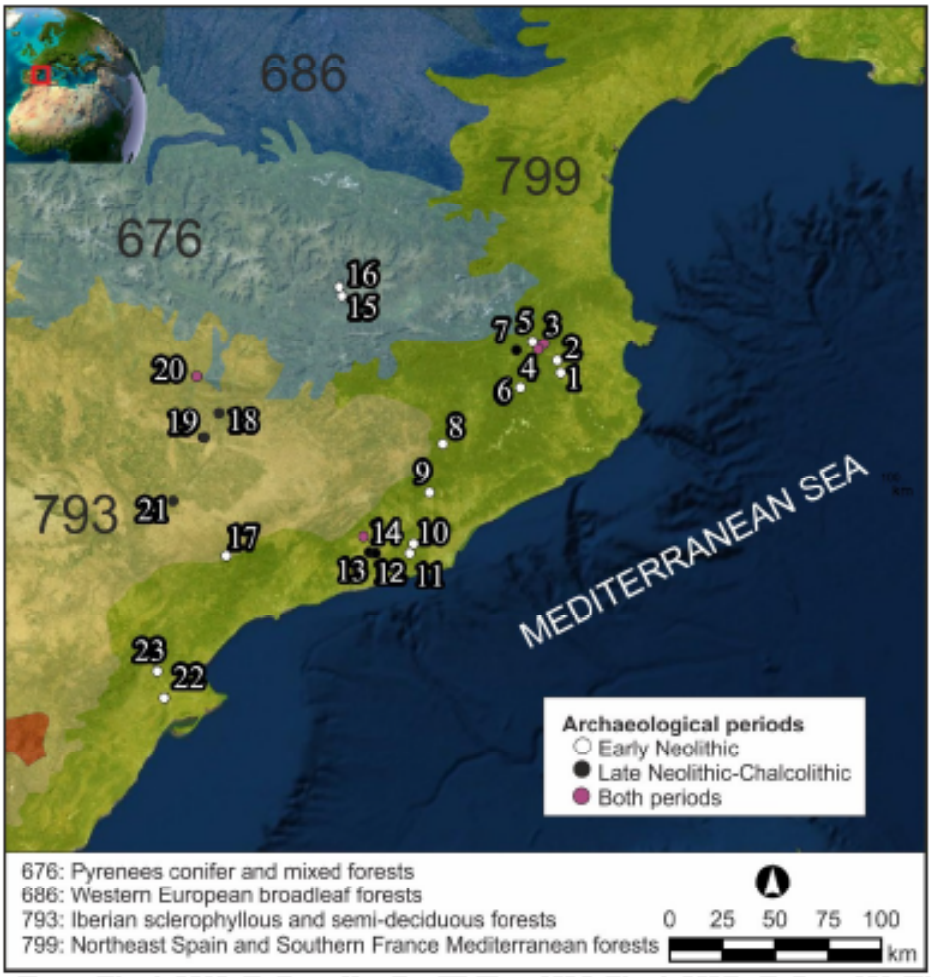
Supplementary Material 1C. The picture shows A) the current variables and B) the Middle Holocene variables selected for both Maxent models.





Supplementary Material 2

a) Location map of Middle Holocene archaeological sites reviewed for this study, which have been overlapped in current ecoregions (Dinerstein et al., 2017).



1) La Draga (Piqué, 2005; 2) Cova d'en Pau III (Ros, 1996; Piqué, 2005); 3) Cova 120 (Piqué, 2005); 4) Bauma del Serrat del Pont (Piqué, 2005); 5) Plansallosa (Ros, 1995; Piqué, 2005); 6) Cova de l'Avellaner (Ros, 1996); 7) Cova Pruneta (Piqué, 2005); 8) Cova del Toll (Mas and Alluè, 2020); 9) Cova del Frare (Ros, 1996); 10) Cova Bonica (Daura et al., 2019); 11) Can Sadurní (Antolín et al., 2013); 12) Santa Maria dels Horts (Senabre and Socias, 1993); 13) La Serreta (Alluè, 2010); 14) Cova de la Guineu (Alluè et al., 2009); 15) Camp del Colomer (Piqué et al., 2015); 16) Bauma Margineda (Heinz, 1995); 17) Coves del Fem (Alcolea, 2017); 18) Cova Gran (Alluè, unpublished); 19) Auvelles (Martin and Piqué, 2008); 20) Cova Colomera (Mas et al., 2022); 21) Roques del Sarró (Vila and Piqué, 2012); 22) Barrane d'en Pahra (Ros, 1996); 23) Cova del Vidre (Alcolea, 2007).

Supplementary Material 2

b) Table with Middle Holocene anthracological data. The table shows the relative frequencies of taxa (%), totally analyzed charcoal fragments (a) and the count of identified taxa from the NE Iberian Peninsula.

Supplementary Material 2

c) Dendrogram of the cluster analysis based on Manhattan distance for Middle Holocene anthracological data from NE Iberian Peninsula, according to the relative frequencies from the Table b .

