



Universitat Autònoma de Barcelona

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  [http://cat.creativecommons.org/?page\\_id=184](http://cat.creativecommons.org/?page_id=184)

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



Universitat Autònoma de Barcelona



**Doctorat en Arqueologia Prehistòrica de la UAB - UDC**  
Facultat de Filosofia i Lletres, Departament de Prehistòria

Tesis doctoral titulada:

# **OCUPACIÓN E IMPACTO HUMANO EN LA ALTA MONTAÑA DURANTE LA PREHISTORIA**

**Un estudio arqueambiental de Aigüestortes  
(8 - 4 ka cal BP) mediante el análisis de fitolitos**

Tesis doctoral presentada por:

**David Rodríguez-Antón**

Bajo la dirección científica de:

**Rosa María Albert y Ermengol Gassiot**

**Cerdanyola del Vallès**

**2020**

A Carla, mi compañera.

Y a nuestros hijos,

Aran y Nora.

# PRÓLOGO

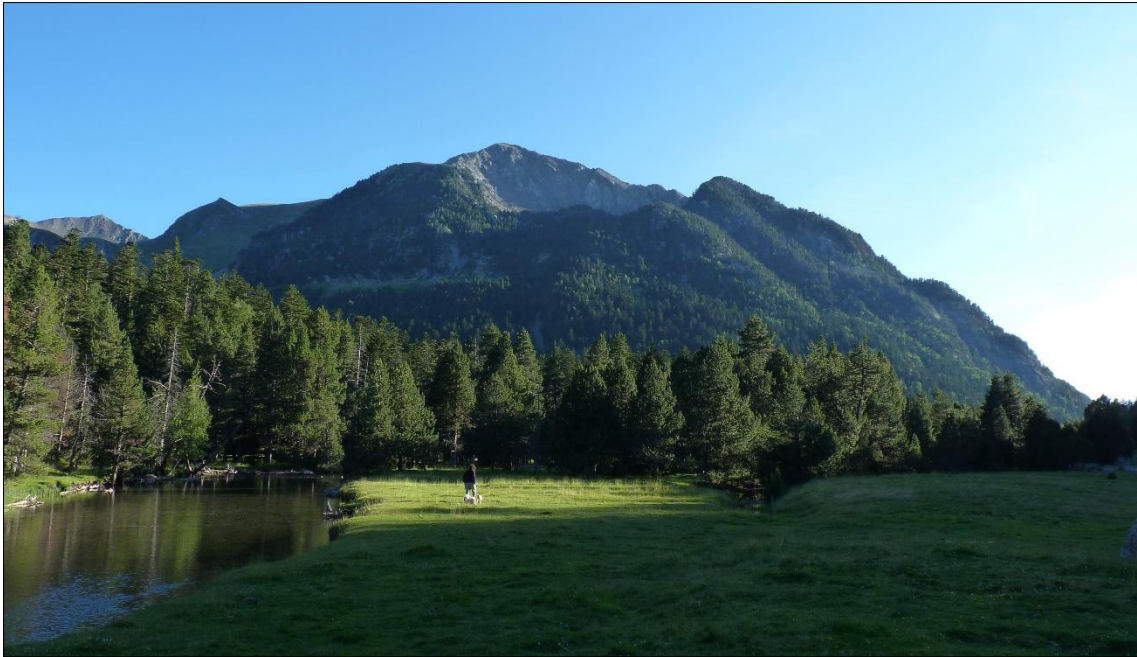
Es difícil delimitar, clara y concisamente, cual es el primer origen, el punto de partida que predibujó esta investigación que hoy se concreta en esta tesis doctoral. Sin duda, los orígenes son múltiples e inseparables de la historia de vida este autor.

Un posible y no injusto inicio podría ser el siguiente. Una tarde de verano descubrí un valle verde, de altos abetos que crecen rectos, acariciados por un sol crepuscular, serpenteado por un río plateado y saltarín, rematado, en las alturas, por grandes neveros blancos que dejan caer largas cascadas por angostos valles. En medio del valle de Sant Nicolau hay una pequeña planicie rodeada de abruptas montañas, conocida como Aigüestortes o Sant Esperit.

En las páginas venideras, podréis leer otros orígenes, menos poéticos, más razonados, cargados de preguntas sociales, históricas y científicas; premisas teóricas, disquisiciones prácticas sobre metodologías operativas y resultados de analíticas, integrados en modelos de interpretación del paisaje. Pero, dejemos la ciencia para las páginas venideras. Por un momento, quedémonos en la simple y llana contemplación del paisaje que os acabo de describir. Observemos los colores del atardecer, escuchemos el canto de los pajarillos, el susurro de un viento fresco y el estrépito de las sucesivas cascadas. Este es, y no otro, el verdadero punto de partida que da pie y razón a esta tesis doctoral. La contemplación humilde de una naturaleza viva, humana e inmensa.

Después llegó la curiosidad, la necesidad de entenderla, de comprender cómo se había conformado, qué era aquello. Buscamos la información escondida, bajo el musgo, bajo la tierra, entre las rocas. Descubrimos que había un pasado, una historia. Que aquel lugar, había cambiado, que está en permanente cambio, que es como el agua del río que fluye hacia la Noguera, sin detenerse jamás.

En algún sentido, podríamos afirmar que esta tesis no se entiende sin el deambular itinerante de sus investigadores sobre el objeto mismo de estudio, que no es otro la relación dialéctica entre los seres humanos y las montañas, a lo largo del tiempo. Sin esa relación, tan humana como necesaria, con el paisaje y con nosotros mismos, no habría habido ni tesis, ni historia que narrar. Pero como la elaboración de esta tesis toma como base de datos un pedacito de mi vida, y mi vida, sin la montaña y la arqueología no sería explicable, no voy a contaros aquí mi vida, por no extenderme más.



**“Πάντα ῥεῖ”**

*“Todo fluye”*

Heráclito de Éfeso, c. 480 ANE

*“Nanos gigantum humeris insidentes”*

Τόπico latino

*“If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants”*

Isaac Newton, 1665

# AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar, es justo reflejar que esta tesis doctoral no habría sido posible sin un inmenso trabajo colectivo del cual es un simple fruto.

En primer lugar, debo reconocer el encomiable trabajo de Ermengol Gassiot. No solo y en tanto que director y tutor académico de este trabajo, que también, sino, especialmente, porque si no hubiésemos comenzado a caminar juntos por las montañas que acogen este estudio, nunca nos hubiésemos hecho las preguntas que nos han llevado a descubrir aquello que estaba oculto, que no era visible, ni para nosotros ni para nadie aún.

En segundo lugar, y no menos imprescindible, quiero agradecer su excelente dirección científica a Rosa Albert, sin la cual, sencillamente no habría logrado nunca llegar a concretar este trabajo en una verdadera tesis doctoral, innovadora y útil. Ella me ha guiado por el recóndito camino de los fitolitos, resolviendo mis dudas y contribuyendo decisivamente a cortar algunos nudos gordianos que atenazaban esta investigación, con ingenio y decisión.

Afirmar que esta tesis es fruto de un esfuerzo colectivo es quedarse corto. Sinceramente, esta tesis, es un trabajo coral. Ciertamente es que quién aquí firma es el único responsable de los errores, omisiones o desaciertos de esta tesis, a pesar de la ayuda inconmensurable de sus directores, colaboradoras y colegas. No obstante, por respeto y simple honestidad, he optado por redactar este texto en plural. No se trata de un plural mayestático, por supuesto. Se trata de un *pluralis auctoris*, dado el valor inmenso de la dirección científica de esta tesis doctoral y de las colaboraciones desinteresadas de amigos, colegas y compañeras, tanto en el trabajo de campo como de laboratorio, así como del enorme volumen de información empírica acumulada en estos años de trabajo de campo previo.

Quiero destacar mi más sentido agradecimiento hacia algunas personas que, desinteresadamente, han contribuido especialmente en este trabajo y que aparecerán justamente referenciadas como autoras o autores de analíticas de laboratorio o análisis parciales que aparecen comentados o discutidos en el texto.

A Jordi Revelles, su ayuda tanto en los trabajos de campo como en los estudios polínicos. A Laura Obea, Raquel Cunill y Salvia García por su interpretación de los carbones. A Anna Bonet y a Vasiliki Andreaki por la extracción y estudio de láminas de micromorfología.

Además, hay una serie de personas e instituciones a las que quiero y debo agradecer explícitamente su apoyo, sin el cual esta tesis no habría llegado nunca a ver la luz.

A la Institución Milà i Fontanals del CISC y, particularmente, a los compañeros científicos del departamento de Arqueología y Antropología, por su apoyo y formación: Ignacio Clemente, Assumpció Vila, Xavier Terradas, Débora Zurro, Millán Mozota, Niccolò Mazzucco y un largo etcétera. También a quienes me iniciaron en este trabajo de investigación: Marco Madella y Andrea Balbo. Igualmente, agradezco a la institución del CSIC por haber podido realizar numerosas analíticas en su laboratorio, del que tuve el honor de formar parte.

Al Departament de Prehistòria de la UAB y a todos los compañeros que lo conformamos: Miquel Molist, Maria Saña, Joan Anton, Laura Mameli, Lluís, Rafa, etc., y, muy especialmente, al profesor Jordi Estévez, por enseñarme a mirar desde otro punto de vista. A las pioneras, que abrieron vía, y nos dejaron demasiado pronto: Lydia Zapata, Encarnació Sanahuja y Gabriel Alcalde. Quiero agradecer, particularmente, a Raquel Piqué y al resto de integrantes del laboratorio de arqueobotánica de la UAB su ayuda técnica, científica y personal. Así como a todos los colegas y compañeras de la caseta: Ana Berrocal, Vanesa Navarrete, Albert, Rosario, Roger, Robert, Quim, Elo...

A las compañeras de barraca y barricada, porque la universidad, no es solo estudiar, también hay que defenderla y construirla entre todas, cada mañana: Petra, Maria, Marc, David, Pedro, Merce, Sara, Laura, Guillem...

En este punto, es justo y necesario destacar que ésta es una tesis del Grup d'Arqueologia d'Alta Muntanya – GAAM. La financiación de los trabajos de campo y de laboratorio, la ayuda logística y el apoyo científico y personal se lo debo a mi grupo de investigación. Un grupo modesto pero orgulloso del trabajo que hacemos con los recursos que disponemos. Muy especialmente, esta tesis está dedicada a los amigos y compañeras del grupo de arqueología de alta montaña: Laura, Sara, Ermen, Nacho, Guillem, David, Nico, Lolo... y a todos los que habéis contribuido a hacer posible nuestra investigación colectiva.

Ahora que ya estamos llegando al final de los agradecimientos, no podría olvidarme del primer origen que os relataba al principio, y con él, de aquellos veranos en el Sardo y todas sus campañas de excavación. Algunos de cuyos resultados aún van a dar que hablar en esta tesis, una década después. Me acuerdo de todos y de todas las que pasasteis por allí, aunque no pueda citaros a todas, por no extenderme aún más: Aleix y Guifrè Bombilà, Mireia Celma, Virginia García, Irene, Ingrid, Marta Juárez, Jordi Jiménez, Oscar Augè...

A todas y todos los que en mayor o en menor medida habéis compartido conmigo el amor por las montañas y la arqueología, en tantas y tantas campañas caminando bajo la lluvia, la nieve o el sol abrasador: Elsa, Lorena, Berta, Sabina, Astur, Mikel Etxebarria, Oriol López, y tantas y tantos otros, que tendréis que disculparme por no haberos mencionado en estas líneas.

A Miguel Garau, Manuel Alcaraz y Miguel Cano.

A Flavia Carolina.

A mis amigos.

A mis amigas.

A mi familia.

Y muy particularmente, a mi madre.



## RESUMEN

Esta tesis doctoral investiga sobre el poblamiento prehistórico de la alta montaña en los Pirineos catalanes occidentales, concretamente, en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Lleida).

En particular, este trabajo de investigación se distingue por presentar una propuesta metodológica innovadora, que contribuye al estudio de la ocupación humana de las montañas durante el Neolítico.

La metodología arqueológica desarrollada se enfoca en la detección de las actividades productivas realizadas por las comunidades agropastorales prehistóricas, su gestión ambiental y su impacto en el medio. Para ello, se han analizado los fitolitos procedentes de diferentes tipos de depósitos sedimentarios. Estos microrestos son cuerpos silíceos producidos por las plantas, que nos informan de la composición vegetal de los sedimentos. Los fitolitos son un indicador de las actividades realizadas por las sociedades con las plantas y su impacto en el paisaje.

El análisis de fitolitos se ha integrado como una herramienta para el estudio de las ocupaciones prehistóricas en la alta montaña de los Pirineos por primera vez.

Además, como propuesta de investigación bioarqueológica integral, los resultados obtenidos en esta tesis se han interpretado en relación con otros restos biológicos documentados en los sedimentos analizados, como los carbones, el polen, las diatomeas o la materia orgánica.

## RESUM

Aquesta tesi doctoral investiga sobre el poblament prehistòric a l'alta muntanya dels Pirineus catalans occidentals, més concretament, al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Lleida).

En particular, aquest treball de recerca es distingeix per presentar una proposta metodològica innovadora, que contribueix a l'estudi de l'ocupació humana de les muntanyes durant el Neolític.

La metodologia arqueològica desenvolupada s'adreça a la detecció de les activitats productives realitzades per les comunitats agroramaderes prehistòriques, la seva gestió ambiental i el seu impacte en el medi. Amb aquest objectiu s'han analitzat els fitòlits procedents de diferents tipus de dipòsits sedimentaris. Aquestes microrestes són cossos silícis produïts per les plantes, que ens informen de la composició vegetal dels sediments. Els fitòlits són un bon indicador per a l'estudi de les activitats que les societats feien amb les plantes i la conseqüent generació de paisatges socials.

L'anàlisi de fitòlits s'ha integrat en aquesta tesi com una eina per a l'estudi de les ocupacions prehistòriques en zones d'alta muntanya dels Pirineus per primer cop.

A més, com a proposta d'investigació bioarqueològica integradora, els resultats obtinguts s'han interpretat tenint en compte altres restes biològiques presents als sediments analitzats, com ara els carbons, el pol·len, les diatomees o la matèria orgànica.

## **ABSTRACT**

This Ph.D dissertation focuses on the prehistoric settlement at high mountain areas of the western Catalan Pyrenees, particularly, in Aigüestortes i Estany de Sant Maurici National Park (Lleida).

More specifically, this research work distinguished by an innovative methodological approach, which contributes to the study on human mountain occupation during Neolithic.

The archaeological method is focused to detect the activities carried out by these agropastoral populations, the natural resources exploited and the impact caused on environment. Different sedimentary deposits were studied, in order to analyse silica phytoliths. They are siliceous bodies produced by plants, used as a proxy for detecting human activities on plants and their impact on landscape.

Phytolith analysis is integrated as a tool for studying the prehistoric occupations in the high-altitude areas at the Pyrenees for the first time.

In addition, into an integrated bioarchaeological approach, the results obtained are interpreted taken into account other biological remains analysed in sediments, such as charcoal, pollen, diatoms and organic matter.

# ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	16
<b>1.1.</b>	<b>El estudio de los fitolitos en zonas de montaña</b>	21
<b>1.2.</b>	<b>Diseño de la investigación</b>	25
	1.2.1. Desarrollo de la tesis	28
	1.2.2. Objetivos	30
<b>1.3.</b>	<b>Posición teórica</b>	33
	1.3.1. El método científico en arqueología	34
	1.3.2. Una arqueología social ecológica	35
	1.3.2.1. Arqueología social	37
	1.3.2.2. Ecología cultural	40
	1.3.2.3. Contradicciones entre teorías	41
	1.3.2.4. Síntesis: una arqueología ecológica social	43
	1.3.2.5. El enfoque arqueambiental	45
	1.3.3. El paisaje de alta montaña	48
<b>2.</b>	<b>MEDIO AMBIENTE</b>	52
<b>2.1.</b>	<b>La alta montaña alpino</b>	54
	2.1.1. Bioclimas y ecorregiones europeas	58
	2.1.2. La superprovincia alpino-pirenaica	60
	2.1.3. Pisos bioclimáticos alpino-pirenaicos	62
	2.1.4. Geomorfología de los Pirineos	65
	2.1.5. Vegetación del Pirineo axial central	68
	2.1.5.1. Formaciones vegetales potenciales	69
	2.1.5.2. Formaciones vegetales antrópicas	74
<b>2.2.</b>	<b>Caso de Estudio</b>	79

2.2.1.	El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici	79
2.2.2.	El valle de Sant Nicolau (1300 – 3000 m)	80
<b>2.3.</b>	<b>Estudio del cambio ambiental</b>	<b>86</b>
2.3.1.	Cambio climático y evolución del paisaje	86
2.3.2.	Evolución del paisaje en el valle de Sant Nicolau	90
2.3.3.	El valle de Sant Nicolau durante los últimos 19 ka	91
	2.3.3.1. Morfogénesis del valle de Sant Nicolau	93
	2.3.3.2. Evolución bioclimática de la vegetación en el Valle de Sant Nicolau	96
<b>3.</b>	<b>EL POBLAMIENTO PREHISTÓRICO DE LA ALTA MONTAÑA</b>	<b>101</b>
<b>3.1.</b>	<b>La ocupación prehistórica de los Pirineos</b>	<b>103</b>
3.1.1.	La frecuentación de los Pirineos por sociedades cazadoras-recolectoras	103
3.1.2.	La ocupación de los Pirineos por sociedades agroganaderas	113
<b>3.2.</b>	<b>El poblamiento prehistórico de los pisos alpino y subalpino</b>	<b>120</b>
3.2.1.	La presencia mesolítica (10,7 – 7,5 ka cal BP)	121
3.2.2.	La ocupación neolítica (7,5 – 4,5 ka cal BP)	125
	3.2.2.1. El Neolítico antiguo (7,5 – 6,5 ka cal BP)	127
	3.2.2.2. El Neolítico medio (6,5 – 5,5 ka cal BP)	130
	3.2.2.3. El Neolítico final y Calcolítico (5,5 – 4,5 ka cal BP)	131
3.2.3.	La Edad del Bronce (4,2 – 2,8 ka cal BP)	133
<b>3.3.</b>	<b>La ocupación prehistórica del PNAESM</b>	<b>135</b>
3.3.1.	La ocupación prehistórica del PNAESM (10 – 2,5 ka cal BP)	137
3.3.2.	La ocupación del valle de Sant Nicolau durante el Holoceno medio	142
	3.3.2.1. La Cova del Sardo de Boí (1774 m snm)	143
	3.3.2.2. Cronología de las ocupaciones prehistóricas en la Cova del Sardo	144

3.3.2.3. Secuencia estratigráfica de las ocupaciones neolíticas de la Cova del Sardo	145
3.3.2.4. Estudios arqueobotánicos de la Cova del Sardo	151
3.3.2.5. Estudios polínicos del Valle de Sant Nicolau	154
3.3.2.6. Estado de la investigación	158
<b>4. FITOLITOS</b>	<b>160</b>
<b>4.1. El estudio de los fitolitos</b>	<b>161</b>
<b>4.2. Fitolitos</b>	<b>163</b>
<b>4.3. Procesos postdepositacionales</b>	<b>164</b>
<b>4.4. Los conjuntos de fitolitos sedimentarios</b>	<b>166</b>
<b>4.5. La clasificación de los Fitolitos</b>	<b>169</b>
<b>4.6. Morfotipos de fitolitos empleados en esta tesis</b>	<b>171</b>
<b>4.7. Relación entre plantas y fitolitos</b>	<b>188</b>
<b>5. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>190</b>
<b>5.1. La composición biológica de los sedimentos</b>	<b>191</b>
5.1.1. Microrestos biológicos en sedimentos	192
5.1.2. Macrorestos vegetales	194
<b>5.2. Estudio de la colección de referencia de fitolitos en plantas alpinas y     Subalpinas</b>	<b>195</b>
5.2.1. Especies de plantas estudiadas	196
5.2.2. La producción de fitolitos por especies	198
<b>5.2. Diseño del muestreo paleosedimentario</b>	<b>204</b>
5.3.1. Localización de los muestreos sedimentarios	204
5.3.2. El muestreo de los espacios de hábitat	213
5.3.3. El muestreo del entorno de las áreas de ocupación	216
5.3.3.1. Resultados arqueobotánicos	220
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>226</b>

<b>6.2.</b>	<b>Muestras analizadas</b>	227
6.2.1.	Muestras procedentes de yacimientos arqueológicos	228
6.2.1.1.	Abrigo de Obagues de Ratera (2312 m snm)	229
6.2.1.2.	Cova del Sardo de Boí (1774 m)	231
6.2.2.	Sondeos de suelos	237
6.2.2.1.	Pleta d'Erdo (AS 1) (2254 m)	237
6.2.2.2.	Forcall de Sant Esperit (AS 2) (1771 m)	239
<b>6.3.</b>	<b>Análisis de Fitolitos</b>	242
6.3.1.	La extracción de fitolitos en sedimentos	243
6.3.2.	Observación, determinación y clasificación	245
6.3.3.	Análisis morfológico cuantitativo	251
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b>	254
<b>7.1.</b>	<b>Resultados del análisis cuantitativo de fitolitos en yacimientos arqueológicos</b>	255
7.1.1.	Análisis de la concentración de fitolitos	256
7.1.2.	Análisis morfológico	259
7.1.3.	Análisis por unidades estratigráficas	269
7.1.3.1.	Abric de les Obagues de Ratera – AOR	270
7.1.3.2.	Cova del Sardo de Boí – CdS	271
<b>7.2.</b>	<b>Resultados del análisis cuantitativo de fitolitos en sondeos de suelos</b>	277
7.2.1.	Análisis de la concentración de fitolitos	277
7.2.2.	Análisis morfológico	280
7.2.3.	Análisis por unidades estratigráficas	292
7.2.3.1.	Pleta d'Erdo – AS 1	293
7.2.3.2.	Forcall de Sant Esperit – AS 2	295
<b>8.</b>	<b>INTERPRETACIÓN</b>	299
<b>8.1.</b>	<b>La ocupación prehistórica del piso subalpino</b>	300

8.1.1.	Abric de les Obagues de Ratera – AOR	300
8.1.2.	Cova del Sardo – CdS	303
8.1.2.1.	Neolítico final / Calcolítico (3300-2500 cal ANE)	306
8.1.2.2.	Neolítico medio (4200 – 3500 cal ANE)	309
8.1.2.3.	Neolítico antiguo (5500 – 4400 cal ANE)	311
<b>8.2.</b>	<b>El impacto humano en el paisaje</b>	<b>315</b>
8.2.1.	Pleta d’Erdo - AS 1	317
8.2.1.1.	Nivel O1. Horizonte superficial orgánico	318
8.2.1.2.	Nivel C. Horizonte inorgánico de gravas y limos	319
8.2.2.	Forcall de Sant Esperit - AS 2	322
8.2.2.1.	Nivel O1. Horizonte superficial orgánico	323
8.2.2.2.	Nivel A1. Horizonte orgánico tipo AO	324
8.2.2.3.	Nivel A2. Paleosuelo	325
8.2.2.4.	Nivel B. Horizonte tipo B	327
8.2.2.5.	Nivel C. Horizonte inorgánico tipo C	329
<b>9.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>330</b>
<b>9.1.</b>	<b>Espacios de hábitat y consumo</b>	<b>332</b>
<b>9.2.</b>	<b>Áreas de producción y gestión ambiental</b>	<b>334</b>
<b>9.3.</b>	<b>El paisaje como producto ecológico social</b>	<b>336</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>337</b>
<b>11.</b>	<b>GLOSARIO</b>	<b>342</b>
<b>12.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>355</b>
<b>13.</b>	<b>RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS</b>	<b>386</b>
<b>14.</b>	<b>MATERIAL SUPLEMENTARIO</b>	<b>394</b>
<b>14.1.</b>	<b>Tablas</b>	<b>395</b>
<b>14.2.</b>	<b>Figuras</b>	<b>407</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

---

Enmarca nuestro programa de investigación doctoral y lo justifica a nivel teórico y metodológico.

En esta tesis nos enfocaremos en la comprensión del poblamiento humano en las zonas de alta montaña, particularmente, en el piso bioclimático subalpino (entre 1700 y 2400 m snm) (Rivas-Martínez, 1987) y, especialmente, durante el Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP)<sup>1</sup> (Walker et al., 2018). El desarrollo de la investigación no se limitará al estudio del yacimiento arqueológico, entendido como el lugar de hábitat, sino que observará también su entorno, fuera del yacimiento. El objetivo de éste estudio será detectar el impacto humano de las actividades productivas prehistóricas en el medio ambiente y la consecuente generación de paisajes sociales durante el neolítico (Berger y Guilaine, 2008; Revelles et al., 2018; Piqué et al., 2018;).

Nuestro caso de estudio se localiza en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici<sup>2</sup>, concretamente, en la planicie aluvial de Aigüestortes, en el curso central del valle de Sant Nicolau (Martínez-Rius et al., 2011). El principal yacimiento arqueológico que ha dado pie a esta tesis es la Cova del Sardo de Boí, aunque también hemos incluido en el estudio otros contextos al aire libre, como el Forcall de Sant Esperit, la Pleta d'Erdo y al Abric de les Obagues de Ratera<sup>3</sup>. Los dos primeros se sitúan en el fondo de valle, a unos 1800 metros de altura, en torno al Planell d'Aigüestortes, mientras, las otras dos se localizan en el piso subalpino superior, a unos 2300 m snm, en Vall de Llacs y en la cabecera el valle de Espot, respectivamente (Gassiot, 2006).

Nuestra investigación se fundamenta en el estudio arqueológico de los fitolitos (Albert y Portillo, 2014), que han sido muestreados sistemáticamente en los contextos estratigráficos de los espacios de hábitat prehistóricos, así como en catas de suelos localizados en su entorno inmediato.

---

<sup>1</sup> En términos generales, en esta tesis los intervalos cronológicos serán presentados, siempre, y por defecto, en: ka cal BP (*miles de años antes del presente*); empleando para ello un máximo de dos dígitos y un solo decimal separado por una (.). Por ejemplo: (8,2 – 4,2 ka cal BP).

<sup>2</sup> Abreviado: PNAESM.

<sup>3</sup> En adelante, los dos yacimientos arqueológicos analizados en esta tesis pueden aparecer abreviados de la siguiente forma: Cova del Sardo (CdS), Abric de les Obagues de Ratera (AOR).

Los fitolitos son cuerpos de sílice (Si) de células y parte de los tejidos, generalmente epidérmicos, de las plantas vasculares. Éstos pueden encontrarse en la mayoría de depósitos sedimentarios, estando presentes tanto en contextos de hábitat como en sedimentos puramente geológicos (Piperno, 2006; Albert et al., 2006 y 2018; Strömberg et al., 2018). Su presencia en el sedimento, en ocasiones es resultado de una determinada actividad humana en el pasado. Por lo que ha sido un bioresto utilizado tanto por la arqueología como por la paleoecología para investigar la vegetación y su relación con las sociedades humanas (Rosen, 1994; Albert, 2000; Weisskopf, 2010; Albert y Portillo, 2014; Tsartsidou et al., 2018; Rashid et al., 2019).

En esta tesis, su estudio ha sido contextualizado mediante la colección de referencia de fitolitos en plantas subalpinas europeas (Carnelli et al., 2001 y 2004). Además, hemos interpretado nuestros resultados integrando otros biorestos relacionados con la vegetación, como los carbones sedimentarios, el polen o las diatomeas, en un estudio sistemático de los depósitos sedimentarios, procedentes tanto de contextos arqueológicos de hábitat como de horizontes geológicos localizados en el entorno de los yacimientos.

El estudio de la historia del poblamiento de las zonas de alta montaña de los Pirineos centrales meridionales ha sido abordado en las últimos dos décadas por varios proyectos de investigación de diverso alcance diacrónico y metodológico, tanto desde la arqueología como desde la paleogeografía (Soriano et al., 2003; Pèlach, 2004; Ejarque, 2009; Orengo, 2010; Cunill, 2010; Mazzucco 2014, Garcia-Casas 2018). De hecho, ambas líneas convergen en un enfoque multidisciplinar que busca su integración, sentando algunas de las bases teóricas y metodológicas que hemos aplicado en el diseño de este trabajo de investigación doctoral (Catalan et al., 2013).

Esta tesis se enfoca en una realidad que es dual. Desde que las sociedades humanas habitan en un territorio, lo transforman, lo gestionan y lo humanizan (Esteban-Amat, 2003; Soriano et al., 2003; González-Álvarez, 2015). Partiendo de esta premisa no es posible abordar, con solvencia científica y rigurosidad empírica, el estudio diacrónico o histórico de un territorio desconociendo la influencia que las sociedades han tenido en su configuración paisajística (Criado-Boado, 2016). Desde el punto de vista opuesto, no es posible estudiar la historia de una población, de una sociedad, mediante una arqueología integral, desconociendo el territorio donde las comunidades humanas se han asentado (Binford, 2001; French, 2003). Ambos elementos, humanidad y geosistema conforman un único objeto de estudio para la ecología humana (Butzer, 1982).

Partiendo de esta esta premisa, se busca comprender cómo tuvo lugar la primera ocupación de un territorio de alta montaña, como es el valle de Sant Nicolau, situado en los Pirineos occidentales de Catalunya. Estas primeras ocupaciones permanentes o intensivas, fueron protagonizadas por sociedades agroganaderas que transformaban el territorio para desarrollar su forma de vida, basada en la producción de animales y plantas domésticas (Molist et al., 1996; Zapata et al., 2004; Antolín, 2015; Guilaine, 2018).

Desde el momento que enfocamos como objeto de estudio de esta tesis la historia de la relación existente entre las sociedades humanas y un medio ambiente particular, se hace necesario acotar tanto el área biogeográfica de la investigación, que hemos localizado en las zonas de alta montaña (Rivas-Martínez, 1987; Ninot et al., 2007), como el periodo cronológico de nuestra investigación, que hemos enfocado, especialmente, en el Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) (Walker et al., 2018). Si bien, para poder comprender mejor la información arqueológica y ecológica estudiada, hemos tenido presente que partimos de la observación empírica actual, desde donde tratamos de construir analogías válidas para hacer inferencias hacia el pasado (Binford, 1968 y 2001).

La decisión de acotar históricamente en este lapso temporal la investigación de un proceso diacrónico de larga duración, como es la génesis de los paisajes agropastorales de alta montaña, no se debe a una decisión arbitraria, sino al enfoque de la tesis, que se centra en el origen del impacto humano en los ecosistemas de montaña, durante la prehistoria, y no tanto en periodos históricos (Gassiot y Pèlachs, 2017; Rendu et al., 2016). De ahí que nos centremos en las primeras ocupaciones y modificaciones sustantivas del territorio, que tuvieron lugar espacialmente durante el Neolítico (Bonsall et al., 2002; Berger y Guilaine 2008), y que acabarían afectando de forma progresiva a todos los sistemas montañosos de Europa (Tzoertzis et al., 2010; Lozny 2013).

El resultado de la investigación en nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau, es un ejemplo concreto de un proceso generalizado a nivel regional, aunque sería necesario desarrollar programas de investigación similares en otros sistemas montañosos de cara a validar su singularidad. El PNAESM es una zona idónea para el estudio de esta relación histórica entre el paisaje y las sociedades, en tanto que disponemos de un registro paleoambiental de alta precisión temporal (Copons y Bordonau, 1996; Soriano et al., 2003; Catalan et al., 2001 y 2013) junto a un registro arqueológico extenso de la ocupación humana durante todo el Holoceno (Gassiot, 2016; Rodríguez-Antón et al., 2016).

Además, disponemos de un excelente conocimiento geobotánico (Carrillo y Ninot 1992, Ninot y Ferrer 2008, Ninot et al., 2017b) y geomorfológico (Martínez-Rius et al., 2011) del

valle de Sant Nicolau, que goza de la máxima protección en términos ambientales; resultando un excelente “laboratorio” para la investigación en áreas de alta montaña europeas (Catalan et al., 2017).

El yacimiento arqueológico principal en el que se basa nuestro estudio es la Cova del Sardo de Boí, que se encuentra a 1774 m snm, en curso medio del valle de Sant Nicolau (Gassiot et al., 2014 y 2015). En su entorno inmediato hay una pequeña planicie aluvial denominada Aigüestortes, donde han sido recuperadas la mayor parte de las muestras paleosedimentarias que evidenciarían el impacto humano en el entorno del abrigo a similar altitud. Hemos incorporado a la investigación otros dos contextos, uno arqueológico y otro geológico, localizados en torno al límite superior del bosque, que se sitúa entre 2250 y 2350 m snm. Uno es un espacio de hábitat, bajo un bloque, el Abric de les Obagues de Ratera (Gassiot et al., 2019) y el otro un sondeo, realizado en las inmediaciones de un yacimiento: Pleta d’Erdo (Gassiot, 2016).

A partir del estudio de los yacimientos arqueológicos, hemos definido una estrategia de muestreo sedimentaria enfocada en la detección del impacto humano en el medio ambiente, en relación a las ocupaciones humanas prehistóricas, especialmente en el entorno de los espacios de hábitat.

Por lo tanto, esta tesis se fundamenta en un enfoque arqueológico y paleoambiental, que se concreta en la aplicación de una metodología que definimos como arqueoambiental (Dincauze, 2000). Cuyo objetivo metodológico se basa en la integración de los datos de los contextos arqueológicos de habitación con de su entorno medio ambiental inmediato, para posibilitar la reconstrucción del paisaje en el entorno de las áreas habitadas (Butzer, 1982; French, 2003).

El interés y la utilidad científica de nuestro programa de investigación, radica en la posibilidad de aplicar esta misma aproximación metodológica a otros ecosistemas de montaña, que también han sido modificados por prácticas socioeconómicas productivas desde la prehistoria. La aplicación del análisis de fitolitos, junto a otros indicadores medioambientales, es una línea de investigación novedosa en áreas de montaña de la región pirenaica. Siendo la primera vez que se aplica en la cordillera, desde una perspectiva arqueológica y como herramienta para la reconstrucción del paisaje en áreas que fueron ocupadas en la prehistoria. Nosotros hemos integrado en el diseño de la investigación, el estudio de los fitolitos junto a otros restos vegetales y biológicos, como el polen, los carbones sedimentarios, las diatomeas o la materia orgánica, desde un enfoque eminentemente arqueoambiental (Dincauze, 2000).

Nuestro enfoque en la investigación y nuestros objetivos de estudio, se centran en reconocer cómo operan las sociedades humanas en el medio de montaña desde el Holoceno medio, qué prácticas socioeconómicas desarrollan y cómo impactan en el ecosistema, generando paisajes sociales. Para ello, trataremos de definir la gestión del medio ambiente dentro de procesos sociales históricos (Castro et al., 1996), a partir del análisis empírico de la materialidad presente en los diversos contextos arqueológicos o depósitos sedimentarios estudiados (Butzer, 1982; Binford, 2001).

## 1.1 EL ESTUDIO DE LOS FITOLITOS EN ZONAS DE MONTAÑA

### *UNA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN ABIERTA*

---

Describe y compara los principales trabajos de investigación publicados sobre fitolitos en contextos sedimentarios en áreas de montaña en nuestro contexto regional.

La adscripción taxonómica definitiva de los conjuntos de fitolitos sedimentarios debe tener en cuenta, un conocimiento *a priori*, detallado, de la flora, fitosociología y ecología de cada ecorregión y de cada caso de estudio. Para ello debemos tener en cuenta las referencias geobotánicas adecuadas a las formaciones vegetales dominantes (Rivas-Martínez, 1987 y 2007; Cañellas-Boltà et al., 2009; González-Sampériz et al., 2017; Ninot et al., 2007 y 2017). En segundo lugar, son necesarias colecciones de referencia de fitolitos de plantas adecuadas al piso bliclimático y ecorregión correspondiente.

Únicamente, una colección de referencia publicada se corresponde a nuestra eventual problemática: la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas, realizada en la cabecera del Ródano, en los Alpes occidentales suizos (Carnelli et al., 2001; Carnelli, 2002; Carnelli et al., 2004). Si ampliamos la búsqueda de referencias empíricas para contextualizar mejor nuestro trabajo, solamente hay otros dos casos de estudio en el sur de Europa, donde hayan sido elaboradas y publicadas (parcialmente) colecciones de referencia de plantas eurosiberianas: los Montes Ródope, en el noreste de Grecia (Tsartsidou et al., 2007 y 2008) y los Montes Cárpatos (Hungría), donde recientemente se ha publicado un estudio de referencia sobre 6 especies comunes de plantas leñosas (Lisztes-Szabó et al., 2019). De las tres colecciones, la única disponible, *in extenso*, actualmente, es de de los Alpes occidentales. Por otra parte, es la única que contiene información detallada de la producción de fitolitos para la mayor parte de especies dominantes en nuestra zona de estudio y piso altitudinal subalpino (Carnelli et al., 2001, Carnelli 2002, Carnelli et al., 2004) (Tablas 5.1 y 5.2).

Si ampliamos aún más nuestro marco de referencia, hacia toda la región mediterránea, podemos añadir un tercer caso de estudio euroasiático, el Levante mediterráneo, en Israel, donde se ha realizado una colección de referencia de fitolitos en plantas (Albert, 2000; Albert y Weiner 2001; Albert et al., 1999, 2000 y 2003). Si extendemos nuestro campo de interpretación y conocimiento de los conjuntos de fitolitos sedimentarios, en relación con las floras, a toda la región biogeográfica eurosiberiana, que se define como una de las

mayores zonas bioclimáticas del planeta (Rivas-Martínez et al., 2011), podemos considerar también algunos trabajos de investigación realizados en zonas montañosas continentales asiáticas. Por ejemplo, los publicados para la región central meridional de Siberia, sobre fitolitos en suelos de la taiga rusa (Gavrilov et al., 2018), o los estudios realizados en los Montes Himalaya (An et al., 2015). Aún más lejos de nuestra área de estudio, pero en la misma región bioclimática eurosiberiana, debemos referenciar los recientes trabajos de investigación en fitolitos sedimentarios en zonas de montaña y de piedemonte, realizados en el noreste de China, en torno a las Montañas Changbai (Feng et al., 2017; Li et al., 2018; Gao et al., 2018b y 2018c). En este caso de estudio, si ha sido realizada y publicada una colección de referencia local, a partir de la cuál se comparan y contextualizan los resultados del análisis de fitolitos en suelos y en algunos grupos de plantas o asociaciones vegetales dominantes en la zona (Gao et al., 2018a).

No obstante, los objetivos metodológicos de cada línea de investigación a nivel microrregional, son muy diferentes: etnoarqueológicos en el caso de estudio de Sakarini, en el noreste de Grecia (Tsartsidou et al., 2007 y 2008), arqueológicos en el Levante Mediterráneo (Albert, 2000; Albert y Weiner, 2001; Albert et al., 1999, 2000 y 2003) y paleoambientales en el caso de los Alpes occidentales (Carnelli, 2002; Carnelli et al., 2004), de los Montes Cárpatos (Lisztes-Szabó et al., 2019), de Siberia central (Gavrilov et al., 2018), del Himalaya (An et al., 2015) y del noreste de China (Gao et al., 2018c).

Debemos mencionar, como marco de referencia más próximo a nuestra investigación, los estudios paleoambientales desarrollados en las últimas dos décadas en el sudeste de Francia (Berger et al., 2016 y 2019), principalmente en la cuenca media del Rodano, que han incluido el análisis de fitolitos en depósitos sedimentarios como un bioindicador combinado con otros (polen, carbones sedimentarios, análisis químico, micromorfología de suelos, etc.) (Delhon, 2001; Delhon et al., 2003 y 2009). Estos trabajos se han enfocado en la reconstrucción tanto de paleopaisajes como de los cambios climáticos holocénicos, considerando la interacción entre las ocupaciones humanas y el clima como los dos factores implicados en la configuración de la paleovegetación y de los paisajes sociales (Berger et al., 2016). El uso del análisis de fitolitos en suelos como herramienta para la reconstrucción de paleopaisajes también ha sido aplicado al sur de esta región, en los Montes Luberon (Bremond et al., 2004).

Paradójicamente, no ha sido publicada ninguna colección de referencia de fitolitos en plantas de la región atlántica europea, para los pisos bioclimáticos montano y basal, donde se han realizado los estudios de fitolitos sedimentarios comentados. Estos trabajos (Delhon,

2001 y 2005; Delhon et al., 2003 y 2009; Bremond et al., 2004) son los únicos en zonas de montaña europeas que han sido publicados desde nuestra misma línea de investigación y enfoque metodológico.

Actualmente, la principal colección de referencia de fitolitos para plantas de bioclimas alpinos y subalpino de Europa es la realizada con muestras recolectadas en la cabecera del Rodano (Suiza), en los Alpes occidentales, entre 1780 y 2830 m snm (Carnelli et al., 2001). Es decir, en los pisos bioclimáticos subalpino (1600 – 2400 m snm), alpino (2400 – 2700 m snm) y subnival (2700 – 3000 m snm) (Ninot et al., 2007). Los resultados de este trabajo de referencia han sido publicados (parcialmente), junto a estudios de los conjuntos de fitolitos sedimentarios, procedentes de una serie de 15 muestreos de suelos obtenidos en diferentes puntos de los valles de Belalp, Arpette, Aletsch y Furka, en la zona de la cabecera del Ródano, en Suiza (Carnelli et al., 2001 y 2004; Carnelli, 2002). Estos muestreos de sedimentos han sido realizados entre 2300 y 2800 m snm, en los pisos bioclimáticos subalpino superior (2300-2400 m snm), alpino (2400-2700 m snm) y subnival inferior (2700-2800 msnm). Enfocados en la detección de la variación del límite superior del bosque en los Alpes durante el Holoceno (Carnelli, 2002). El estudio paleoecológico, comprende la pedología y sedimentología de los suelos y el análisis de los carbones sedimentarios y de los fitolitos, principalmente del piso alpino, no tanto del subalpino. Que tampoco había sido incluido en los trabajos antes mencionados en el curso medio del Ródano (Delhon et al., 2003 y 2008), que se centran en zonas de media montaña y valles fluviales. Situados en los pisos basal y montano.

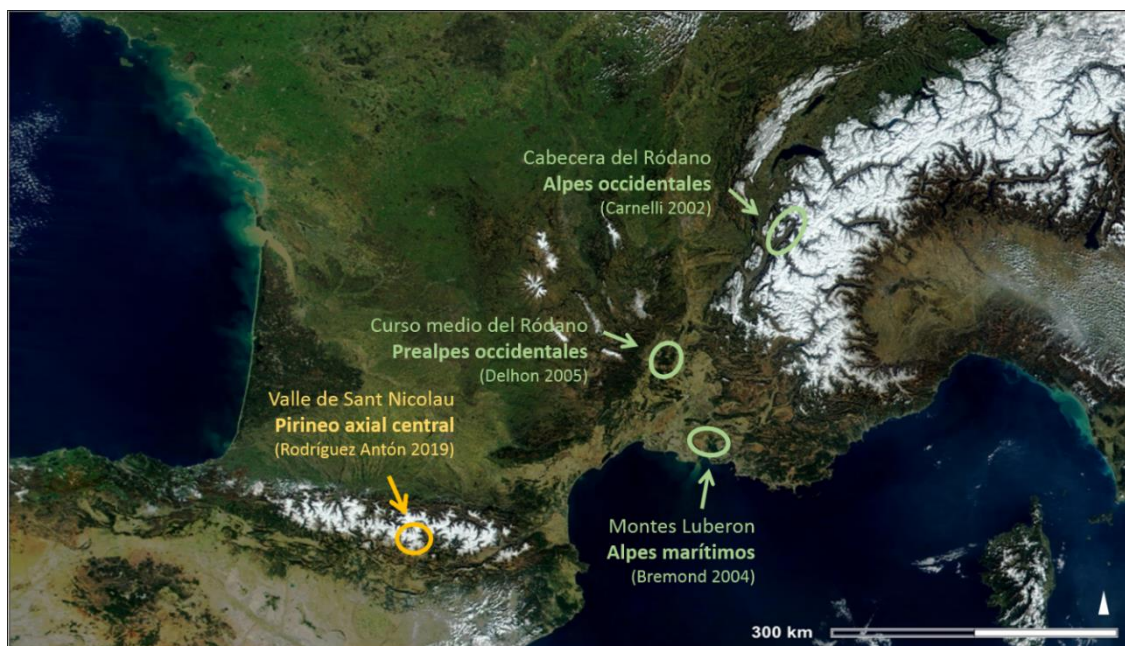
A estos trabajos, habría que incluir el estudio arqueobotánico integral, que incluye el análisis de fitolitos, de diversos yacimientos situados en la misma zona de estudio, en los Alpes occidentales, concretamente en el valle de Isère (Francia), como l'Aulp-du-Seuil (1720 m snm) (Martin et al., 2012) o la Grande Rivoire (580 m snm) (Delhon et al., 2008). El abrigo de Grande Rivoire (580 m snm) habría sido utilizado como cueva redil y lugar de hábitat durante todo el periodo neolítico (7 - 4,6 ka cal BP) (Delhon et al., 2008), mientras que l'Aulp-du-Seuil (1720 m snm) habría funcionado como un pequeño espacio de hábitat desde el mesolítico hasta el neolítico antiguo (10,5 - 6,2 ka calBP). Por último, podemos destacar los estudios de fitolitos realizados en el piso bioclimático montano mediterráneo, en los Montes Luberon, ya cercanos a la Costa Azul (Bremond et al., 2004). Estos tres casos de estudio situados en Francia (Delhon et al., 2003; Bremond et al., 2004; Martin et al., 2012), se ubican en la región biogeográfica Cévénnes-Pirineos (Rivas-Martínez, 1987), que incluiría también nuestra zona de estudio, la Cordillera Pirenaica. Debemos tener presente, no obstante, que el clima de la región alpina occidental es algo más continental que el de la región



biogeográfica Cevéennes-Pirineos, que presenta una mayor influencia mediterránea, existiendo algunas diferencias menores en las floras entre ambas regiones, como la ausencia de algunos taxones termófilos en los Alpes, que si podemos encontrar en las sierras de Occitania (Pauli et al., 2002; Vigo, 2008). En todo caso, estas cuestiones microtopográficas, microclimáticas y florísticas concretas, no parecen ser demasiado determinantes a la hora de poder definir una significación taxonómica general en los morfotipos documentados a nivel sedimentario.

De hecho, como expondremos en el diseño de nuestra investigación, hemos seleccionado de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas de los Alpes occidentales realizada por Carnelli et al. (2001 y 2004), las 16 plantas que son dominantes en la conformación de los paisajes en nuestro caso de estudio, según Ninot et al., (2017a).

En resumen, los principales trabajos de referencia que incorporan el análisis de fitolitos en áreas de alta y media montaña europeas, se han desarrollado en torno al Valle del Rodano, en los Alpes occidentales (Carnelli, 2002; Bremond et al., 2004; Delhon, 2005) (Figura 1.1).



**Figura 1.1. Localización de casos de estudio de la región alpina y pirenaica.** En la figura se indican los casos de estudio donde se ha aplicado el análisis de fitolitos en la reconstrucción de la historia de los paisajes en áreas de montaña en el el valle del Ródano (Carnelli, 2002; Bremond et al., 2004; Delhon, 2005). Destacamos esta tesis, como el primer trabajo que se realiza en los Pirineos con este enfoque metodológico.

## 1.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

---

Introduce el trabajo de investigación y su aproximación metodológica. Justifica su pertinencia y anticipa sus objetivos.

La aproximación metodológica principal de esta tesis a nuestro objetivo último, que es la identificación de los paisajes sociales pretéritos en la alta montaña, se basa en el análisis de fitolitos de los diferentes tipos de archivos sedimentarios disponibles, ya sean las unidades estratigráficas excavadas en contextos arqueológicos de hábitat, como los horizontes sedimentarios situados en el entorno de tales yacimientos. Por tanto, en el presente trabajo integramos el análisis de los diferentes tipos de depósitos sedimentarios antrópicos existentes, como paleosuelos, lugares de hábitat, áreas de trabajo humanas, refugios, o simples áreas impactadas antrópicamente en alguna medida. Han sido incorporados al estudio también contextos sedimentarios más alejados de los yacimientos, así como los suelos actuales, de cara a generar análogos, que nos permitan analizar comparativamente los resultados de los depósitos prehistóricos.

Los archivos sedimentarios analizados han sido contextualización a nivel paleoambiental, en un modelo cronológico que nos permite secuenciar los posibles eventos bioclimáticos y los cambios en la vegetación, acaecidos a lo largo del Holoceno, a partir de series continuas de datos paleoambientales, como son los depósitos sedimentarios lacustres de nuestra zona de estudio (el PNAESM) y de los valles colindantes del Pirineo axial central meridional (Copons y Bordonau 1996; Pèlachs et al., 2007 y 2011; Catalan et al., 2001 y 2013; Calero et al., 2016; Garcés-Pastor et al., 2017; González-Sampériz et al., 2017 y 2019). En esta secuencia temporal hay que tener en cuenta los yacimientos arqueológicos situados en el Pirineo, y cuyas ocupaciones neolíticas han sido estudiadas desde una perspectiva arqueoambiental, como Els Trocs (Uria-Blanco, 2013; Lancelotti et al., 2014), la Balma Margineda (Geddes et al., 1985), o Cueva Chaves (Utrilla et al., 2015; Mazzucco et al., 2015, Antonlín et al., 2018).

Esta aproximación, a los contextos de formación de los depósitos sedimentarios, la desarrollaremos integrando en la tesis, diversas técnicas de investigación (análisis de fitolitos, microcarbones, sedimentología, estratigrafía, etc.), que vamos a denominar con el calificativo metodológico: arqueoambiental (*sensu* Dincauze, 2000). Hemos preferido esta

definición a otras empleadas por otros autores y autoras, como arqueoecología (Revelles, 2013), arqueobotánica (Buxó y Piqué, 2003), socioecología (Redman, 2005; Folke, 2006), ecología humana (Butzer, 1982) o paleoetnobotánica (Pearsal, 1989), porque pensamos que es la que mejor se adecúa a nuestro enfoque teórico y práctico en la investigación, que expondremos en adelante.

No pretendemos, en ninguna medida, suscribir ni patentar una subdisciplina alternativa a la propia arqueología, como ciencia social integral que estudia las sociedades del pasado a través de la materialidad de la vida social, en su conjunto (Childe, 1953; Binford, 1962; Renfrew y Bahn, 1991; Castro et al., 1996; Bate, 1998). Queremos remarcar que nuestro enfoque arqueambiental es simplemente una línea de investigación más, que debe complementarse con el resto de los enfoques teóricos, métodos y técnicas, propios de la arqueología como ciencia social (Watson et al., 1974, Binford, 1972 y 2001; Butzer, 1982; Renfrew y Banh, 1991; Castro et al., 1996; Vila et al., 2006).

Básicamente, nos preguntamos cómo se han formado los depósitos sedimentarios, cuándo se produjo este hecho, y si es posible reconstruir las prácticas sociales (Harris, 1979; Binford, 2001) y el paisaje existente en el pasado a partir del análisis de los restos biológicos allí conservados (Nadal et al., 2009; Catalan et al., 2013; Croft et al., 2018). Para enfrentarnos a esta problemática científica hemos empleado la estratigrafía. Ésta nos permite definir unidades sedimentarias asociables con un evento o intervalo cronológico o funcional. La estratigrafía se puede aplicar tanto en los yacimientos arqueológicos (Harris, 1979; Butzer, 1982; Rapp et al., 1998, Binford, 2001), como en cualquier contexto geológico sedimentario (Brown, 1997; French, 2003; Croft et al., 2018), y explorar hipótesis sobre las circunstancias de la formación de cada unidad estratigráfica u horizonte, así como la posible relación entre ambos, si existiera.

No obstante, tenemos un problema que no podemos ni debemos esquivar en esta tarea investigadora a la hora de definir los límites del yacimiento arqueológico, ya que éste, tradicionalmente, ha sido asociado con depósitos que concentran una importante parte de la vida de las comunidades, como lugares de hábitat, enterramientos, silos, casas, abrigos o cuevas (Binford, 1972; Renfrew y Bahn, 1991). Es evidente, que las actividades económicas y sociales superan con mucho estos espacios concretos, ya que no son explicables sin las áreas de producción social (Risch, 2002), de donde se obtienen los productos y bienes que después se transforman o se consumen (Gassiot, 2002), a menudo en estos mismos espacios domésticos (Castro et al., 2002). La generación de espacios de trabajo y producción agrícola y ganadera, en forma de campos de cultivo y zonas de pasto o de estabulación del ganado,

así como los lugares de almacenamiento y transformación de los productos, también serían elementos que tomar en consideración para la reconstrucción de las prácticas socioeconómicas (Molist et al., 2003; Antolín, 2015).

Para ello trataremos de aplicar técnicas y métodos arqueoambientales, dentro de una arqueología del paisaje que nos permita identificar, por ejemplo, los campos de cultivo (Galop et al., 2003; Weisskopf, 2010, Antolin et al., 2018; Mercuri et al., 2019), las zonas de producción de carbón (Pèlachs y Soriano, 2003, Obea et al., 2011) o las áreas de pasto recurrentes (Bal et al., 2010 y 2015; Rendu et al., 2016). Éstas fueron, sin duda, parte del sistema de producción de las comunidades humanas que gestionaban y transformaban un territorio mediante una producción social (Castro et al., 1998, Gassiot et al., 2010a, Antolín et al., 2015 y 2018; Gassiot y Pèlachs, 2017; Garcia-Casas, 2018). En este esquema de ocupación de las áreas de montaña habría que incluir también la movilidad de las poblaciones y sus recursos, sea por vías pecuarias, ríos o caminos (Binford, 1980). Además, hemos de estudiar las áreas de obtención o intercambio de productos secundarios y materias primas, y su papel en la producción (Mazzucco et al., 2018).

Los patrones de movilidad y asentamiento de los grupos humanos son una característica de las prácticas socioeconómicas de las sociedades, generando un determinado registro arqueológico, un paisaje social y un impacto ambiental (Rodríguez-Antón et al., 2016, Revelles, 2013 y 2017). El territorio, por tanto, sería en sí mismo y en su totalidad, objeto de estudio arqueológico, en tanto que parte del registro material de la actividad humana pasada. De modo que la arqueología, a la hora de abordar el estudio de las sociedades del pasado, debe incorporar necesariamente la gestión del territorio, como parte de la organización de la producción de las comunidades que lo habitan (Gassiot, 2016). Para llegar a conocer esta dimensión territorial del poblamiento humano, es necesario un diálogo fructífero entre las diferentes técnicas que se aplican en la arqueología, como ciencia social histórica (Bate, 1998).

Desde este enfoque integral, pensamos, que un territorio habitado y explotado económicamente por una sociedad, podría ser estudiado en su conjunto, como un todo, como se ha propuesto desde la ecología cultural a partir de la teoría de los sistemas socioecológicos (Butzer, 1982; Redman, 1999; Folke, 2006; Farhad, 2012). Sin embargo, desde nuestra posición teórica preferimos poner el foco de nuestro análisis en la materialidad social, susceptible de aportar información útil a la hora de reconstruir el sistema económico-social en cuestión y los modelos de explotación económica del medio, gestión del territorio y mantenimiento de la vida social, desde una perspectiva histórica

(Bate, 1998), que tenga en cuenta el valor social de la producción (Castro et al., 1996; Gassiot, 2002) y la evolución, continuidad o cambio en las formas de vida social desde una perspectiva diacrónica (Rodríguez-Antón, 2011; Gassiot et al., 2017).

## **1.2.1 DESARROLLO DE LA TESIS**

---

Relata cómo hemos realizado esta tesis doctoral. Expone la secuencia del trabajo de investigación.

A continuación, expondremos los diferentes pasos del programa de investigación de esta tesis. Apuntaremos la metodología del trabajo y su desarrollo práctico. Sintetizaremos el método científico de recogida y generación de los datos empíricos, su proceso de análisis y la discusión de los resultados.

### **1) Muestreo y trabajo de campo**

El primer paso realizado ha sido el muestreo o recogida de muestras sedimentarias, que denominaremos “trabajo de campo”.

El material analizado procede de dos tipos de depósitos: geológicos y arqueológicos. En realidad, ambos tipos de contextos pueden ser estudiados desde una metodología estratigráfica (Harris, 1979) y geoarqueológica (Rapp y Hill, 1998), de modo que cada unidad de significación se corresponde con un proceso de formación geofísico del estrato a nivel sedimentario, que nos permite individualizarlo. Tras su análisis, podremos llegar a valorar o interpretar la correspondencia de cada estrato con los elementos que lo componen, su periodo de formación a escala temporal y la correspondencia de éste con una información social, ecológica y paleoambiental determinadas (Dincauze, 2000; Binford, 2001; French, 2003; Croft et al., 2018).

En el muestreo realizado, se puede diferenciar entre aquellos sedimentos procedentes de excavaciones arqueológicas sistemáticas, de espacios de hábitat, realizadas en extensión, y los procedentes de sondeos, que se localizan siempre fuera de las estructuras de hábitat. Como veremos, la metodología de toma de muestras es diferente en cada caso y el tipo de preguntas y objetivos para cada tipo de archivo sedimentario también son de diverso alcance.

## **2) Procesamiento de las muestras y trabajo de laboratorio**

La segunda fase del programa de investigación implica el procesamiento de las muestras y su estudio analítico, o “trabajo de laboratorio”. Cada muestra de sedimento estudiada goza de una información estratigráfica precisa, obtenida y documentada en el trabajo de campo: procedencia exacta de la muestra, estrato u horizonte, edafología, cronología, componentes del sedimento, contexto arqueológico y sedimentario preciso, etc. (Figura 5.3).

Una vez en el laboratorio, cada muestra ha sido tratada a partir de un procedimiento estandarizado que implica un estudio arqueológico multidisciplinar, donde se extraen diferentes componentes para su análisis por separado (carbones y macrorestos vegetales, polen, bioquímica, etc.) (Buxó y Piqué, 2003) pero que se ha centrado en el análisis de fitolitos (Albert y Portillo, 2014).

Cada parte del trabajo de análisis ha sido realizada de forma separada, pero integrada en un único programa de investigación, que incluye el estudio micromorfológico (French, 2003) y la cronoestratigrafía de los archivos sedimentarios mediante la selección y fechado radiocarbónico de carbones sedimentarios (Carcaillet, 2001; Bronk-Ramsey, 2009).

## **3) Estudio de las muestras y generación de información empírica**

Una vez extraídas, las muestras han sido analizadas de forma sistemática. En el análisis de cada muestra hemos traducido la materialidad observada en datos empíricos, de manera que hemos generado unos resultados analíticos que hacen del estudio de los fitolitos un indicador paleoambiental útil. Dicho en otras palabras, el estudio y caracterización de los diferentes morfotipos de fitolitos identificados en las muestras, nos permite leer los archivos sedimentarios, generando una información empírica, que debe ser analizada de forma contextualizada para la reconstrucción de la ocupación humana del territorio y de los paleopaisajes sociales que esta generó (Albert et al., 2018).

#### **4) Interpretación de los resultados y contrastación de las hipótesis**

Los resultados obtenidos del análisis de fitolitos servirán para contrastar algunas hipótesis de alcance social que serán reforzadas o matizadas a partir de otras aproximaciones metodológicas que aportan información paleoambiental y geobotánica sobre cada uno de los archivos sedimentarios, su formación, cronología y características estratigráficas. De modo, que obtengamos una síntesis interpretativa donde se integren diversos tipos de registros microbotánicos, arqueológicos y paleoambientales (Buxó y Piqué, 2003; Piqué et al., 2018).

Además, nuestros resultados deben ser contextualizados a una escala mayor, dentro de nuestro caso de estudio, incorporando el corpus de datos empíricos preexistente, a nivel de reconstrucción paleoambiental y de historia del poblamiento del valle estudiado (Catalan et al., 2013; Gassiot, 2016), de manera que podamos generar y contrastar nuestras hipótesis, más locales, con otras de alcance más general (Binford, 1972 y 2001).

Un último punto desarrollado en esta tesis es una evaluación crítica de la metodología de análisis arqueoambiental desarrollada en nuestro programa de investigación, y particularmente, del análisis de fitolitos en archivos sedimentarios, como indicador del impacto ambiental de las actividades socioeconómicas en medios de alta montaña.

### **1.2.2 OBJETIVOS**

---

Define los objetivos concretos de la tesis.

Como ya hemos advertido, nuestro programa de investigación se enfoca en identificar la ocupación y el impacto humano en el medio ambiente de alta montaña, siendo los objetivos expuestos, aproximaciones teórico-prácticas a este objetivo.

Una vez expuesta la planificación básica del proyecto de investigación doctoral, su desarrollo teórico y práctico, sus metodologías principales y su integración final dentro de una línea de investigación multidisciplinar, pasaremos a identificar los objetivos científicos más concretos y esenciales de esta tesis doctoral:

### **1) Analizar la información arqueambiental contenida en los sedimentos**

El diseño del programa de investigación se traduce en términos prácticos en la aplicación de un método de aproximación a la lectura de los diferentes sedimentos, identificados en contextos arqueológicos de hábitat o en su entorno. Tales depósitos sedimentarios recogen información biológica y paleoambiental de las condiciones ecológicas y sociales de formación de cada estrato. La reconstrucción de los contextos sedimentarios y de los paleopaisajes asociados se basa en la analogía paleoambiental (Carrión et al., 2000). Ésta es posible gracias a un conocimiento geobotánico detallado de las asociaciones vegetales en relación con el geosistema en cada localización geográfica y orográfica concreta o caso de estudio. Teóricamente, un contexto paisajístico y ecológico concreto, conocido a nivel fitosociológico, genera una producción de biorestos de origen vegetal y animal, que son característicos de esa asociación ecológica y geobotánica. El análisis de la lluvia polínica ha sido empleado como indicador ambiental, así como los restos vegetales carbonizados y sedimentados u otros microrestos, en base a análogos conocidos (Carrión et al., 2000; Catalan et al., 2013; Pèlachs et al., 2018).

### **2) Introducir el estudio de los fitolitos en la alta montaña pirenaica**

En nuestro caso de estudio, los fitolitos no han sido empleados para la reconstrucción paleoambiental, realizada a partir del estudio de los depósitos sedimentarios lacustres, principalmente (Catalan et al., 2013). Por lo tanto, uno de los objetivos principales de esta tesis es la puesta en valor del análisis de fitolitos como variable útil a la reconstrucción paleoambiental en contextos de alta montaña, donde ha sido aplicada en diferentes casos de estudio, como los Alpes o el Himalaya (Carnelli, 2002; An et al., 2015).

Para poder aplicar el análisis de fitolitos en contextos de alta montaña alpina, hemos integrado parcialmente en nuestro programa de investigación los resultados de otros trabajos previos, como la colección de referencia de fitolitos en plantas alpinas y subalpinas



(Carnelli et al., 2001 y 2004), elaborada en los Alpes occidentales; que se incluyen en la misma región geobotánica que los Pirineos (Rivas-Martínez, 1987 y 2007). De modo, que el ámbito de aplicación del método testado en este caso de estudio es una región bioclimática amplia, como son las zonas de alta montaña de la región eurosiberiana, dominadas por asociaciones florísticas similares (Ninot et al., 2007; Rivas-Martínez et al., 2011), que implican registros sedimentarios de fitolitos comparables entre sí (An et al., 2015; Gavrilov et al., 2018; Gao et al., 2018c).

El objetivo práctico concreto sería testar la potencialidad y limitaciones de la metodología de análisis de fitolitos para el estudio del cambio ambiental y del impacto humano en las zonas bioclimáticas de alta montaña.

### **3) Explorar el impacto ambiental de las ocupaciones prehistóricas en zonas de alta montaña y la generación de paisajes sociales**

Un objetivo de orden socioecológico será la observación del impacto humano en el entorno de los espacios de hábitat, durante la prehistoria.

Para ello compararemos los resultados del análisis de fitolitos en sedimentos de yacimientos arqueológicos con otras muestras procedentes de horizontes sedimentarios localizados en el entorno de los espacios de hábitat. Siempre, contextualizando cada una de las muestras analizadas con toda la información paleoambiental, cronológica y arqueológica disponible.

La alteración del paisaje natural potencial para generar nuevos espacios socialmente productivos, como zonas de pasto, bosques abiertos o campos de cultivo, es una práctica socioeconómica que podría impactar en los paisajes naturales de montaña desde inicios del neolítico. Un último objetivo, será dotar de historicidad a las prácticas sociales y a los propios paisajes antropizados, generando una información secuenciada históricamente, que nos permita analizar los cambios en el paisaje a lo largo de secuencias temporales largas (Galop et al., 2013). Esta geohistoria de los paisajes subalpinos podría remontarse hasta el origen de los primeros depósitos sedimentarios postglaciales (Pèlachs et al., 2017).

El objetivo será definir las prácticas económicas a partir de los paisajes sociales asociados a tales prácticas y del registro arqueológico estudiado en los yacimientos. Concretamente, observaremos el estudio de los fitolitos como método capaz de integrar ambos registros, desde un enfoque arqueambiental.

## 1.3 POSICIÓN TEÓRICA

---

Define nuestra posición teórica y científica de análisis de la materialidad empírica.

Entendemos por posición teórica (*sensu* Bate, 1998) la asunción de una teoría del conocimiento científico basada en un método de investigación sistemático, materialista, crítico y heurístico (*sensu* Lakatos, 1982). Desde nuestra posición teórica, justificamos la necesidad de abordar la investigación científica a partir un programa orientado a la búsqueda del conocimiento contrastable, comprobable y riguroso, que entiende la arqueología como una disciplina antropológica, necesariamente interdisciplinar y esencialmente materialista e histórica.

Para ello, hemos desarrollado un programa de investigación basado en una metodología científica de análisis de la materialidad social y ecológica, que busca poder medir el impacto de las prácticas socioeconómicas en los ecosistemas, mediante el análisis y la contrastación de variables o indicadores paleoambientales independientes, la generación de una empiria observable y cuantificable y la contrastación de hipótesis operativas y falsables que nos ayuden a explicar el cambio social y ambiental y los procesos sociohistóricos coimplicados (Watson et al., 1974; Butzer, 1982; Binford, 2001).

Por consiguiente, defendemos la necesidad de entender la investigación en arqueología dentro de un programa científico materialista y analítico (Childe, 1953 y 1956; Binford, 1962 y 1972; Clarke, 1968; Watson et al., 1974). El cual debe fundamentarse en un diálogo interdisciplinar (Butzer, 1982), que supere la visión humanística tradicional de las ciencias sociales y el enfoque culturalista de la historia (Morgan, 1877; Mortillet, 1883; Bosch-Gimpera, 1919; Maluquer, 1948; Bordes, 1984), así como las teorías críticas, imaginativas, relativistas, simbólicas o hermenéuticas, de marcado sesgo interpretativista (Hodder y Hutson, 2003).

En definitiva, proponemos un programa de investigación (Lakatos, 1982; Bate 1998) que parta de una posición teórica arqueológica, científica, social y ecológica, basada en métodos de análisis empíricos, materialistas y multidisciplinares (Butzer, 1982; Renfrew y Bahn, 1991; Bate, 1998; Binford, 2001).

### 1.3.1 EL MÉTODO CIENTÍFICO EN ARQUEOLOGÍA

---

Justifica la necesidad de abordar nuestro objeto de estudio desde un programa de investigación materialista científico.

A partir de mediados del siglo XX, comienza a entenderse la arqueología como una antropología social histórica (Binford, 1962). Desde nuestra posición teórica, la aproximación al conocimiento de las sociedades del pasado debe abordarse desde un paradigma científico (Childe, 1953), basado en el método hipotético-deductivo (Watson et al., 1974), que busca la comprobación empírica de las hipótesis inductivas o deductivas formuladas, en base a modelos de falsación y contrastación con los datos de orden lógico o estadístico, validables científicamente (Hempel, 1962; Bate, 1998). A partir de estos resultados podemos formular teorías explicativas para fenómenos complejos que suelen implicar diversos elementos correlacionados: la sociedad, el espacio, el tiempo, el medio ambiente (Figura 1.2) (Baley, 2007).

La teoría arqueológica, mediante un método científico, nos permite reconocer la materialidad del hecho social y establecer relaciones entre las evidencias materiales conservadas en el registro empírico y la organización socioeconómica de las sociedades pretéritas (Childe 1956, Binford, 1972; Bate, 1998). De modo, que la teoría arqueológica nos permite establecer un método científico capaz de mediar entre los datos y las hipótesis, entre la empiria de un depósito sedimentario y los diversos actores implicados, sociales y naturales, que causaron esa materialidad actualmente presente, pero que fue producida en un proceso durante pasado (Harris, 1979; Butzer, 1982; Binford, 2001).

El conocimiento previo del estado de la cuestión nos permite fijar los problemas científicos de los cuales parte nuestra investigación y poner en juego las diversas teorías explicativas antes propuestas. La teoría ontológica nos sirve para formular las hipótesis de trabajo y los objetivos de la investigación, mientras que la aproximación metodológica nos permitirá desarrollar y aplicar un método científico capaz de validar o falsar las hipótesis generadas a partir de los datos empíricos recopilados en el proceso de investigación, según el método hipotético-deductivo (Watson et al., 1974; Bate, 1998).

Expresado, en otros términos, el programa de investigación desarrolla una metodología científica aplicada al estudio de un problema de orden ontológico: la relación entre la

naturaleza y la sociedad. Para ello se fija en una serie de elementos materiales que pueden variar en función de esa relación preexistente, en una escala socioecológica (Butzer, 1982). La validación empírica del método nos deberá aclarar si efectivamente existe una correlación cuantitativa o cualitativa, por ejemplo, entre los tipos y porcentajes de fitolitos documentados en un archivo sedimentario y el tipo e intensidad de la actividad humana efectivamente realizada en ese medioambiente durante la formación del depósito (Albert, 2000).

Para ello, primero debemos establecer una metodología de análisis arqueambiental (*sensu* Dincauze, 2000). Esta aproximación teórica y práctica requiere de la integración en el método científico y en el objeto de estudio dos elementos que tradicionalmente suelen estudiarse por separado: las sociedades humanas y los ecosistemas (Butzer, 1982). Esta integración teórica y metodológica será posible gracias al desarrollo de un enfoque denominado “arqueología ecológica”, que expondremos sintéticamente a continuación.

### **1.3.2 UNA ARQUEOLOGÍA SOCIAL Y ECOLÓGICA**

---

#### ***Un marco teórico materialista, histórico y ecológico***

Presenta el marco de referencia teórico básico que nos permite estudiar las relaciones entre medio ambiente y sociedad.

Desde nuestro punto de vista toda arqueología es necesariamente social, en tanto que su objeto de estudio no puede ser otro que las sociedades humanas en el pasado (Binford, 1972). Sin embargo, no todos los marcos teóricos en arqueología tienen presente la dimensión ecológica de la vida humana, enfocándose a veces sólo en aspectos estrictamente culturales (Bosch-Gimpera, 1919; Bordes, 1984; Cava, 2004).

Como ya hemos ido planteando, nuestra línea de investigación se insiere en el estudio de las relaciones existentes entre la sociedad y el medio ambiente, lo que se concreta en la forma en que las comunidades humanas ocupan y habitan un territorio, mediante una gestión productiva que implica su transformación. Trataremos las relaciones naturaleza/sociedad desde un enfoque social y ecológico, y desde una posición teórica dialéctica y materialista, capaz de explicar históricamente las relaciones entre las comunidades humanas y el territorio que habitan. El producto de dicha relación es la generación de paisajes sociales,

entendidos como toda formación vegetal alterada por la acción humana (Lozny, 2013), distinguibles de los paisajes naturales o la vegetación potencial (Martínez-Rivas, 2007).

En este trabajo hemos preferido el concepto “paisaje social” al de “paisaje cultural”, más habitual en la autodenominada “arqueología del paisaje” (González-Alvarez, 2015; Criado-Boado 2016), y que consideramos, a todos los efectos, equivalente. El problema es que la definición de “lo cultural” frente a “lo social” abre un debate historiográfico en el ámbito de la antropología (Harris, 1968; Ceballos y Cabeza, 2013), que supera los objetivos de la justificación de nuestra posición teórica. Simplificando mucho el debate, desde una perspectiva materialista histórica, todo lo cultural es social pero no todo lo social es cultural, ya que las sociedades desarrollan diversas esferas estructurales productivas, económicas y organizativas, donde la cultura queda adscrita como una práctica, una cosmovisión o una infraestructura social (McGuire, 1992; Bate, 1998).

Por lo tanto, los paisajes socialmente construidos, consecuencia de las diversas actividades socioeconómicas que una comunidad desarrolla en un medio ambiente a lo largo de un espacio de tiempo, no pueden considerarse, desde nuestro punto de vista, una construcción “cultural” de dicha sociedad, sino la consecuencia de una acción social. El paisaje sería, desde nuestra óptica, un “producto” del trabajo humano. El paisaje sería el producto de una suma de acciones sociales, consecuencia de la explotación productiva del territorio (caza, pesca, recolección, extracción de materias primas, agricultura, ganadería, etc.), como de su ocupación social (generación de espacios de socialización, hábitat, enterramientos, lugares de paso, caminos, hitos “simbólicos”, refugios, etc.). El producto paisajístico es fruto de una acción social que incluye la ocupación productiva de un espacio que pasa a conformar un territorio para esa comunidad. Ese espacio, evidentemente, tendrá elementos distinguibles para la comunidad que los ha generado y que los habita, pero las consecuencias ecológicas de las actividades productivas van mucho más lejos en el tiempo y en el espacio, generándose paisajes socialmente impactados, en diversa escala (Criado-Boado, 2016). La modificación antrópica del paisaje iría mucho más allá del ámbito concreto de una comunidad humana, ya que el impacto ecológico, una vez que se modifica sustantivamente un ecosistema, altera el equilibrio inicial y genera un nuevo paisaje que es consecuencia de las acciones humanas acumuladas en el pasado, presentando una historicidad (Pèlachs et al., 2017).

Por ejemplo, en nuestra área de estudio, el Pirineo axial central, la acción humana durante la Prehistoria reciente modifica la distribución de especies vegetales, introduciendo el fuego como un elemento de generación de nuevos paisajes, bosques secundarios, prados y

brezales, y favoreciendo la entrada de especies como el abeto, el haya o diversas herbáceas, plantas ericáceas y rosáceas. Estas formaciones vegetales, una vez introducidas en el ecosistema, continuarán condicionándolo aún sin intervención humana directa, de modo que no hay vuelta atrás a un paisaje natural o prístino, sino que allá donde la vegetación potencial se impone, ésta ya está condicionada por la acción humana previa, por lo que no es sólo natural, sino que también es un producto social (Galop et al., 2013, Pèlachs et al., 2017; Ninot et al., 2017a).

Entendemos, por lo tanto, el *paisaje* como un producto ecológico y social, y, por tanto, como una producción humana. Así que ya podemos aparcar, en este punto, el concepto “natural”, ya que estamos operando en un medio socializado, dentro de un geosistema que es el propio planeta tierra; contenedor y condicionante de la propia vida social. En consecuencia, el paisaje, es necesariamente dinámico, no resiliente; condicionando y a un tiempo siendo condicionado por la actividad económica humana, y configurándose históricamente. Desde esta premisa, entendemos que el estudio del paisaje, en cuanto producto social, es un medio para abordar el conocimiento del sistema socioeconómico que lo ha producido.

Por lo tanto, el paisaje, en su totalidad, es el resultado de un proceso histórico, siendo su materialidad objeto de estudio de la arqueología, entendida como una ciencia social, antropológica e histórica, y esencialmente, materialista.

A continuación, expondremos sintéticamente, las ideas principales que fundamentan nuestra posición teórica.

### **1.3.2.1 ARQUEOLOGÍA SOCIAL**

---

#### ***La dialéctica naturaleza/sociedad***

La teoría marxista postula una relación dialéctica continua entre la naturaleza y la sociedad, que son entendidas como si fueran dos realidades opuestas que operan como una síntesis o “*unidad de contrarios*” (Engels, 1886; Lenin, 1933). Desde un enfoque materialista dialéctico (Valverde, 1979), se ha descrito la relación del “*ser-humano-en-la-naturaleza*” dialécticamente, entendiendo que las sociedades no son un ente ajeno al medio natural, sino que justamente por su naturaleza biológica, nos inserimos en el medio ambiente, donde

desarrollamos nuestra vida social, trabajamos, producimos y nos reproducimos, modificando el propio medio y participando de su entropía (Harris, 1968; Butzer, 1982).

La vida social es la forma de organización propia de todos los homínidos (Haslam et al., 2009), fundamentada en la cooperación en la producción y en reproducción social (Harris, 1968, Castro et al., 1998; Marean, 2015). Si hay un hecho innegable que expresa la propia vida social ésta es su realidad material: *“la materialidad del hecho social”* (*sensu* Castro et al., 1998). La cooperación en la producción de alimentos (Marean 2016) y en la reproducción y mantenimiento del grupo social (Castro et al. 2002), son dinámicas que seguramente definieron a nuestra especie desde sus orígenes, mediante prácticas de *“hiper-socialización”* (Marean, 2015), así como la capacidad de modificar el entorno natural mediante el trabajo humano, realizado en sociedad (Sahlins, 1974, Albert, 2015), así como la innovación tecnológica y económica, que nos permitieron superar nuestro nicho ecológico natural original, como primates tropicales (Haslam et al., 2009; Antón et al., 2014).

Puesto que nuestro objeto de estudio es *“la-sociedad-en-la-naturaleza”*, el acercamiento a su conocimiento, pasa, desde un enfoque materialista histórico, por el análisis empírico de la materialización de esta realidad. Esta materialización, sobrepasa el alcance de los objetos arqueológicos, como pueden ser los asentamientos, los instrumentos, o los restos de los productos vegetales, animales y minerales, consumidos (Risch, 2002). De manera, que el sujeto de nuestro análisis es el medio en sí mismo, en cuanto objeto socialmente transformado (mediante el trabajo), y en cierto modo también, utilizado, consumido y reproducido (*sensu* Castro et al., 1998).

Si partimos de una concepción materialista de la economía en base a la cual: *“...denominamos economía al ciclo espacio-temporal en el que las sociedades realizan cualquier transformación de la materia”* (Marx y Hobsbawm, 1964), la teoría económica tendría como finalidad el análisis de las diferentes formas de transformación de la materia encaminadas a la satisfacción de las necesidades sociales: *“producción, uso, consumo y reproducción”* (Castro et al., 1996 y 1998). Esta transformación de la materia es inherente a la propia *“materialidad del hecho social”*, y precede incluso las primeras formas humanas de producción, ya que podría estar de manera incipiente ya presente en algunas prácticas productivas de otros homínidos, como los pánidos (Haslam et al., 2009) o los australopitécinos (Antón et al., 2014), e incluso dejar huella en la formación de los primeros paisajes antropizados por los primeros Homo (Albert, 2015).

Inicialmente, para que pueda desarrollarse una actividad económica, son necesarias, como mínimo, cuatro realidades materiales básicas (Marx y Hobsbawm, 1964):

- 1) **Una sociedad humana**, capaz de mantenerse y reproducirse.
- 2) **Un medio ambiente**, dotado de unos recursos naturales económicamente aprovechables por la sociedad
- 3) **Una tecnología**, capaz de operar en la naturaleza, facilitando su modificación.
- 4) **El trabajo humano**, capaz de modificar la materia, empleando energía, y generar una producción social.

Estas cuatro instancias son inherentes a toda sociedad humana, desde los orígenes de la especie (Antón et al., 2014), de modo que entre el medio ambiente y la sociedad se establece una relación mediada por la tecnología y el trabajo humano, capaz de transformar el medio (Gassiot, 2001).

El factor “*trabajo*” hace referencia a la energía y tiempo invertidos por las personas (en tanto que sujetos sociales) en la transformación de la materia en un “*producto*” (Marx y Hobsbawm, 1964). Acción que implica necesariamente la transformación del medio ambiente. De este modo, la reproducción de la vida social requiere la continua transformación de la materia y, por lo tanto, también de cada ecosistema. Así, se establece una interacción continua entre la naturaleza (entendida como el medio ecológico, biológico y geológico, que configura el paisaje) y la sociedad; donde la materialidad del hecho social se expresa en la medida de la transformación del paisaje, que pasa a ser antropizado o, mejor dicho: humanizado. Dicha transformación social del medio ecológico natural puede implicar la modificación de la distribución de las especies, e incluso de la forma biológica de éstas, y hasta del propio clima; algo que ya intuía Engels un siglo antes de la formulación de las teorías del cambio climático y del “*antropoceno*” (Steffen et al., 2007; Gibbard y Walker 2014; Dearing et al., 2015): “*Solamente el hombre consigue poner su impronta en la naturaleza, no sólo trasplantando las plantas y los animales, sino haciendo cambiar, además, el aspecto, el clima de su medio, más aún, haciendo cambiar las propias plantas y los mismos animales de tal modo, que las consecuencias de su actividad sólo pueden desaparecer con la extinción general del globo terráqueo*” (Engels, 1886: 15).

Tengamos presente que desde un posicionamiento materialista dialéctico se pretende enfocar el problema de la contradicción naturaleza / sociedad, como una “*unidad de contrarios*”, siendo, por tanto, el resultante de esta una “*síntesis*” (Engels, 1886; Valverde, 1979; Lenin, 1933; Bate, 1989). Esta dinámica socioecológica de los sistemas sociales se expresa en cuanto entendemos que el ecosistema, mediante un proceso dialéctico, pasa a ser tan social como natural y, por tanto, un producto, superándose la contradicción teórica



inicialmente planteada, en una síntesis ecológica social (Estévez et al., 1998, Barceló *et al.* 2006). No obstante, son las sociedades quienes se organizan en el medio para producir y reproducir su vida social, apropiándose de parte de la energía del ecosistema, mediante la acción productiva del trabajo humano, dentro de un ciclo económico de transformación de la materia en producto (Castro et al., 1996). No es el ecosistema el que define la estrategia productiva de las sociedades, que se adaptan al medio, naturalmente, como se ha planteado tradicionalmente desde el materialismo cultural (Harris, 1968).

### 1.3.2.2 ECOLOGÍA CULTURAL

---

#### *La teoría de los sistemas socioecológicos*

Desde el materialismo cultural se formula una teoría social y ecológica basada en una alta dosis de determinismo ambiental o tecnoecológico en el desarrollo socioeconómico de las sociedades (Harris, 1968). De modo que el medio ambiente acabará por determinar las prácticas productivas (“*infraestructura*”), sociopolíticas (“*estructura*”), e incluso ideológicas (“*superestructura*”) de cada formación social (Harris, 1968, Ceballos y Cabeza, 2013). Esta escuela teórica, de tradición evolucionista cultural, parte de la premisa expresada así por Harris (1968: 3): “*Tecnologías similares aplicadas a medios similares tienden a producir una organización del trabajo similar, tanto en la producción como en la distribución, y ésta, a su vez, agrupamientos sociales similares, de valores y creencias*”. Esta premisa, denominada “*principio del determinismo tecnoecológico y tecnoeconómico*” (Harris, 1968), implica a su vez la opción por el estudio de la materialidad de la vida social, de cara a crear categorías universales útiles a la comprensión de los diversos modelos de producción social (Harris, 1968; Sahlins, 1974).

En este sentido, desde las tesis más post-evolucionistas, adoptadas por el materialismo cultural en su nueva formulación arqueológica y sistémica, denominada “*ecología humana*” (Butzer, 1982), la especie humana, se entiende como una especie ecológicamente adaptada (Darwin, 1859) a un medio ambiente concreto. El cual estaría en disposición de condicionar, o incluso determinar, las prácticas económicas de dicha sociedad, en tanto que las sociedades funcionarían como un “*sistema socioecológico adaptativo*”, según Butzer (1982), Redman (2005) y Folke (2006), o incluso dentro de los márgenes de un “*nicho socioecológico*”, según Laland y O’Brien (2010). De manera que se explican los cambios sociales en función de los cambios climáticos y ambientales y la *adaptación* cultural a estos

(Redman et al., 2004). Lo que Butzer (1982) formula como un sistema adaptativo “*dialéctico*”, entre la tecnología, el comportamiento social y el medio ambiente: “...*el comportamiento social, la tecnología y la abundancia o restricción de recursos representa un sistema adaptativo que se refleja en las estrategias de subsistencia y en los patrones de asentamientos, y que responde y se ajusta a los procesos internos y a los cambios del medio ambiente...*” (Butzer, 1982: 273).

En principio, cualquier medio ambiente natural, preexistente a la ocupación humana del mismo, presenta unas características y unas potencialidades ecológicas concretas (Rivas-Martínez, 2007). En función del desarrollo económico de las sociedades, capaces de habitar en dicho medio, de adaptarse a sus potencialidades y de explotarlo económicamente, el medio es transformado por las sociedades en el marco de la producción económica y la vida social (Harris, 1968; Castro et al., 1998), generándose un paisaje “*cultural*” (Criado-Boado, 2016) o “*antrópico*” (Bertrand y Bertrand, 2000; Dearing et al., 2015), diferenciable del paisaje inalterado o “*natural*” (Beroutchachvili y Bertrand, 1978).

Así mismo, todos los ecosistemas son dinámicos, de modo que se ven sometidos a tensiones internas y externas que condicionan su capacidad de readaptarse a los cambios, y volver a alcanzar un estado de equilibrio (Butzer, 1982; Estévez, 2005; Redman, 2005). Este proceso de interacción, por el cual las sociedades humanas influyen en un medio ambiente, pero a su vez se ven condicionadas por el mismo, determina las reglas de la evolución del medio, generándose sistemas ya no ecológicos, sino “*socio-ecológicos*” (Butzer, 1982; Folke, 2006; Redman, 2005). Se puede establecer, así, un cierto equilibrio entre naturaleza y sociedad. Lo que desde la teoría socioecológica se ha definido como el principio de “*resiliencia*” (Redman, 1999; Walker 2005; Farhad 2012). Esta sería en teoría una propiedad adaptativa inherente a las sociedades humanas, vistas como una especie adaptada a su nicho ecológico concreto y capaz de “*coevolucionar*” como una pieza biológica más del sistema (Folke, 2006; Laland y O’Brien, 2010).

### **1.3.2.3 CONTRADICCIONES ENTRE TEORÍAS**

---

Desde la arqueología social materialista se han articulado críticas bastante contundentes a esta premisa teórica, demostrando, con diferentes ejemplos históricos, las limitaciones explicativas del modelo ecológico cultural (Gassiot, 2001; Estévez, 2005). Sobre todo, por

su exceso de *determinismo* (Ceballos y Cabeza, 2013), tanto cultural como ambiental, que acaba buscando en los cambios climáticos el motor único de los cambios sociales, entendiendo las formaciones sociales como simples subsistemas, capaces de dar una respuesta adaptativa a las crisis medioambientales. Se plantea la resiliencia como una propiedad intrínseca a los sistemas socioecológicos, que tenderían a reajustarse, mediante una reorganización de orden técnico o socioeconómico (Harris, 1968; Butzer, 1982; Redman, 1999). Se niega, así a las propias sociedades la capacidad de innovación cultural, historicidad o protagonismo en los procesos de cambio social. Se trata de reducir a las sociedades a meros componentes de un sistema ecodinámico, tendente siempre al reequilibrio y la coevolución (Redman et al., 2004; Walker, 2005; Folke, 2006), que entiende la especie humana como una especie biológica adaptada a un ecosistema (Laland y O'Brien, 2010).

En definitiva, el materialismo cultural (Harris, 1968), en general, y la ecología humana, en particular, (Butzer, 1982; Redman, 2005), son enfoques teóricos que, partiendo de una visión neoevolucionista, tienden a ignorar o predeterminar, precisamente, la capacidad humana para decidir las prácticas económicas en función de una determinada opción social, como podría haber sido la cooperación (Engels, 1886; Tort, 2002; Mearns, 2015). Al asumir que toda acción humana dentro de un sistema socioecológico viene orientada a su propia conservación y éxito en el tiempo, siendo los cambios sociales vistos como meras respuestas adaptativas hacia los cambios en de la distribución de los recursos en el medio ambiente. Los cuales, que podrían deberse, *in extremis*, a cambios climáticos naturales o al propio impacto humano en el ecosistema, dentro de un sistema de retroalimentación dinámico (Butzer, 1982; Redman, 1999). Esta visión ahistórica y naturalista, parece negar también la historicidad de los procesos sociales de producción, al sumir la tendencia de toda sociedad en un medio estable a generar rendimientos decrecientes o a regular su población para equilibrarla a los recursos explotables por dicha sociedad (Butzer, 1982; Estévez et al., 1999; Estévez, 2005). La principal limitación de estas teorías socioecológicas radica en la falta de historicidad del enfoque y en la visión del hecho social como un fenómeno natural particular, donde se entienden las relaciones entre naturaleza y sociedad como parte de un único "*sistema ecológico-social-adaptativo*" (Butzer, 1982; Redman, 2005). Éste, estaría naturalmente dotado de resiliencia, siendo capaz de cambiar en la medida de su readaptación a un nuevo punto de equilibrio o *stasis evolutiva*.

#### 1.3.2.4 SÍNTESIS: UNA ARQUEOLOGÍA ECOLÓGICA SOCIAL

---

Dado que el geosistema cambia en función de una serie determinada de variables naturales, climáticas y biológicas, principalmente; las sociedades humanas a lo largo de su historia han operado dentro del sistema biótico terrestre, modificando el medio, y por tanto, formando parte del sistema de variables que operan en los cambios ambientales y en la configuración no sólo de los paisajes, sino del propio ecosistema (Figura 1.2) (Bertrand y Bertrand, 2000; Redman et al. 2004; Steffen et al., 2007; Gibbard y Walker, 2014; Dearing et al., 2015).

Como cualquier otra especie animal, necesitamos habitar en un medio ambiente y consumir energía, modificando el ecosistema y participando de su entropía (Engels, 1886; Watson et al., 1974; Butzer, 1982). Por lo tanto, las sociedades humanas somos parte del ecosistema planetario, operamos en los cambios medio ambientales; a diversa escala, ya sea local o global (Gibbard y Walker, 2014; Albert, 2015; González-Sampériz, 2019). Los cambios medio ambientales también afectan a la vida social y a las decisiones de las poblaciones humanas; estableciéndose así, un *feedback* continuo entre el medio ambiente y la sociedad (Butzer, 1982). Esta relación dialéctica, o de mutua interacción dinámica, ya había sido formulada por Engels (1886) en la *Dialéctica de la Naturaleza*, y ha sido reformulada en diferentes modelos desde la teoría general de la evolución de la especie humana (Darwin, 1871; Tort, 2002), hasta la teoría de los sistemas socioecológicos adaptativos (Butzer, 1982; Redman, 1999; Folke, 2006). Se puede expresar en muchas formas, condicionando en todo caso la manera en la que las sociedades habitamos el geosistema terrestre, producimos y nos reproducimos socialmente, y explicando también la propia evolución social (Marean, 2015; Tort, 2002).

En tanto que el medio ambiente condiciona y a un tiempo es continuamente condicionado por la actividad económica humana, se configura históricamente. Donde la producción humana transforma el medio y la distribución de los recursos, el medio ambiente, a su vez, condiciona y redefine las prácticas socioeconómicas o la reorganización social en la producción (Sahlins, 1974; Gassiot, 2002). El ciclo productivo y reproductivo, por lo tanto, no es estable sino dinámico, y está sujeto tanto a la productividad del medio como al desarrollo de las prácticas socioeconómicas, técnicas y medios de producción de cada sociedad. Dado que cada sociedad se adecúa históricamente, en función de sus necesidades sociales y de sus capacidades para introducir cambios en sus pautas de producción y reproducción social, a unas condiciones ambientales cambiantes, debemos integrarse el orden ecológico en la explicación de los cambios sociales, puesto que la estabilidad o la crisis

de las sociedades se puede explicar en la medida de la contradicción existente entre su reproducción social y la de los recursos de los que éstas dependen (Estévez et al., 1998, Barceló et al., 2006). En cualquier caso, el medio biogeográfico condiciona las prácticas económicas y los sistemas de explotación y movilidad en el territorio. Pero son los sistemas sociales, y las sociedades concretas quienes, en última instancia, determinan sus prácticas económicas, en función de su desarrollo tecnológico y de las estrategias de explotación del medio ambiente que pongan en práctica (Estévez, 2005).

El paisaje heredado por una comunidad humana ya es a su vez un producto del trabajo acumulado con anterioridad, y su productividad no es natural, sino el resultado de una relación socioecológica previa. El sistema productivo es dinámico y cambiante a lo largo del tiempo, debido a procesos históricos y sociales diversos, interactuando siempre con el espacio donde cada sociedad opera. Por tanto, podríamos afirmar que la resiliencia no puede ser una propiedad inherente al sistema social, como se postula desde la ecología cultural (Folke, 2006; Walker, 2006; Redman, 2005), sino el cambio, que se observa en las diversas dinámicas de gestión del territorio social a lo largo del tiempo, como respuesta a las necesidades en la producción y reproducción de las sociedades. Es verdad que podríamos documentar contraejemplos de sistemas sociales más estables o resilientes, pero estadísticamente hablando, al menos en el Holoceno, son la excepción que confirma la norma general de tendencia al cambio y la discontinuidad (Shalins, 1974; Estévez et al., 1998).

Como veremos, en nuestro caso de estudio, los sistemas de gestión del territorio social se modifican a lo largo de tiempo, durante la prehistoria, adaptándose a diferentes esquemas socioeconómicos de la producción, a lo largo del periodo estudiado (8 - 4 ka cal BP).

Nos interesa, por tanto, la vida social, sus prácticas socioeconómicas y su impacto ecológico, que implica la transformación consciente, o indirecta, mediante el trabajo colectivo de las comunidades humanas, de un medio natural en uno socialmente habitable y, por tanto, productivo. En ese proceso histórico se establece una relación continua entre el medio ambiente y la sociedad, mediada en el trabajo y encaminada al mantenimiento de la vida social. Esa acción humana transforma, de forma consciente, el medio, lo humaniza, lo socializa y lo gestiona, generando esa realidad socioecológica diferente de la estrictamente ecológica (ajena a la intervención humana). Ya que la antropización del medio modifica la distribución natural de las especies y de los propios recursos explotados, se establece una dialéctica continúa entre la sociedad y la naturaleza, que se expresa como un nuevo sistema ecológico social. Asumida esta relación ecológica social, ya no resulta operativo hablar de

“*sistema natural*” (sin intervención humana), sino que todo geosistema, por definición, implica un espacio geográfico donde la acción humana, en alguna medida, es una parte del sistema (Bertrand y Bertrand 2000, Revelles 2013).

### 1.3.2.5 EL ENFOQUE ARQUEOAMBIENTAL

---

En todo caso, nuestro objeto de estudio son las sociedades humanas en un medio ambiente y no la ecología de un ecosistema, *per se*. Para abordar este enfoque en la investigación es imprescindible la comprensión de las dinámicas ecológicas y del funcionamiento del geosistema en su conjunto, así como la delimitación de nuestro marco geográfico de estudio. Tanto la geografía del territorio como la ecología del geosistema y su geobotánica (Rivas-Martínez, 2005) son áreas de conocimiento práctico imprescindibles para abordar una arqueología que se enfoca en analizar las prácticas sociales más allá de los yacimientos, y que entiende la relación misma entre el medio ambiente y la sociedad como diferentes esferas de un mismo sistema social y ecológico productivo.

El medio ecológico y social donde se desarrollan prácticas socioeconómicas que definen un paisaje y delimitan un territorio, tendría una significación social para las comunidades pretéritas (Criado-Boado, 2016). Obviamente, desde la arqueología no podemos llegar a conocer muchos de los significados sociales, pero si observar su materialidad, y a través de ésta, tratar de entender cómo se organizaba la producción, la movilidad o el consumo, y calcular el valor social del medio, en función de los recursos explotables por cada sociedad dentro de su sistema socioeconómico (Gassiot, 2001). En definitiva, cómo eran los paisajes sociales y cómo se gestionaron en el pasado.

Si no logramos entender cómo operaron las sociedades, históricamente, en las diferentes regiones biogeográficas, no podremos entender tampoco el registro material presente ni el paisaje social histórico. Por ello, creemos que en el proceso de investigación histórica que desarrollamos desde la arqueología, cuyo objetivo principal es el conocimiento de las formas de vida y de sostenimiento económico de las sociedades a lo largo del tiempo, hemos de integrar todos los tipos de evidencia material que las sociedades pretéritas dejaron en el territorio, incluyendo el propio medio, visto como un producto social. Este paisaje histórico puede observarse y cuantificarse, ya sea en la composición de los depósitos sedimentarios (Butzer, 1982; French, 2003; Berger, 2005), o a partir de una determinada distribución de

especies vegetales y animales en un ecosistema concreto (Soriano, 2003; Pèlachs et al., 2009; Ninot et al., 2017a).

Los paisajes sociales, no serían, por tanto, necesariamente sistemas equilibrados, estables o resilientes (Butzer, 1982; Redman, 2006; Walker, 2006), sino consecuencia de procesos socio-históricos dinámicos, con rupturas, en ocasiones marcadas, en la gestión del territorio y la explotación de los recursos o en los patrones de asentamiento de las comunidades humanas (Estévez, 2005). Las sociedades no estarían necesariamente en equilibrio con el geosistema, sino que podrían favorecer su modificación, generando nuevos paisajes sociales y nuevos recursos explotables, como, por ejemplo, generando nuevas zonas de pasto o de cultivo, mediante la apertura de los bosques (Galop et al., 2004; Antolín et al., 2015). La acción humana también habría favorecido una distribución socioecológica (no natural o potencial) de las especies animales y vegetales, en función de las estrategias de explotación económica del medio ambiente desarrolladas (Estévez, 2005).

El medio ambiente no determina, *a priori*, cómo debe ser explotado económicamente por las sociedades humanas, aunque existen límites ecológicos para algunas actividades productivas. Evidentemente, no es posible cultivar según qué plantas en según qué condiciones climáticas, existiendo una vegetación potencial para cada bioclima (Ninot et al., 2007, Rivas-Martínez et al., 2007). Sin embargo, el trabajo humano puede alterar las condiciones iniciales del medio ambiente, generando nuevos ecosistemas o paisajes sociales (Soriano et al., 2003; Esteban-Amat, 2003; Ejarque, 2009; Cunill, 2010; Orengo, 2010; Catalan et al., 2013; Obea, 2014; Bal et al., 2015; González-Álvarez, 2015; Piqué et al., 2018; González-Sampériz et al., 2019).

Si tomamos nuestro caso de estudio como ejemplo; en la alta montaña de la región pirenaica no es posible cultivar cereal por encima del límite superior del bosque actual, que se ubica en unos 2400 metros de altura, pero si fue posible, en el pasado, alterar ese límite y producir campos de cultivo en zonas del piso subalpino, en torno a los 2000 metros de altitud (Cunill et al. 2012, Pérez-Obiol et al., 2012). La capacidad de carga del territorio depende siempre de la inversión de trabajo, tecnología y conocimiento del medio. De modo que la productividad natural es una variable modificable mediante el trabajo humano y la tecnología aplicadas, dentro de diferentes sistemas de gestión de los recursos en un territorio social.

Dado que nuestro programa de investigación se enfoca en identificar la ocupación y el impacto humano en el medio, nuestras estrategias de aproximación al conocimiento deben incorporar tanto los vestigios directos de dicha presencia humana en los espacios de

hábitat, como el impacto indirecto en el medio, observable en los cambios de paisaje o de la distribución de las especies. Es decir, debemos aproximarnos al objeto de estudio desde un enfoque arqueológico y, paralelamente, desde un enfoque ambiental. Ambas aproximaciones deben ser integradas en una única metodología heurística, que aquí definimos como el enfoque “*arqueoambiental*”. La arqueología ambiental, efectivamente, requiere de un programa de investigación propio (Dincauze, 2000).

Así, por ejemplo, los datos que podemos obtener desde la prospección arqueológica nos permiten establecer elementos diagnósticos en la disposición geográfica de la ocupación humana en el paisaje, con carácter diacrónico. Nos permiten definir los paisajes sociales, mediante la relación espacial de los yacimientos con la geografía de un territorio (García-Casas, 2018). Por otro lado, la disposición biogeográfica del mismo paisaje vegetal, el desarrollo de ciertas especies dominantes o la presencia de zonas deforestadas, nos está informando de la acumulación de trabajo en ese territorio, también de forma diacrónica (Soriano et al, 2003; Pèlachs et al., 2007; Ninot et al., 2017b).

De manera, que tanto los yacimientos, como los prados o los bosques, forman parte del paisaje social, constituyendo un sistema ecológico social, altamente complejo, que requiere una gestión humana y es fruto de una intervención acumulada a lo largo de la historia. De modo que el paisaje incorpora a su propia intrahistoria el resultado de la interacción entre la geología, el clima y las sociedades humanas (Estéban, 2003; Pèlachs et al., 2007; Lozny 2013, Gassiot 2016, Catalan et al., 2017).

Por todo ello, definimos nuestro enfoque teórico y su posterior desarrollo práctico, a nivel metodológico, como arqueoambiental. Ya que nos proponemos la integración de los datos arqueológicos con los datos de índole paleoambiental, dentro de un mismo espacio biogeográfico; con el objetivo de generar hipótesis que posibiliten la explicación de los procesos de poblamiento del territorio y su relación con los cambios en el paisaje. Entendemos que el paisaje es el resultado dinámico y diacrónico de un proceso histórico, social y ecológico.



### 1.3.3 EL PAISAJE DE ALTA MONTAÑA

---

#### *Del geosistema al paisaje social*

Define el paisaje de alta montaña europea, como resultado de la historia climática de las áreas alpinas y del poblamiento humano en el territorio.

Tradicionalmente, desde el mundo académico, las zonas de montaña europeas habían sido descritas, desde un filtro actualista, como zonas despobladas, reservas naturales o regiones marginales a los centros de desarrollo económico, político y social del Mediterráneo, o incluso como líneas fronterizas. La historia del poblamiento de las áreas de montaña viene estando tradicionalmente condicionada por el peso de la etnografía (Violant i Simorra, 1945) y de una visión naturalista del paisaje pirenaico (Vigo, 2008), que, o bien parece ignorar la presencia humana en la montaña, o bien la reduce al ámbito de las actividades pastorales (Fillat et al., 2008). De esta manera, se ha evocado a las poblaciones subactuales, conocidas etnográficamente (Violant i Simorra, 1945), a la hora de construir una visión atemporal del paisaje de montaña, desde un enfoque estático, que parte de una visión etnográfica geográficamente determinista (García-Casas, 2013). Desde estos postulados culturalistas y folkloristas se explica la construcción teórica de la denominada “*cultura pirenaica*” (Pericot, 1950; Maluquer, 1948), que refleja la ideología histórico-cultural entonces dominante en la Academia (Bosch-Gimpera, 1919), pero que carece de un método científico de contrastación empírico, así como de bases arqueológicas capaces de fundamentarla (Jiménez, 2006).

El desarrollo de la geología (Lyell, 1833) junto con el auge del alpinismo, facilitan una primera aproximación académica de carácter temporal a las regiones montañosas alpinas, definiéndose por vez primera sus procesos de formación: geomorfología, dinámica y orogenia (Domingo, 2000; Martínez-Rius et al., 2011; Gutiérrez y Gutiérrez, 2014). Durante las últimas décadas, se consolida el estudio de la geología cuaternaria, con el reconocimiento de la existencia en el pasado de fenómenos de glaciario a escala planetaria (Rivera-Arrizabalaga, 2004; Uriarte-Cantolla 2004; Rousseau et al., 2017), actualmente reducidos en nuestra área de estudio a algunos pequeños glaciares alpinos de valle (Carnelli, 2002), y ya limitados en los Pirineos a pequeños glaciares rocosos en fases marginales (Bordonau, 1992; Serrano et al., 2002; Pallás et al., 2006; Turú et al., 2016). Esta visión geológica aporta el cambio y la historicidad a la formación de los paisajes, la toma de consciencia de que

existen fuerzas naturales que modifican el entorno y cambios climáticos profundos y duraderos capaces de alterar radicalmente la vida en la tierra, desmintiendo la idea de la estabilidad o linealidad en los ecosistemas (Uriarte-Cantolla, 2004; Estévez, 2005).

El conocimiento de la geología europea a finales del siglo XIX, permitió la primera descripción de, al menos, cuatro ciclos glaciares que afectarían Europa, durante los últimos 850 mil años: *Riss*, *Würm*, *Mindel* y *Günz* (Uriarte-Cantolla, 2004; Reguant, 2005). Las causas astronómicas de las grandes glaciaciones fueron determinadas matemáticamente a partir de los cálculos de Milankovich (1920) y modelizadas, posteriormente, por la propia geología, a partir de estudios multivariados (Furundarena y Jiménez, 1998; Estévez, 2005, Fletcher y Sánchez-Goñi, 2008). El descubrimiento en Europa de una “*Edad del Hielo*” asociada a la “*Edad de Piedra*” o paleolítico (Mortillet, 1886, Bosch-Gimpera, 1919), se solapa temporalmente con la aparición de los primeros hallazgos arqueológicos de restos humanos del último ciclo glacial, denominado *Würmiense* (Rivera-Arrizabalaga, 2004).

Gracias a la emergencia de un nuevo paradigma científico (Kuhn, 1962), sustentado en la teoría de superposición de estratos de Leyll (1833) y la teoría de la evolución de Darwin (1871), la ciencia europea incorpora el procesualismo (Morgan, 1871; Binford, 1962) en el análisis de los cambios en el medio natural y en la distribución de las especies y en su evolución (Darwin, 1859; Tort, 2002), entendiendo que el medio ambiente es dinámico y no estático, y que está sometido a fuertes tensiones a lo largo del transcurso de la historia del planeta (Estévez, 2005). Será con la llegada de la ecología y de la teoría de sistemas, en la segunda mitad del siglo XX (Watson et al., 1974; Butzer, 1982; Redman, 1999), cuando se comenzará a postular un nuevo paradigma científico capaz de integrar los diferentes órdenes bióticos y abióticos que conforman el medio ambiente terrestre en un solo concepto integrador: el geosistema (Beroutchachvili y Bertrand, 1978). Este se define en base a una triple interacción sistémica: el medio físico o abiótico terrestre (atmósfera, litósfera e hidrósfera), el medio biótico o biosfera (el conjunto de los seres vivos) y, en último lugar, la acción humana sobre el propio ecosistema (Bertrand y Bertrand, 2000).

En realidad, el medio abiótico debería dividirse en dos categorías o subsistemas: la geografía y el clima. Ambos, determinan la ecología de los sistemas bióticos en un medio ambiente, a partir de una relación dialéctica, donde el clima y la orografía condicionan el desarrollo ecológico de un paisaje, mientras que la propia dinámica de las formaciones vegetales modela la geografía del ecosistema, afectando también al clima a escala local y global. Desde la geobotánica se plantea la bioclimatología como la disciplina científica que estudia la distribución de los paisajes terrestres y marinos en función de las condiciones

bióticas y climáticas geográficas de cada territorio (Rivas-Martínez, 2005 y 2007). A partir de este esquema se agrupan los paisajes en regiones bioclimáticas (Rivas-Martínez et al., 2011), y a una escala menor en pisos altitudinales (Rivas-Martínez, 1987; Ninot et al., 2007 y 2017a), desarrollándose una teoría sobre la vegetación potencial de cada bioma (Rivas-Martínez, 2007).

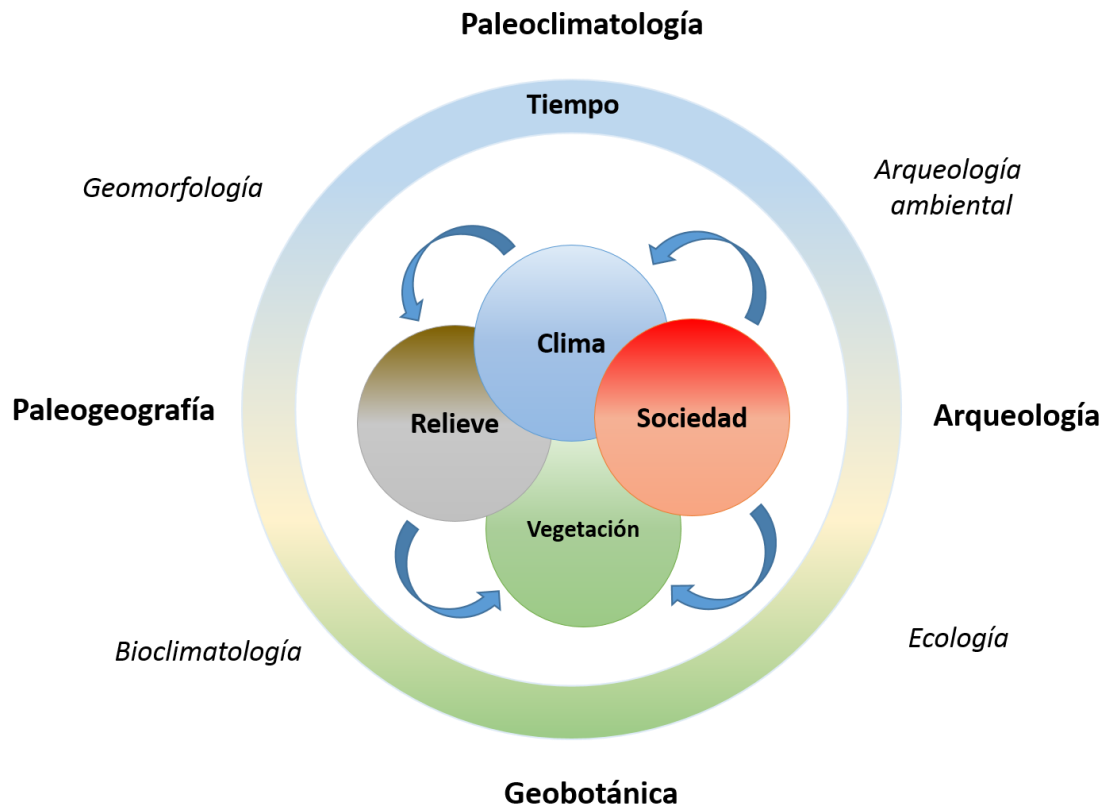
En última instancia, el geosistema terrestre puede subdividirse en diferentes territorios biogeográficos climáticos y unidades de significación orográfica como pueden ser las zonas montañosas con sus pisos bioclimáticos altitudinales (Figura. 2.2) (Rivas-Martínez et al., 2011; Ninot et al., 2007). En nuestro caso de estudio, definiremos como unidad de significación geosistémica mínima un valle de alta montaña, con sus respectivos pisos bioclimáticos: montano, alpino y subalpino (Figura 2.12) (Rivas-Martínez, 2007; Ninot et al., 2017b). Somos perfectamente conscientes de que cualquier escala geográfica que apliquemos debe tener en cuenta la interrelación sistémica del área de estudio con áreas geográficas mayores, a nivel regional o suprarregional, que nos permite proponer analogías con otros casos de estudio dentro del mismo ámbito biogeográfico.

Tendremos en cuenta también, la dinámica temporal de los procesos de cambio ambiental, ya que los ritmos o *tempo*s del cambio pueden ser de muy diferente escala espacio-temporal (Estévez, 2005; Bailey, 2007) y tener su causa principal en fenómenos regionales, relativos, por ejemplo, a la dispersión geográfica de un determinado paisaje (Ramil-Rego, 2006; Riera, 2006; Pèlachs et al., 2009 y 2012, González-Sampériz et al., 2017). Mientras que los cambios climáticos suelen tener un impacto a escala global (Bond et al., 1997; Furundarena y Jiménez 1998; Álvarez-Solas et al., 2001; Walker et al., 2012 y 2018), pero afectan localmente, en mayor o menor medida, a todos los ecosistemas, siendo uno de los factores más influyentes en la determinación de los paisajes, junto con la acción humana: el otro gran vector capaz de modificar o forzar los ecosistemas (Steffen et al., 2007; Dearing et al., 2015).

En síntesis, en la formación de los diversos paisajes terrestres podemos distinguir, al menos, cinco elementos coimplicados que pueden ser analizados separadamente, pero que conjuntamente condicionan y fuerzan los ecosistemas (Figura 1.2) (Rivas-Martínez, 2005 y 2007, Catalan et al., 2013):

- 1) **Relieve:** geología, orografía y geomorfología de la superficie terrestre. Incluye los sistemas montañosos, llanuras y mesetas.
- 2) **Vegetación:** relación de las comunidades vegetales y asociaciones florísticas. Incluye las comunidades faunísticas y microbianas, propias de cada bioclima.

- 3) **Clima:** media estadística de temperatura y precipitación en una región o localidad geográfica a nivel anual. Incluye la estacionalidad del clima, humedad relativa y frecuencia de heladas, duración del periodo de sequía, estiaje, etc.
- 4) **Tiempo:** proceso temporal del cambio ambiental, paleoclimatología y periodos geológicos.
- 5) **Sociedad:** impacto de la acción humana en el medio ambiente empleando una tecnología y una fuerza de trabajo, dentro de un esquema socioeconómico de producción.



**Figura 1.2. Interacción dinámica actualmente existente en la biosfera que fuerza los paisajes sociales.** Esferas de interacción dinámica entre los principales sistemas bióticos y abióticos que conforman el geosistema terrestre y fuerzan sus paisajes: clima, sociedad, vegetación, relieve y escala temporal. Alrededor de la imagen se distribuyen los diferentes enfoques en la investigación científica de los geosistemas, a partir del foco de interés principal de cada disciplina en torno a las esferas que tiene más próximas.

## 2. MEDIO AMBIENTE

---

### *La alta montaña alpino-pirenaica*

Acota y define el área de investigación a nivel regional: el marco geobotánico y bioclimático alpino-pirenaico.

En el planeta Tierra, las regiones montañosas suponen una gran parte del territorio de Norteamérica, de Asia o de la región Mediterránea. Dentro de estas regiones montañosas, las zonas de alta montaña son una parte muy significativa, aunque éstas sean vistas actualmente como espacios marginales, inhóspitos o inhabitables y de escaso interés social o económico, salvo para la práctica deportiva o excursionista.

Es paradójico que, hasta la llegada del siglo XXI, las zonas alpinas de la Europa meridional hubieran sido excluidas o ignoradas por los programas de investigación del ámbito de las ciencias sociales, quedando relegadas a su estudio como zonas geográficas de interés natural, geológico y ambiental. En nuestro caso de estudio, la existencia de un área de especial protección medio ambiental, como es el Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici (PNAESM), nos ha permitido realizar nuestra tarea investigadora, gracias al apoyo de constante de esta institución.

Inicialmente denominado Parc Nacional de l'Alt Pirineu, el parque fue creado con un enfoque conservacionista, a partir de un plan trazado en el año 1932, por el gobierno republicano de la Generalitat, denominado Plan Macià, y posteriormente reactivado en 1955 por el gobierno central franquista. El apoyo a los diversos proyectos de investigación por parte del Parque Nacional ha permitido canalizar numerosos trabajos en el ámbito de las denominadas ciencias naturales y, desde 2004, también en el ámbito de las ciencias sociales, como la arqueología o la historia (Catalan et al., 2013; Gassiot et al., 2014). Algunos de estos trabajos, justamente desde inicios del presente siglo, han mostrado interés por la paleogeografía, demostrando cómo la generación de los actuales paisajes y ecosistemas no ha sido fruto, tanto de la conservación de ecosistemas prístinos, cuanto, de la generación de

paisajes altamente humanizados, que hemos denominado sistemas ecológicos sociales (Catalan et al., 2013; Rodríguez-Antón 2016).

Este nuevo enfoque en la investigación, nos permite visualizar el hecho de que estos espacios naturales de alta montaña, hoy bajo gestión pública en beneficio de la sociedad, son además de naturales, sociales y culturales; al poner en valor la singularidad de su realidad sociohistórica y ecológica. De manera que los Parques Naturales deben abordar también la gestión de las actividades económicas sostenibles, como la ganadería de montaña u otras actividades tradicionales. Además, dentro de este patrimonio cultural hay una importante parte material. Encontramos un patrimonio histórico y arqueológico, que va desde vestigios de actividades económicas tradicionales como la ganadería estacional, hasta los ecosistemas sociales en sí mismos, que exigen un mantenimiento de las actividades económicas que los han creado y mantenido a lo largo del tiempo (Gassiot y Pèlachs, 2017; Garcia-Casas, 2018). De lo contrario, desaparecen rápidamente. Sirvan de ejemplo los pastos de altura, en rápido retroceso durante los últimos 50 años, ante la pérdida de actividades ganaderas trashumantes (Ninot et al., 2017a). Hay que asumir también, a partir de los trabajos paleoambientales, paleogeográficos e históricos más recientes, que las zonas de montañas son especialmente dinámicas, y sensibles tanto al impacto humano (Pèlachs et al., 2007) como a los cambios climáticos (Serrano et al., 2002; Catalan et al., 2013; Oliva et al., 2018).

Por tanto, el geosistema alpino, es un medio vivo, en continua transformación. El estudio de la formación y origen de este ecosistema social da pie a esta tesis, donde pretendemos, gracias al ingente trabajo desarrollado por numerosas investigadoras e investigadores de ambos lados de la cordillera, aportar alguna información novedosa y una metodología de análisis capaz de arrojar algo de luz al proceso histórico de poblamiento de la alta montaña y su transformación socioecológica a lo largo del tiempo (Tzoertzis et al., 2010; Lozny 2013, Rendu et al., 2016; Catalan et al., 2017).

## 2.1 LA ALTA MONTAÑA ALPINA

---

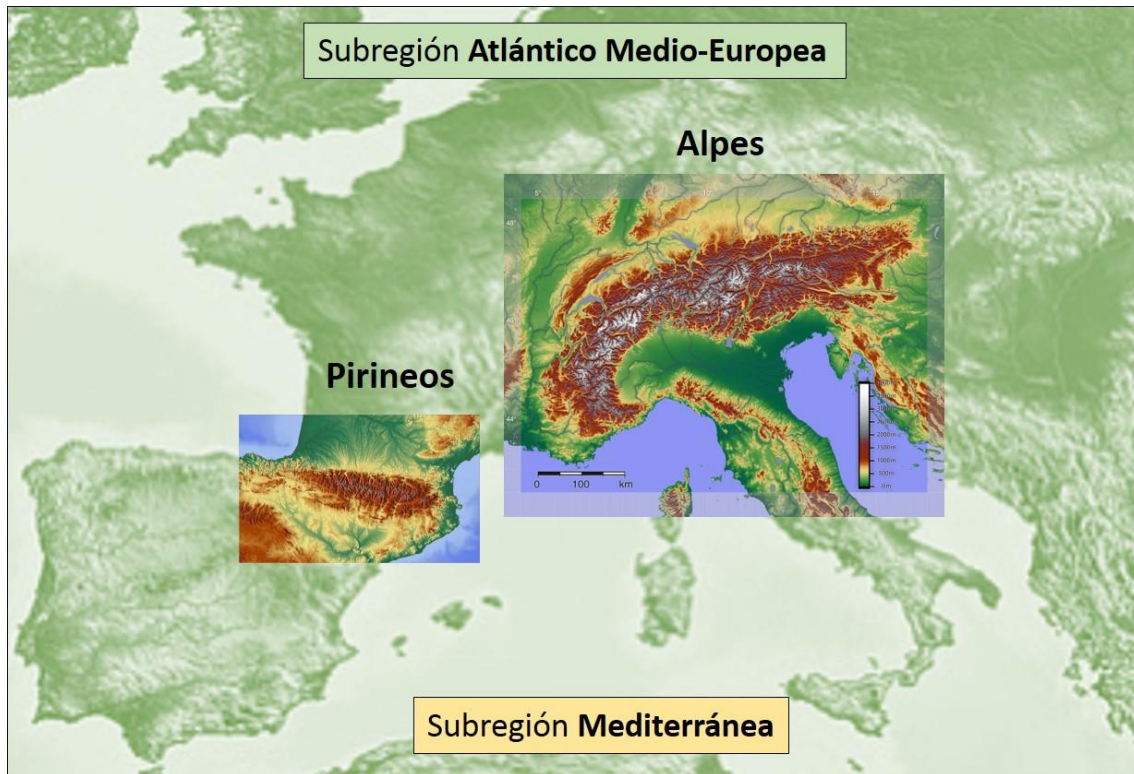
### *Características geobotánicas*

Describe la geobotánica y los bioclimas de los sistemas montañosos alpino-pirenaicos.

En este contexto, se definen las regiones montañosas de la Europa mediterránea, que suponen aproximadamente un tercio de la superficie de la Europa meridional, como una serie de sistemas montañosos conformados en la orogenia alpina y modelados durante los últimos millones de años en continuos procesos de glaciario cuaternario (Uriarte-Cantolla 2010).

Estos sistemas montañosos se configuran tal y como los conocemos en la actualidad tras la última finalización glacial, hace unos 18 mil años (García-Ruiz et al., 2010, Cordier et al., 2017; Crest et al., 2017), desarrollándose en el periodo interglacial actual los presentes paisajes en las zonas de alta montaña, dominados por los bosques de coníferas y las praderas alpinas (Figura 2.13) (Pèlachs et al., 2012; Catalan et al., 2013), que son básicamente un reducto del gran bosque paleártico boreal de coníferas que ocupaba la Europa mediterránea durante el Tardiglacial (Carrión et al., 2000; Riera 2006, Carrión 2012).

De este a oeste, los principales sistemas montañosos alpinos euromediterráneos son: Balcanes, Cárpatos, Alpes, Apeninos, Pirineos y Cantábrico. Los Pirineos son la segunda cordillera más occidental del conjunto, que conecta con la Cantábrica, en el mismo eje este-oeste (Domingo 2000, Babault y Teixell, 2007; Gutiérrez y Gutiérrez, 2014). Los Pirineos tienen la particularidad de ser un sistema montañoso situado en zonas de ecotono o frontera bioclimática, entre la región atlántica y la mediterránea, si bien bioclimáticamente se podría definir como la frontera suroccidental de la región eurosiberiana (Figura 2.1) (Rivas-Martínez 1987; Ninot et al., 2017b).



**Figura 2.1. Mapa de Europa occidental donde aparecen resaltadas las provincias alpina y pirenaica.** Dichas provincias conforman la ecorregión montañosa alpina mediterránea, con características bioclimáticas y geobotánicas similares. Ambos sistemas montañosos se sitúan en la región más meridional y occidental de la Región Eurosiberiana, estando sometidos a la influencia dominante del clima atlántico, pero también del mediterráneo, lo que influye en las diferentes formaciones vegetales existentes (Rivas-Martínez, 1987 y 2007; Ninot et al., 2007).

En este trabajo de investigación hemos acotado un medio biogeográfico aún más concreto dentro de la propia cordillera pirenaica: las zonas de alta montaña, que serían aquellas partes del sistema montañoso que orográficamente se ubican por encima de los 1700 m. de altitud, hasta los 3400 m snm, y que suponen la mayor parte del territorio de la región axial (Figura 2.7) (Rivas-Martínez 1987, Babault y Teixell, 2007). Las áreas de alta montaña responden a unas características peculiares a nivel orográfico y climático, ya que, en nuestro caso de estudio, han sido moldeadas geomorfológicamente por la acción tanto de la orogenia alpina (Babault y Teixell, 2007) como del glaciario cuaternario (Pallás et al. 2006; Bordonau, 2016). Se definen por ser terrenos dinámicos, donde la acción del agua y la nieve modelan una hidrografía de lagos y arroyos en los fondos de valle, cubetas de sobreexcavación y circos glaciales, y una orografía abrupta, repleta de canchales y laderas



rocosas o inestables, consecuencia de la dinámica glaciar. Geomorfológicamente, las zonas de alta montaña se pueden dividir, básicamente, en tres zonas (Martínez-Rius et al., 2011):

**1) Fondos de valle** (zonas de acumulación sedimentaria).

**2) Laderas** (zonas de transporte sedimentario).

**3) Cimas y carenas** (afloramientos rocosos sobresalientes).

Bioclimáticamente, las zonas de alta montaña se definen por climas fríos y húmedos, debidos al gradiente altitudinal, y por presentar áreas de ecotono, como el límite superior del bosque. Por encima de esta barrera bioclimática, que situamos entre los 2300 y los 2400 m snm, las condiciones ambientales no permiten el desarrollo de formaciones forestales, aunque si la presencia de algunas especies arbóreas (*Pinus mugo*) o de otras plantas leñosas como el Enebro (*Juniperus communis*) o el Rododendro (*Rhododendron ferrugineum*), especialmente resistentes a las condiciones climáticas alpinas (Ninot et al., 2007 y 2017a). La marcada estacionalidad del clima es una característica general de las zonas de alta montaña, así como la abundancia de precipitaciones, especialmente en forma sólida, y que definen la bioclimatología alpina (Rivas-Martínez, 1987). En nuestro caso de estudio, el Valle de Sant Nicolau, se superan los 1100 mm de precipitación anual, alcanzando los 1250 mm por encima de los 2000 m snm (Figura 2.20).

Otra característica particular de los medios de alta montaña es la presencia abundante de nieve y hielo, que en muchos casos puede acumularse en forma de neveros o de glaciares rocosos, a veces en circos o en zonas de acumulación, en los valles más elevados (Bordonau 2006; Crest et al., 2017). La nieve, de hecho, suele cubrir buena parte de las zonas umbrías de alta montaña durante, al menos, la mitad del año, entre diciembre y junio. Actualmente, en la región que nos ocupa, el Pirineo axial central, quedan unos 10 glaciares de tipo rocoso, la mayoría situados sobre los 2700 metros. Si bien están retrocediendo rápidamente, por lo que podrían desaparecer en algunas décadas, encontrándose actualmente en su fase terminal (Serrano et al., 2002. Según datos de 2004, apenas ocupan 160 ha (Serrano, 2004). A diferencia de los grandes glaciares de valle de los Alpes, reductos del último ciclo glacial *würmiense* (Rivera-Arrizabalaga, 2004; García-Ruiz et al., 2011), los pequeños glaciares de altura, pirenaicos, se habrían desarrollado entre el periodo neoglacial (Sancho et al., 2018) y en la denominada “Pequeña Edad del Hielo” (Oliva et al., 2018), durante los últimos 6000

años. Al ser especialmente sensibles a los cambios climáticos holocénicos, el calentamiento global de los últimos 150 años estaría marcando su rápido retroceso.

Los bosques de alta montaña suelen desarrollarse en las zonas de valle y laderas y estar dominados por las coníferas (*Pinus*, *Juniperus* y *Abies*). Por debajo de los 2000 m snm aumenta la diversidad de especies arbóreas, encontrando también formaciones forestales mixtas, con importantes presencias de caducifolias (*Quercus*, *Fagus* y *Corylus*), que en ocasiones conforman bosques de ribera (Rivas-Martínez, 1987; Carrillo y Ninot, 1992; Vigo, 2008).

La consideración de zonas de alta montaña está en función de la altitud y de las condiciones climáticas, que a su vez dependen de la altitud y de la latitud. Mientras en regiones subárticas, de bioclima boreal, como en los Alpes Escandinavos, podemos hablar de alta montaña desde los 600 m de altitud, en regiones próximas al ecuador este límite altitudinal asciende por encima de los 3000 m snm. En nuestro caso de estudio, la Europa alpina meridional, consideraremos zonas de alta montaña a partir de los 1600-1800 m snm, hasta los 2800-3000 m snm, aproximadamente, donde se desarrollan los pisos bioclimáticos de tipo subalpino, alpino y subnival (Ninot et al., 2007 y 2017b). Por encima de los 2700 m snm, situaríamos el piso nival, característico de zonas de cimas o carenas, dominadas por sustratos rocosos, escasa vegetación, generalmente líquenes, y formación de pequeños glaciares o nieves perpetuas (Cañellas-Boltà et al., 2009; Martínez-Rius et al., 2011).

Nuestra investigación se localiza en los pisos geobotánicos superiores de los sistemas alpinos, situados entre 1600 y 3000 m snm, aproximadamente, en la *superprovincia alpino-pirenaica*, perteneciente a la región bioclimática eurosiberiana atlántica o medio-europea (según Rivas-Martínez et al., 1987) (Figura 2.3).

A tal fin es imprescindible exponer, de modo sintético pero práctico, cómo se define el contexto de nuestro caso de estudio, a nivel geográfico, geobotánico y bioclimático. Es importante entender y acotar los límites del bioma de alta montaña eurosiberiano, de tipo *boreoalpino*, que nos permitirán establecer hipótesis y comparaciones con otros sistemas montañosos, especialmente dentro de la ecorregión *alpino-pirenaica*, pero eventualmente también en otras áreas próximas o limítrofes biogeográficamente, como son los ecosistemas de alta montaña mediterráneos y eurosiberianos en sentido más amplio.

Expondremos, a continuación, las características bioclimáticas generales de la región europea primero, que nos facilitarán, en adelante, la comprensión de las categorías

geobotánicas generales y asociaciones vegetales (fitosociológicas) empleadas en la contextualización de nuestro caso de estudio y en la interpretación de los resultados de nuestra investigación, a nivel microbotánico, paleoecológico y socioecológico.

### 2.1.1 BIOCLIMAS Y ECORREGIONES EUROPEAS

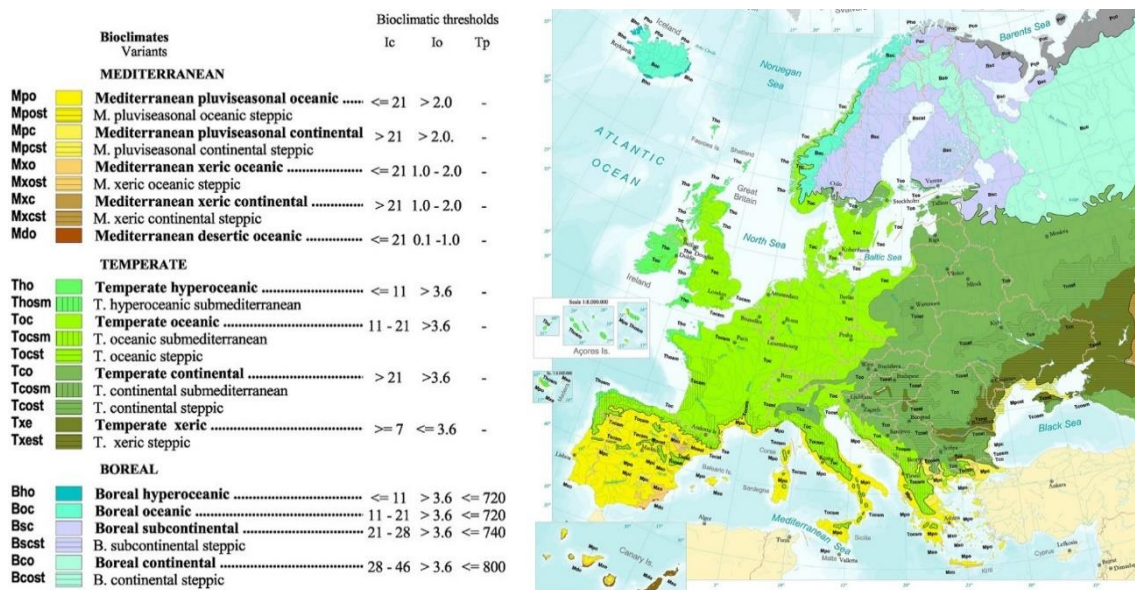
---

Europa es un subcontinente marcado a nivel biogeográfico por dos factores:

- a) **Orografía:** su marcado relieve, producto de la orogenia alpina que configuró diversos sistemas montañosos que se extienden de este a oeste al sur de todo el continente eurosiberiano y que también encontramos en la parte centro-meridional de Europa (*Provincia alpino-balcánica-pirenaica*) (Rivas-Martínez, 1987).
- b) **Clima:** Su condición de apéndice o extensión, de formas peninsulares, más occidental del continente eurosiberiano, condiciona un clima marcadamente oceánico, resultado de una activa influencia tanto del océano Atlántico como del mar Mediterráneo, que distribuyen la región en tres ecorregiones bioclimáticas principales diferentes: *Boreal, Atlántica y Mediterránea* (Rivas-Martínez, 1987) (Figura 2.2).

La temperatura media estacional y la cantidad y distribución de las precipitaciones son los dos factores principales que definen los principales climas, con sus variables orográficas o microclimáticas.

*Grosso modo*, la región bioclimática mediterránea se localiza entre el paralelo 35° y el 42°, mientras que la región boreal se sitúa por lo general por encima del paralelo 57°. Entre 40° y el 57° 60° encontramos la región templada, que podríamos distinguir en los bioclimas Hiperocéánico, Atlántico y Continental, principalmente (Rivas-Martínez, 1987; Carrión-Marco, 2005, Rivas-Martínez et al., 2011) (Figuras 2.2 y 2.5).



**Figura 2.2. Regiones climáticas europeas.** Mediterránea (Cálida), Atlántica (Templada) y Boreal (Fría), con sus subregiones (Hiperhúmeda, Continental, Oceánica, etc.), definidas a partir de los criterios: *temperatura, estacionalidad y pluviometría (modificada de Rivas-Martínez et al., 2004).*

Las formulaciones clásicas en biogeografía ya expusieron la evidente distinción ecológica entre una Europa mediterránea, caracterizada por un clima más cálido, con una importante estación “seca” estival y una pluviometría anual escasa (generalmente inferior a 700 mm anuales), con la mayoría de las precipitaciones concentradas en otoño y en primavera, que genera un fuerte estrés hídrico durante el verano, así como frecuentes periodos de sequía. Frente a la Europa atlántica, caracterizada por una estacionalidad menos marcada, inviernos suaves y lluviosos y veranos atemperados o cálidos, con una pluviometría alta o muy alta y bien distribuida a lo largo del año (generalmente entre 900 y 1400 mm anuales) (Rivas-Martínez, 1987; Carrión-Marco, 2005).

A nivel biogeográfico las diversas regiones climáticas presentan ecosistemas diferentes, siendo el bosque de caducifolias la formación vegetal característica de la Europa atlántica, frente al bosque o matorral de xerófilas, dominante en la región mediterránea. Además, debemos considerar una tercera biorregión, boreal o nórdica, caracterizada por un clima frío, y dominada por bosques boreales de coníferas, brezales de ericáceas y praderas hidrófilas, de tipo eurosiberiano. La biorregión boreal es una variante del clima oceánico a condiciones más frías y continentales, característica del norte de Eurasia y de la Península

Escandinava. Condiciones similares, aunque no idénticas, a las que encontraremos también en las zonas de alta montaña alpina, debido al gradiente altitudinal (Rivas-Martínez et al., 2004).

Concretamente, dentro de la *subregión atlántico medieuropea* se ha definido una *superprovincia alpino-pirenaica* (Rivas-Martínez 1987) que podríamos distinguir, *grosso modo*, en las provincias: *Apenino-Balcánica*, *Alpina centro-europea* y *Pirenaica-Cevenense*, respectivamente (Figura 2.3) (Rivas-Martínez et al., 2004).

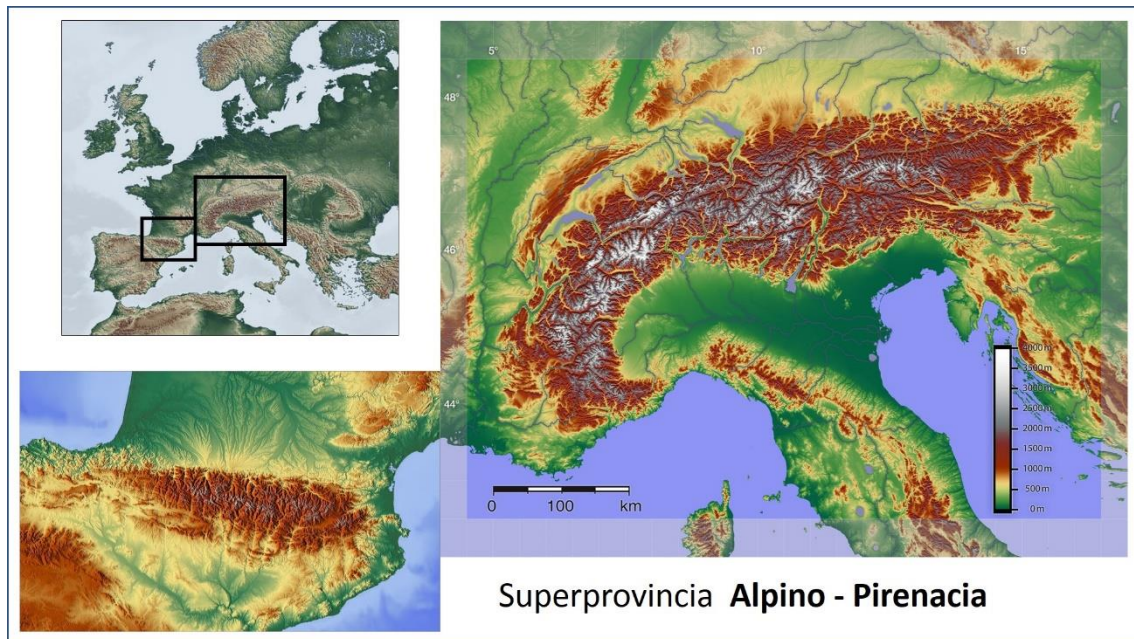


**Figura 2.3. Mapa biogeográfico de Europa meridional que muestra las distintas provincias ecológicas.** Se observa en gris la provincia Pirenaica-Cevenense (7), en azul la Alpina centro-europea (8) y en ocre la Apenino-Balcánica (9), que conforman la superprovincia *Alpino-Pirenaica*, que distribuye el arco mediterráneo europeo (modificado de Rivas-Martínez et al., 2004).

## 2.1.2 LA SUPERPROVINCIA ALPINO-PIRENAICA

Las características geobotánicas de nuestro caso de estudio, representa, dentro de las singularidades específicas de cada valle a nivel microtopográfico, geomorfológico, paleogeográfico e histórico, un ejemplo aplicable a otros biomas de alta montaña análogos, de las zonas de montaña alpino-pirenaicas. Estas se definen a nivel geográfico regional

dentro de la *superprovincia alpino-pirenaica* (Figura 2.3), que presenta unas características bioclimáticas comunes, que permiten el desarrollo de una vegetación potencial equivalente, en términos de zonación geobotánica (Rivas-Martínez, 1987 y Ninot et al., 2007).



**Figura 2.4. Mapa topográfico de la ecorregión alpino-pirenaica.** En el mapa se localizan los principales sistemas montañosos de la Europa occidental meridional o mediterránea. Las provincias *Pirenaico-Cevenense*, *Alpina* y *Apenino-Balcánica* conforman las diferentes subzonas bioclimáticas boreoalpinas (Rivas-Martínez et al., 2004).

La superprovincia alpino-pirenaica comprende las siguientes subzonas bioclimáticas o provincias:

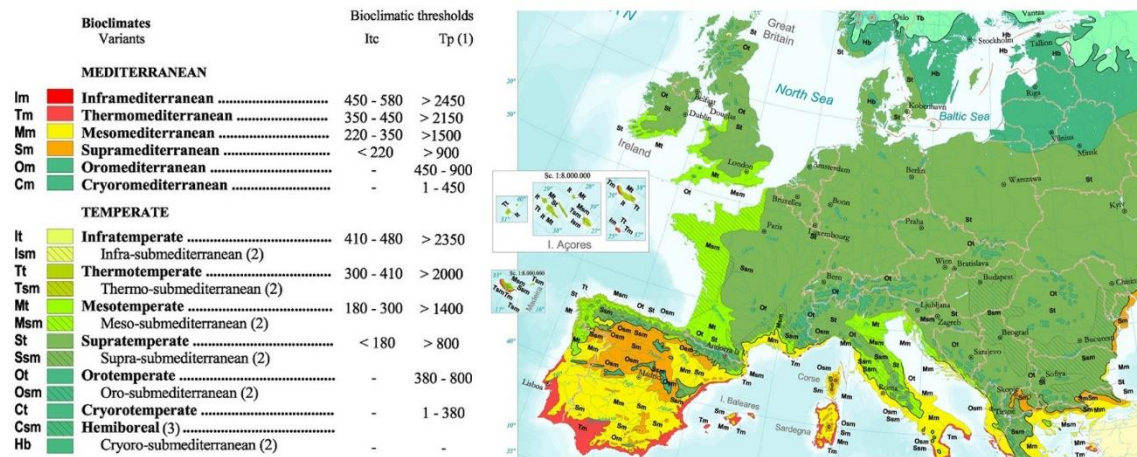
a) *Pirenaico-Cevenense*: incluye los Pirineos y las Cevenas, en el Macizo central francés. Se caracterizan por un bioclima atlántico con importante influencia mediterránea en el sector suroriental de las cordilleras.

b) *Alpina*: incluye los Alpes centroeuropeos. Climáticamente es la zona más atlántica de las tres provincias geobotánicas, si bien los Alpes marítimos y el valle del Ródano presentan importantes influencias mediterráneas.

c) *Apenino-Balcánica*: incluye los Apeninos en la Península Itálica y en la península balcánica los Alpes Dináricos y los Montes Cárpatos y Ródope. Climáticamente es la zona más continental de las tres, aunque con fuertes influencias climáticas mediterráneas, salvo en los Cárpatos.

### 2.1.3 PISOS BIOCLIMÁTICOS ALPINO-PIRENAICOS

Concretamente en el piso *thermo*-bioclimático subalpino (*Orotemperate*) (Figura 2.5) se desarrollan bosques subalpinos de coníferas que han sido interpretados en términos paleoecológicos como áreas refugio, *relict*o ecológico de los antiguos bosques eurosiberianos boreales, que fueron dominantes en la Europa meridional durante las largas fases glaciales del Cuaternario (Carrión et al., 2000; Carrión, 2012). La existencia de algunos endemismos botánicos también permite establecer una fuerte relación de todos los sistemas montañosos europeos entre sí (Schmitt, 2017).



**Figura 2.5. Mapa bioclimático de Europa occidental.** En el mapa se aprecia la distinción de los bioclimas mediterráneo, atlántico (*Temperate*) y boreal. Además, aparecen representados los diferentes pisos termoclimáticos, de manera que se pueden apreciar los microclimas característicos de las zonas costeras, altiplanos y regiones montañosas (*modificada de Rivas-Martínez et al., 2004*). El piso termoclimático denominado Ot (*Orotemperate*) se corresponde con el bioclima *alpino/subalpino* europeo (Rivas-Martínez 1987). Se observa su extensión en los sistemas montañosos pirenaico, alpino y balcánico, en áreas montañosas que superan ampliamente los 1800 m snm, alcanzando o superando los 2800 msnm.

Este esquema biogeográfico general (Figura 2.2) no contempla el desarrollo de una vegetación adaptada a las condiciones bioclimáticas altitudinales de las regiones montañosas alpinas, que articulan aproximadamente un tercio de la Europa meridional mediterránea (Figura 2.5). Esta ecorregión de montaña alpina se define por el desarrollo geobotánico, en diferentes pisos altitudinales (Ninot et al., 2007), de los ecosistemas y biomas característicos del bioclima medioeuropeo templado, pero adaptados a condiciones más frías y húmedas en altura (Rivas-Martínez et al., 2011) (Figura 2.19).

En la ecorregión *alpino-pirenaica-balcánica* se distinguen 5 pisos bioclimáticos altitudinales principales, que definen las formaciones vegetales vasculares dominantes (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007) (Figura 2.6):

**1) Piso basal / submontano (Atlántico)** (100/200 – 800/1100 m snm): bosques de caducifolias, en zonas húmedas o de umbría. Dominadas por robles (*Quercus caducifolia*) o hayas (*Fagus sylvatica*), con sotobosques de helechos (*Pterophita*), principalmente.

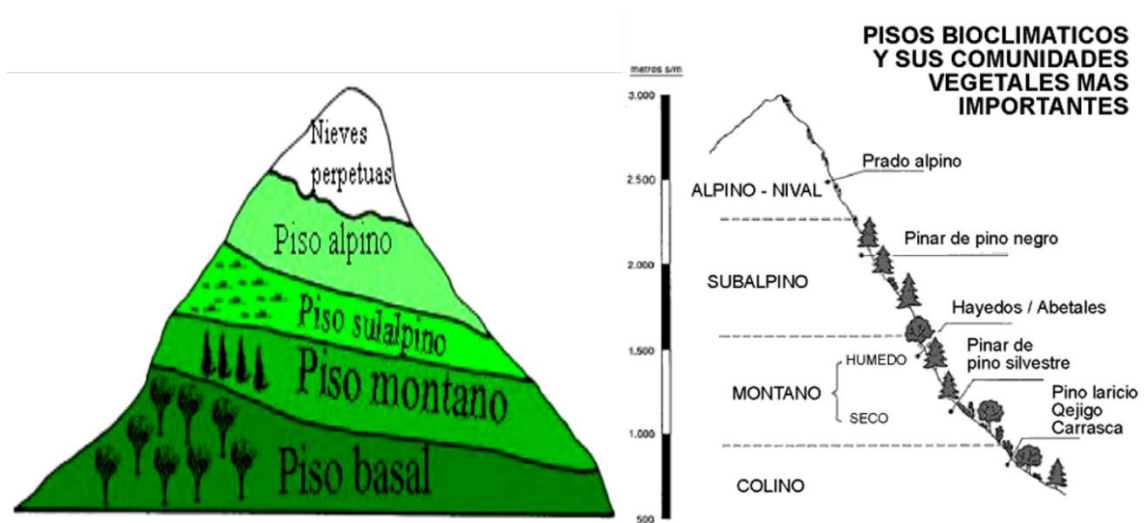
**2) Piso basal / submontano (Submediterráneo)** (200/300 – 900/1100 m snm): bosques mixtos de *Quercus* (roble, quejigo, carrasco y encina) y *Pinus* (pino rojo o albar), con presencia de ericáceas (brezos).

**3) Piso altimontano** (900/1100 – 1600/1800 m snm): bosques de coníferas, sobre todo pino rojo (*Pinus sylvestris*) y abeto (*Albies alba*), con presencia de caducifolias (*Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Salix pyrenaica*), especialmente en las zonas más húmedas y de umbría.

**4) Piso Subalpino** (1600/1800 – 2200/2400 m snm): formaciones boscosas de coníferas, con dominancia de Pino negro (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y presencia de abedules (*Betula pendula*) y avellanos (*Corylus avellana*). Destaca la extensión de formaciones arbustivas de ericáceas, especialmente rododendros (*Rhododendrun ferrugineum*) y coníferas como el enebro (*Junniperus communis ssp. nana*) en el sotobosque o que pueden formar brezales.

**5) Piso Alpino** (2.200/2400 – 2700/2900 msnm): aunque generalmente no se encuentran formaciones vegetales arbóreas en este piso altitudinal pueden localizarse individuos y pequeños grupos de Pinos negros (*Pinus mugo ssp. uncinata*) hasta los 2.600 m snm, así como formaciones arbustivas dispersas de enebros (*Junniperus communis*) y rododendros (*Rhododendrun ferrugineum*), que complementan a las praderas de herbáceas (*Festuca*, *Nardus*, *Artemisia*) y juncáceas (*Carex*, *Juncus*), que suponen la formación vegetal vascular dominante, allí donde el substrato lo permite.





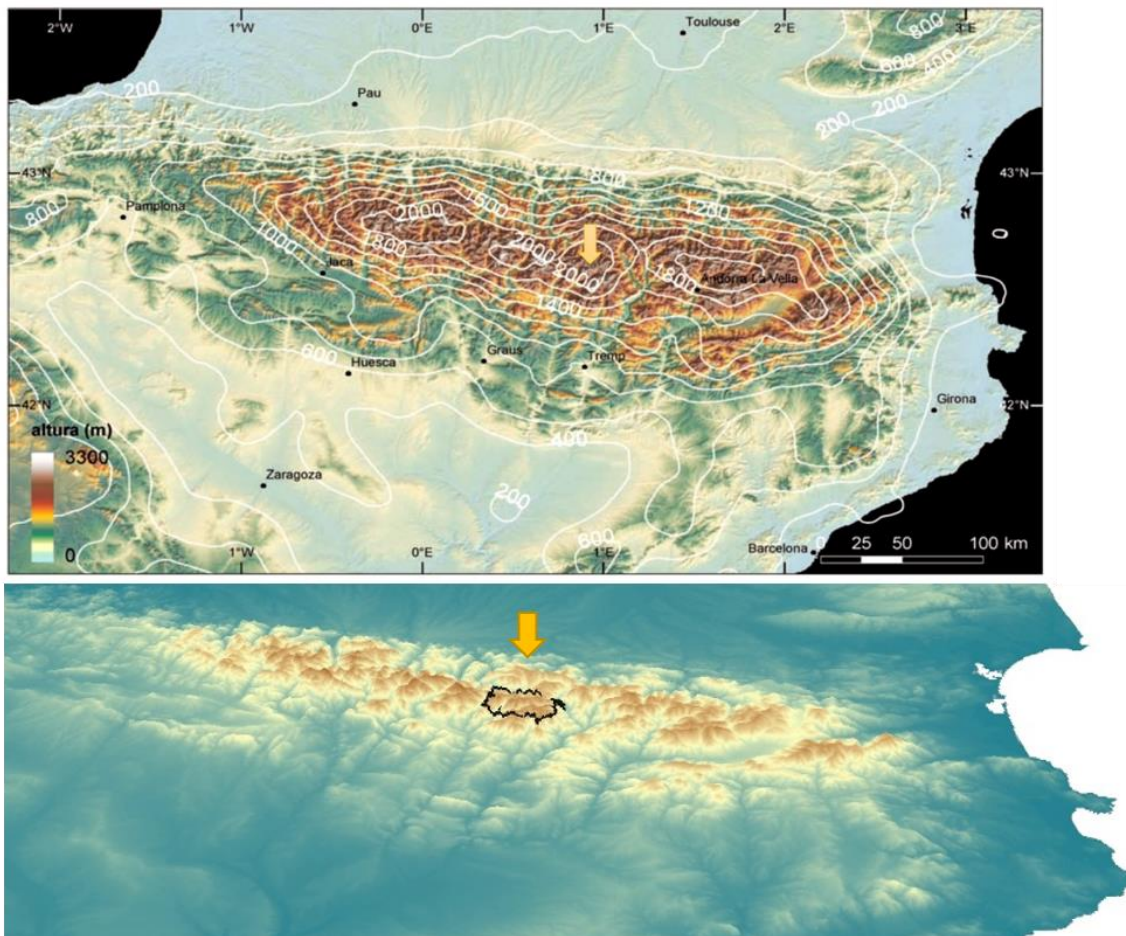
**Figura 2.6. Principales pisos termoclimáticos que se desarrollan en la región Eurosiberiana medioeuropea.** Los pisos inferiores (basal, colino y altimontano) suelen reflejar una mera adaptación de las series de vegetación de la ecozona, a condiciones más frescas y húmedas, mientras que los pisos superiores (alpino y subalpino) recogen la vegetación propiamente característica de la alta montaña borealpina (*modificado de Rivas-Martínez, 1987*).

En términos generales, la vegetación de los pisos altitudinales inferiores: basal y colino y (situados entre 100/200 y 900/1100 m snm), y en parte también del piso altimontano (situado entre 900/ 1100 y 1600/1700 m snm) de las montañas del centro y sur de Europa, reflejan una mera adaptación de los bosques caducifolios termófilos atlánticos o submediterráneos, a condiciones de mayor pluviometría o estacionalidad, debidas a la altura (Rivas-Martínez, 2007).

Sin embargo, los pisos altitudinales superiores, alpino y subalpino, denominados de alta montaña, y que habitualmente podemos encontrar en la región euro-mediterránea entre 1600/1800 y 2700/2900 m snm, debido al gradiente altitudinal presentan unas condiciones bioclimáticas cercanas a las de la ecorregión boreal, aunque estén situados en el sur de Europa, por lo que también se denominan boreoalpinos (Rivas-Martínez et al., 2011).

## 2.1.4 GEOMORFOLOGÍA DE LOS PIRINEOS

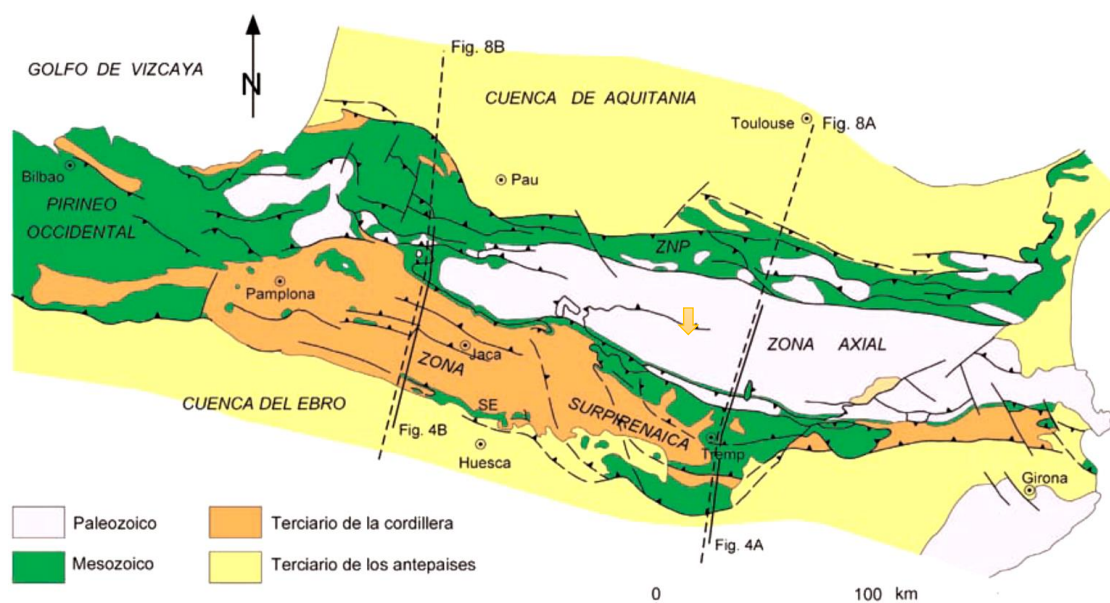
Los Pirineos (o el *Pirineo*) son una cordillera que se extiende de este a oeste durante 475 km, y que alcanza en su región central los 150 km de anchura norte sur, separando la Península Ibérica de la llanura atlántica continental occidental europea (Figura 2.7).



**Figura 2.7. Mapas de elevación topográfica de la cordillera pirenaica.** En los mapas de elevación, se observan las sierras surpirenaicas, al sur del sistema montañoso, así como la terminación más abrupta en el pie de monte de la vertiente norte. Al este del valle de la Cerdaña se dispone el pirineo oriental y en el eje central de la cordillera las sierras axiales. Justo en el centro geográfico del Pirineo axial central encontramos el batolito granodiorítico de la Maladeta, que supone la mayor elevación de la cordillera. Una flecha indica la localización del PNAESM, nuestra zona de estudio (*modificado de Teixell y Babault, 2007*).

La cordillera pirenaica se caracteriza por presentar una zona axial elevada durante la orogenia alpina y posteriormente modelada durante los ciclos glaciales, por activos procesos de glaciario cuaternario (Bordonau, 1992 y 2006; Pallás et al., 2006, Delmas 2015) (Figura 2.18). La cordillera está marcada por valles estrechos y muy abruptos, de formación glacial, que se orientan generalmente en un eje norte a sur, a partir de la divisoria de aguas (atlántica al norte y mediterránea al sur) (Figura 2.7).

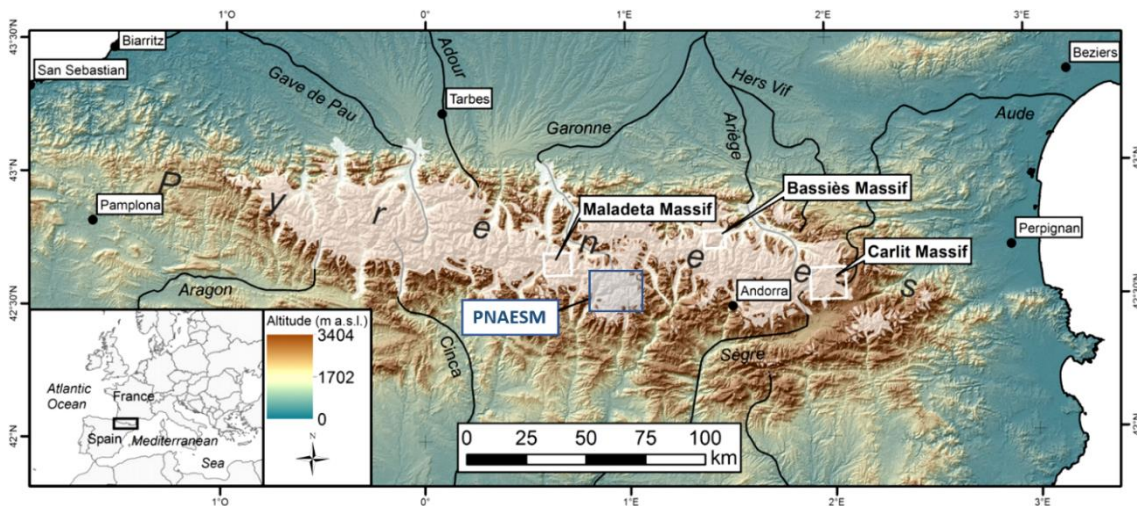
La zona axial o *Pirineo axial* ocupa unos 40 km de ancho por 300 km de largo. Se caracteriza por el dominio de las formaciones metamórficas paleozoicas, con dominancia alternante de litologías graníticas o bien de esquistos y pizarras, a diferencia de las sierras del Prepirineo, donde dominan las formaciones calizas y sedimentarias, de origen mesozoico (Figuras 2.8 y 2.17) (Teixell y Babault, 2007).



**Figura 2.8. Geomorfología de la cordillera pirenaica.** Se observa la geomorfología de la zona axial central, paleozoica, elevada en la orogenia alpina, y conformada, principalmente, por rocas ígneas de litología metamórfica granítica (Martínez-Rius et al., 2011) (modificado de Babault y Teixell, 2007).

El siguiente elemento modelador de la geomorfología pirenaica, tras los procesos orogénicos alpinos que elevaron la matriz paleozoica durante el Paleógeno (Teixell y Babault, 2007), fue, sin duda, el glaciario cuaternario (Bordonau, 2006; Pallás et al., 2006), especialmente activo durante el último millón de años, aproximadamente (Estévez, 2005). Al menos en los últimos 4 grandes ciclos glaciares se habrían desarrollado diferentes eventos de glaciario activo, de los cuales hay pocas evidencias, salvo los últimos máximos

que se sitúan entre 65 y 20 ka cal BP, en el MIS 4 y MIS 2 respectivamente, en el *würmiense* (Delmas et al., 2015; Turú et al., 2016). En estos periodos de máxima acumulación sobre la zona axial central de la cordillera, el hielo podría llegar a cubrir entre el 40 y el 60 % de la superficie emergida de las montañas, alcanzando los glaciares de valle hasta 900 m de potencia en las zonas centrales del Pirineo, siendo frecuente la transfluencia glaciar entre diferentes valles (Pallás et al., 2006; Rodríguez-Fernández, 2011; Turú et al., 2016).



**Figura 2.9. Máxima extensión de los glaciares pirenaicos.** Durante el LGM (24-19 ka cal BP) se observa como la extensión del hielo afectó principalmente a la región pirenaica axial, aunque los mayores glaciares de valle, especialmente los atlánticos (Garona, Pau, Ariège), se llegaron a extender por algunos valles de las sierras exteriores. En el centro de la imagen aparece la localización de nuestra área de estudio en el PNAES (*modificado de Crest et al., 2017*).

Los subsiguientes procesos de retirada del hielo o deglaciación, durante el *Tardiglacial* (18-11,7 ka cal BP) y *Postglacial* (11,6 – 9,2 ka cal BP) (Turú et al., 2016; Crest et al., 2017; Cordier et al., 2017), modelaron de forma activa la geomorfología de las montañas, generando cubetas de sobreexcavación glaciar que dieron lugar a lagos y morrenas laterales, circos y colladas de tanto de transfluencia como de confluencia glaciar en zonas elevadas o de cabecera de los valles y grandes canchales o morrenas rocosas, vestigio de los últimos glaciares rocosos más elevados (Rodríguez-Fernández, 2011; Fernández et al., 2017).

En definitiva, la geobotánica alpina viene definida tanto por las condiciones bioclimáticas como por la morfogénesis de la alta montaña, donde, en ambos casos, la orografía del terreno juega un rol determinante.

## 2.1.5 VEGETACIÓN DEL PIRINEO AXIAL CENTRAL

---

Conceptualización de los tipos de vegetación potencial o antrópica existentes en el caso de estudio, similares a otros contextos ecológicos de alta montaña europea.

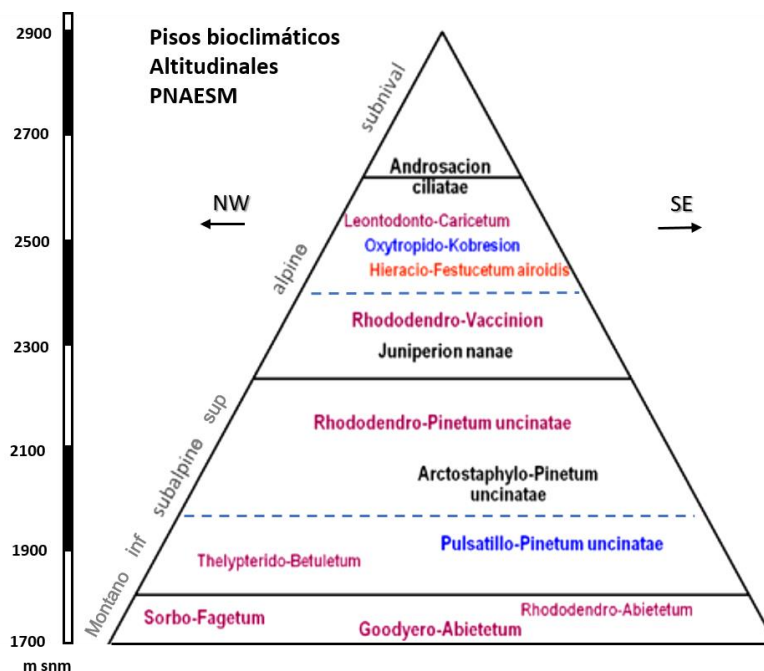
Los Pirineos se caracterizan por ser una *provincia* alpina (*provincia bioclimática Pirenaica*) (Rivas-Martínez, 1987), caracterizada tanto por la influencia del bioclima atlántico medioeuropeo como por el clima mediterráneo, definiéndose, por tanto, como una subregión biogeográfica de *Ecotono* entre ambas zonas (Figura 2.1).

El conjunto de la región pirenaica se caracteriza por tres factores orográficos principales, que determinan el desarrollo bioclimático de las formaciones vegetales y, por tanto, de un paisaje potencial u otro: 1) vertiente, norte o sur, de la cordillera, 2) el piso altitudinal, y 3) el sector, oriental u occidental. Además, habría que añadir un último factor condicionante: la geología del terreno, ya que el tipo de rocas y componentes principales de los suelos determinan su composición y acidez, y, en consecuencia, el desarrollo de las comunidades vegetales (Ninot et al., 2007; Rodríguez-Fernández, 2011).

En general, la vertiente norte recoge siempre un clima más oceánico y húmedo que la vertiente meridional, algo más seca y con condiciones más mediterráneas, que se ven reflejadas en la vegetación prepirenaica, especialmente de tipo submediterráneo colino o submontano (Rivas-Martínez, 1987). La vertiente surpirenaica es más montañosa, estando marcada por varias sierras calcáreas, denominadas *Prepirineos*, que se extienden de este a oeste en paralelo a las sierras pirenaicas centrales o axiales (Babault y Teixell, 2007). Por su parte, la vertiente norte de la cordillera acaba de forma relativamente abrupta en un pie de monte que conforma la gran llanura aluvial francesa, abierta al flujo atlántico (Figura 2.7).

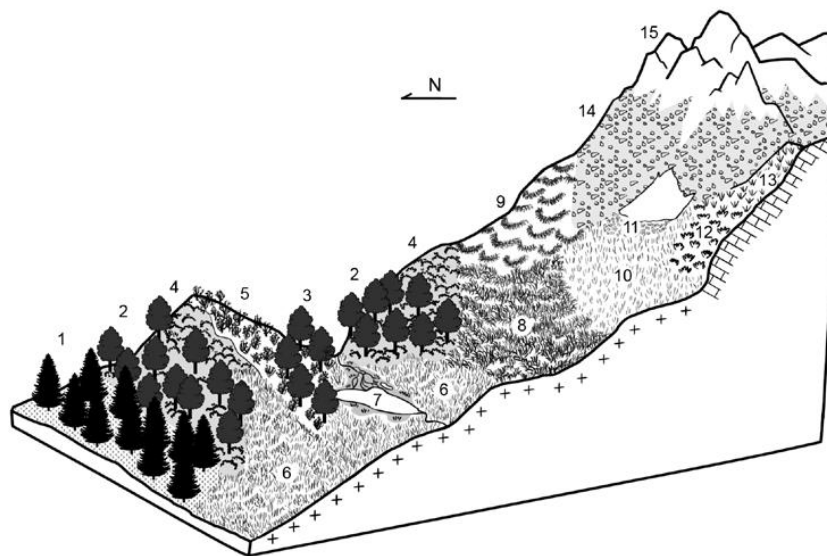
### 2.1.5.1 FORMACIONES VEGETALES POTENCIALES

Estas características orográficas condicionan el desarrollo de los pisos bioclimáticos altitudinales, de manera que en la zona más atlántica de la cordillera encontramos bosques de caducifolias (*Quercus caducifolia*, *Fagus sylvatica*) hasta el piso basal o pie de monte, mientras que en las sierras prepirenaicas se encuentran bosques de tipo submediterráneo, adaptados a condiciones más áridas (*Quercus perennifolia*, *Pinus sylvestris*). Las zonas bioclimáticas *altimontana* y especialmente *subalpina* presentan en todo el territorio pirenaico condiciones bioclimáticas oceánicas, por lo que las especies dominantes son siempre eurosiberianas (Rivas-Martínez, 1987 y 2007; Ninot et al., 2007). No obstante, la mayor humedad y menor insolación de la vertiente norte condiciona algunas asociaciones vegetales también en zonas de alta montaña, como podemos observar en el siguiente esquema (Figura 2.10).



**Figura 2.10. Desarrollo de las asociaciones florísticas características de cada piso altitudinal del Pirineo axial central.** Se observan las diferentes asociaciones vegetales en función de la orientación de la cordillera, atlántica en la vertiente noroccidental y mediterránea en la suroriental (*modificado de Ninot et al., 2017b*).

Las plantas caducifolias son más frecuentes en la vertiente atlántica de la cordillera, y en las zonas de umbría orientadas al norte. También en el piso altimontano y subalpino, donde la asociación de hayas o de abedules, con serbales, suele sustituir a los típicos pinares de montaña asociados con ericáceas como gayubas (*Arctostaphylos uva-ursi*) o rododendros (*Rhododendron ferruginum*). Los abedales (*Abies alba*) con rododendros son típicos de fondos de valle y umbrías del piso altimontano superior o subalpino inferior a ambos lados de la cordillera, aunque más frecuentes en cara norte, mientras que los pinares de montaña (*Pinus mugo ssp. uncinata*) semiabiertos con sotobosque de rododendros, arándanos (*Vaccinuum myrtillus*) y enebros (*Juniperus communis ssp. nana*) son típicos de la transición entre el piso subalpino superior y alpino en toda la cordillera, entre los 2200 y los 2400 m snm, formando en muchos casos brezales de ericáceas en lugar de bosques. Entre los 2400 y los 2700 m snm, es el óptimo de piso alpino, donde si los suelos lo permiten, suelen dominar las praderas alpinas, de festucáceas (*Festuca eskia* o *Festuca aroides*), cárices (*Carex nigra* o *Carex curvula*) y cervunales (*Nardus stricta*), principalmente (Rivas-Martínez, 1987; Carrillo y Ninot, 1992; Gómez-García, 2008; Ninot et al., 2017b).



**Figura 2.11. Representación geobotánica del típico paisaje de alta montaña del Pirineo axial central.** Corte altitudinal que incluye los pisos: subalpino (1700 – 2400 m snm), alpino (2400 – 2800 m snm) y subnival (2800 - 3000). Los números representan las siguientes series catenales o asociaciones fitosociológicas: Bosques subalpinos: 1) *Rhododendro - Abietetum*; 2) *Rhododendro - Pinetum uncinatae*; 3) *Arctostaphylo - Pinetum uncinatae*. Brezales de ericáceas: 4) *Rhododendro - Vaccinion*; Enebrales: 5) *Juniperion nanae*; 6) *Alchemillo-Nardetum*. Humedales y turberas: 7) *Caricion fuscae*. Praderas alpinas: 8) *Selino-Festucetum eskiae*; 9) *Festucion eskiae*; 10) *Festucion aroidis*; 11) *Salicion herbaceae*. Vegetación subnival: 12) *Dryado-Salicetum pyrenaicae*; 13) *Oxytropido foucadii-Kobresietum myosuroidis*; 14) *Senecionion leucophylli*. Roquedales: 15) *Androsacion vandellii* (modificado de Ninot et al., 2017b).

Nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau, discurre entre 1300 y 3000 m de altitud, aproximadamente, por lo que comprende los pisos bioclimáticos *altimontano*, *subalpino inferior*, *subalpino superior*, *alpino* y *subnival* (Figuras 2.11 y 2.12) (Carrillo y Ninot 1992, Ninot et al., 2007).

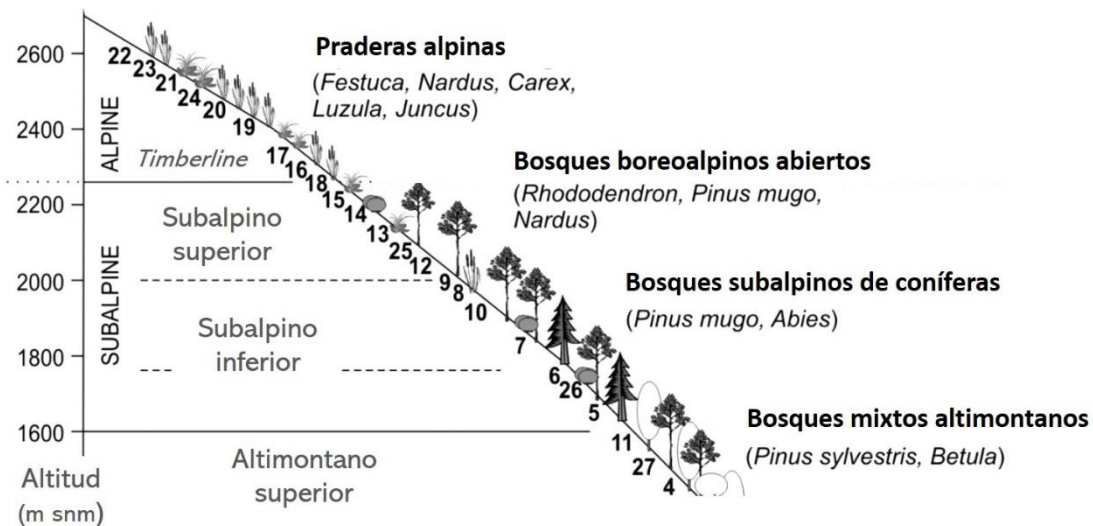
En función de las condiciones de los suelos y de la insolación se desarrollan las diversas formaciones vegetales potenciales asociadas a cada piso bioclimático:

- a) **Subnival:** situado por encima de los 2700/2800 m snm, se caracteriza por una escasa vegetación vascular, salvo por la presencia ocasional de praderas poco desarrolladas de *Artemisia* y *Festuca eskia*, si hay algo de suelo (Ninot et al., 2007). Domina la vegetación no vascular, líquenes y musgos. Está caracterizado por paisajes de roquedo y canchales de bloques inestables, conformadas por morrenas rocosas, carenas y conos de deyección (Martínez-Rius et al., 2011).
- b) **Alpino:** situado entre 2300/2400 y 2700/2800 m snm, aproximadamente, se caracteriza por el desarrollo de praderas de herbáceas (*Festuca eskia*, *Nardus stricta*, *Carex*) con presencia de ericáceas, que pueden conformar zonas de matorral (*Rhododendron ferrugineum*) y algunas coníferas dispersas, que en ningún caso forman verdaderos bosques (*Juniperus communis ssp. nana*, *Pinus mugo ssp. uncinata*) (Carrillo y Ninot 1992, Gómez García et al., 2008).
- c) **Subalpino superior:** situado entre los 1900/2000 y los 2300/2400 m snm, es el piso bioclimático altitudinal más elevado donde dominan las formaciones boscosas boreoalpinas. Se trata de bosques, más o menos abiertos, de pino negro (*Pinus mugo ssp. uncinata*) con presencia de abedules (*Betula pendula*), enebrales (*Juniperus communis ssp. nana*) y matorrales de ericáceas, principalmente rododendro (*Rhododendron ferrugineum*). En este piso de transición al alpino son frecuentes en zonas de suelos nitrófilos e hidrófilos el desarrollo de turberas, humedales y pastizales de juncáceas (*Cares*, *Juncus*, *Luzula*) y poáceas (*Festuca*, *Nardus*) (Carrillo y Ninot 1992, Cañellas Boltà et al., 2008).
- d) **Subalpino inferior:** se desarrolla entre los 1600/1700 y los 1900/2000 m snm. Se caracteriza por presentar bosques mixtos con dominio de las coníferas (*Abies alba*, *Pinus mugo ssp. uncinata* y *Pinus sylvestris*) con abundancia de abedules (*Betula pendula*), avellanos (*Corylus avellana*) y presencia de otras caducifolias (*Fagus sylvestris*, *Sorbus aucuparia*, *Salix*, *Tilia*, *Fraxinus* y *Alnus*). En zonas de sotobosque o



roquedo también se desarrollan enebrales (*Juniperus communis ssp. nana*) matorrales de diversas ericáceas (*Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinium myrtillus*, *Arctostaphylos uva-ursi*). Las poáceas (*Festuca*, *Nardus*, *Agrostis*) y juncáceas (*Carex*, *Juncus*, *Luzula*) se desarrollan en zonas soleadas y humedales, respectivamente, y donde lo permite la vegetación leñosa, dominante (Carrillo y Ninot 1992, Cañellas Boltà et al., 2008).

- e) **Altimontano superior:** Entre los 1700/1600 y los 1400/1300 m snm, hasta la desembocadura del valle se encuentra el piso altimontano superior. Este piso bioclimático es muy variable en los Pirineos (Rivas-Martínez 1987), estando dominado en el valle de Sant Nicolau por los pinares albares o de pino rojo (*Pinus sylvestris*), que pueblan las laderas abruptas de la parte baja del valle. No obstante, hay un importante desarrollo del bosque de ribera de caducifolias en el fondo del valle, con una destacada presencia de avellanos (*Corylus avellana*), abedules (*Betula pendula*), robles (*Quercus caducifolia*) y otras caducifolias (*Populus*, *Salix*, *Fagus*, *Prunus*, etc.) (Carrillo y Ninot 1992, Cañellas-Boltà et al., 2009). En algunas zonas superiores del piso altimontano también pueden encontrarse abetos (*Abies alba*), enebros (*Juniperus communis ssp. nana*) y ericáceas (*Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinium myrtillus*, *Arctostaphylos uva-ursi*).



**Figura 2.12. Desarrollo de los pisos bioclimáticos altitudinales en el PNAESM.** Se observa un dominio de las coníferas en todos los pisos altitudinales arbóreos, acompañadas siempre por caducifolias, especialmente de la familia *Betulaceae* y plantas arbustivas de la familia *Ericaceae*. Por encima del límite superior del bosque se desarrollan praderas alpinas (*adaptado de Cañellas Boltà et al., 2008*).

En síntesis, los paisajes naturales o potenciales del valle de Sant Nicolau podríamos simplificarlos en dos categorías ecológicas básicas:

**Bosques:** generalmente de coníferas, con presencia de arbustos y alguna caducifolia. Su extensión es variable, pero suelen dominar las umbrías, fondos de valle y zonas marginales entre 1300 y 2300 m snm (Figura 2.13 (c,d)).

**Praderas y brezales:** zonas no arboladas (aunque la presencia de plantas arborescentes es frecuente), formadas por las praderas, roquedos, humedales y brezales de ericáceas, landas o enebrales. Dominan las tierras más altas, entre 2300 y 3000 m snm (Figura 2.13 (a,b)).



**Figura 2.13. Fotografías de los dos tipos de paisaje potencial característicos de la alta montaña: bosques subalpinos y praderas alpinas.** Las fotografías superiores muestran praderas alpinas situadas en la Serra de Casesnoves (b) y Vall de Llacs (a), en torno a 2600 m snm. Las imágenes inferiores ilustran el abetal mixto del Bosc de la Cremada, situado a unos 1850 m snm (c) y el Bosc de Llacs, sobre el Estany de la Llebreta, en torno a 1780 m snm (d): un bosque mixto de avellanos, abedules y otras caducifolias. Ambos bosques se encuentran en el piso subalpino inferior.

### 2.1.5.2 FORMACIONES VEGETALES ANTRÓPICAS

---

Desde el momento en que las sociedades humanas comienzan a colonizar las zonas de alta montaña en el neolítico (Galop 2005, Gassiot et al., 2017, Remolins y Gibaja 2018) podemos documentar el impacto humano en los ecosistemas potenciales y en las formaciones vegetales asociadas a cada piso bioclimático altitudinal.

Concretamente, en el valle de Sant Nicolau, los paisajes potenciales dominan actualmente aproximadamente el 70% del valle (Ferré et al., 2013). La antropización afecta especialmente a las zonas del fondo de valle y al piso subalpino superior, donde la extensión de importantes zonas de pasto, especialmente extensas en los valles de Llacs y Casesnoves, supone un ejemplo de pastos de altura, subalpinos, mantenidos gracias al pastoreo de rumiantes domésticos (*vacas, cabras, ovejas, y caballos*).

Otra forma de antropización del paisaje es el aclarado, limpieza u obertura del bosque, así como la degradación de antiguas zonas de pasto, ahora en desuso, que favorecen el desarrollo de matorrales, generalmente de ericáceas, rosáceas y enebros. Éstos pueden ser discontinuos, o bien formar paisajes característicos como enebrales o brezales.

En tanto que uno de los objetivos principales de nuestro programa de investigación es la detección de los diversos procesos de antropización del paisaje en alta montaña a lo largo del tiempo, la comprensión y categorización ecológica y geobotánica de los tipos de paisajes antrópicos es una pieza esencial en la estructura de este trabajo científico.

Somos plenamente conscientes de que las series catenales florísticas que se aplican en fitosociología (Carrillo y Ninot 1992, Rivas-Martínez 2007), así como las asociaciones vegetales típicas que podemos describir para los pisos bioclimáticos (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007) son meras simplificaciones para el análisis geobotánico de los sistemas ecológicos. La realidad suele ser más compleja, encontrándose habitualmente situaciones híbridas, paisajes intermedios y casos particulares (Ninot y Ferré 2008, Cañellas Boltà et al., 2009).

Son muchos los subtipos de asociaciones florísticas y formaciones vegetales que pueden desarrollarse, en función de las condiciones de los suelos, la insolación o la gestión humana de cada tipo de asociación vegetal particular (véase Fillat et al., 2008 y Gómez García 2008).

Dada esta gran biodiversidad, para ser operativos a la hora de analizar los depósitos sedimentarios con la metodología desarrollada (*análisis de fitolitos*) y su comparación con otras aproximaciones metodológicas realizadas (*carbones sedimentarios, polen, etc.*) debemos aplicar las categorías más sencillas posibles a los conjuntos fitosociológicos, de modo que su detección, en base a la analogía con paisajes similares, sea posible en depósitos sedimentarios de diversos momentos del Holoceno. De este modo hemos dividido en 2 categorías principales subdivididas a su vez en diferentes subcategorías:

### **A) Pastos subalpinos y altimontanos**

Entendemos por pastos subalpinos a aquellas formaciones abiertas, dominadas por las praderas, generalmente de poáceas (de la subfamilia *Pooideae*), o eventualmente de ciperáceas (del género *Carex*), que conforman una formación vegetal adecuada para el pastoreo de rebaños de rumiantes (Fillat et al., 2008).

En función de las condiciones de los suelos, la altitud, la insolación o la inclinación del terreno, los tipos de praderas que podemos encontrar en el área de estudio son diversos, por lo que los hemos simplificado en 3 tipos principales:

#### **1) Praderas alpinas de festucas**

Plantas dominantes: *Hierbas de patrón fotosintético C<sub>3</sub>* (subfamilia *Pooideae*)

En zonas de ladera relativamente soleadas con suelos ácidos se conforman praderas de serrón, generalmente *Festuca eskia*, que en zonas húmedas o de umbría suele aparecer en asociación con el cervuno (*Nardus stricta*), habitualmente acompañados de heno (*Deschampsia flexuosa*) y regaliz (*Trifolium alpinum*). Este tipo de asociación vegetal suele desarrollarse en todo el piso alpino y subalpino, entre 1800 y 2800 m snm, siendo muy común en el valle de Sant Nicolau. En las zonas más elevadas, en los pisos alpino y subnival, entre 2300 y 2900 m snm se desarrollan las verdaderas praderas alpinas, o pastos acidófilos de festucas, generalmente de *Festuca airoides*, acompañada en umbrías

y zonas más húmedas por *Carex curvula*, y eventualmente, por *Poa alpina* y diversas plantas con flor de la familia de las asteráceas, como *Leontodon pyrenaicus*.

## **2) Cervunales y pastos higrófilos de cárices**

Plantas dominantes: *Monocotiledóneas (Pooideae + Cyperaceae)*

En suelos relativamente bien desarrollados, muy ácidos y ricos en materia orgánica, como zonas llanas, eventualmente inundables o saturadas de agua, destacan los cervunales de *Nardus stricta*, que pueden aparecer en asociación con *Festuca nigrescens*, *Trifolium alpinum*, *Carex sepervirens*, *Plantago alpina* y *Agrostis rupestris*, así como otras plantas herbáceas dicotiledóneas con flor. El rango bioclimático altitudinal del cervuno (*Nardus stricta*) en el Pirineo axial central es de los 1500 a los 2500 m snm, aproximadamente, por lo que domina en el piso bioclimático altimontano superior y subalpino. En terrenos permanentemente inundados, higrófilos, las poóideas son sustituidas por las ciperáceas, concretamente las cárices (*Carex*), que conforman praderas de *Carex nigra* y otras especies, habitualmente asociadas con *Nardus stricta*, en torno a lagos, turberas y planicies aluviales (Gómez García 2008).

## **3) Pastos nitrófilos**

Plantas dominantes: *herbáceas dicotiledóneas*

En zonas donde se estabula o abreva el ganado, o bien zonas de pasto recurrente e intensivo húmedas, se desarrolla un tipo de pradera muy peculiar caracterizada por presentar suelos especialmente nitrófilos, muy ácidos y ricos en materia orgánica. Estos pastos antrópicos se caracterizan por presentar asociaciones vegetales de *Chenopodium bonushenricus*, *Urtica dioica*, *Poa supina* y *Taraxacum pyrenaicum*, entre otras, propias de los suelos nitrófilos o ruderales, que habitualmente se suelen asociar también con cervunales (*Nardus stricta*).

## **B) Brezales de ericáceas y bosques secundarios**

El otro tipo de paisaje antrópico característico de las zonas de alta montaña alpinas son los bosques secundarios. Éstos son el resultado de la sustitución del bosque potencial por otro alterado o degradado por la actividad humana. La deforestación selectiva, para la provisión de leña o carbón, o la eliminación de toda la cobertura arbórea para tareas agrícolas o ganaderas, suele dar lugar a zonas abiertas.

### **a) Bosques aclarados o secundarios**

Plantas dominantes: *dicotiledóneas leñosas (Ericáceas + Caducifolias) + coníferas*

En estas se desarrollan fácilmente los matorrales y las especies arbóreas de crecimiento más rápido y menos exigentes con los suelos, como el pino rojo (*Pinus sylvestris*) en el piso altimontano, o algunas caducifolias en el subalpino (*Corylus avellana*, *Betula pendula*). La diferencia fundamental entre un bosque potencial y uno secundario están en la densidad de la cubierta arbórea y el desarrollo potencial de las diferentes especies de la asociación vegetal forestal. Por ejemplo, un bosque aclarado subalpino o altimontano suele presentar un intenso sotobosque formado por matorrales de ericáceas y vegetación rastrera, mientras que los bosques maduros, como los abetales o los hayedos no presentan sotobosques importantes.

### **b) Matorrales, brezales de ericáceas y enebrales**

Plantas dominantes: *dicotiledóneas leñosas (Ericáceas) + cupresáceas (Juniperus)*

Otro tipo de vegetación leñosa antropizada son los brezales de ericáceas (*Rhododendron ferrugineum*, *Vaccinum myrtillus*, *Arctostaphylos uva-ursi*) y los enebrales (*Juniperus communis ssp. nana*). Éstos, potencialmente, deberían ser escasos y cubrir únicamente zonas elevadas del piso alpino, por encima del límite superior del bosque, en el piso alpino, allí donde las condiciones bioclimáticas son más extremas y no permiten el desarrollo del bosque boreoalpino, o bien aparecer

en zonas rocosas, con suelos escasos y de fuertes pendientes, donde no se pueden desarrollar las praderas. Se trata, por tanto, de un tipo de vegetación esencialmente marginal. Su desarrollo en zonas subalpinas y altimontanas con suficiente suelo para el crecimiento de bosques es siempre un indicador de antropización del paisaje.



**Figura 2.14. Vegetación antropizada actual en el entorno del Planell d'Aigüestortes y Sant Esperit.** En la actualidad se puede apreciar un paisaje predominantemente forestal, pero sustancialmente impactado por la actividad ganadera en el entorno del río Sant Nicolau (c), con pequeñas praderas subalpinas (b), ricas en poáceas, ciperáceas y otras hierbas ruderales. El bosque de coníferas está moderadamente afectado por la acción humana, como indica la presencia abundante de ericáceas en el sotobosque (d).

## 2.2 CASO DE ESTUDIO

---

### *El valle de Sant Nicolau*

Nuestra área de estudio se localiza en el eje central del Pirineo axial, concretamente en el Parque Nacional de Aigüestortes i l'Estany de Sant Maurici (PNAESM), situado al norte de la provincia de Lleida, en Catalunya (Figura 2.18). Particularmente, en esta tesis nos enfocamos en uno de los valles nucleares del Parque, el valle de Sant Nicolau, que se sitúa en el sector suroccidental del PNAESM, al norte del municipio de Boí-Taüll (Vall de Boí) (Figura 2.15).

### 2.2.1 EL PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI

---

El Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM), es un área especialmente protegida de 40.852 hectáreas de los Pirineos. Comprende 5 valles principales: *Vall Fosca* al sur, *Sant Nicolau* al oeste, *Vall d'Espot* y *Alt Àneu* al este y *Alta Garona* al norte, así como las zonas más elevadas y de cabecera de dichos valles.

Altitudinalmente, el PNAESM se sitúa, aproximadamente, entre los 1200 y los 3100 m snm, localizándose unas 2/3 partes del terreno (unas 40.852 ha) por encima de los 2300 m snm, en el piso bioclimático alpino o subnival. Únicamente los valles principales se encuentran por debajo del límite superior del bosque, desarrollando los pisos bioclimáticos subalpino y altimontano, generalmente dominados por los bosques boreoalpinos de coníferas, con mayor desarrollo de las caducifolias en el fondo de los valles inferiores (Ninot et al., 2007, Ninot y Ferrer 2008, Cañellas Boltà et al., 2008) (Figuras 2.13 y 2.15).

Geomorfológicamente, el Parque Nacional comprende el sector oriental del batolito granítico de la Maladeta, siendo el sustrato de granodioritas la roca dominante en todos los



valles, salvo algunas áreas periféricas, donde encontramos afloramientos de calcáreas, pizarras y esquistos, como en el valle de Boí-Taüll o en el Vall d'Àneu (Figura 2.17) (Martínez-Rius et al., 2011).

## **2.2.2 EL VALLE DE SANT NICOLAU (1300 – 3000 m)**

---

### ***A) Geografía***

El valle de Sant Nicolau se sitúa en un enclave estratégico, ya que conecta a través del paso del Portarró las cabeceras de las Nogueras Pallaresa y Ribagorzana, pero, además, por el cercano Port de Ratera da paso al Valle de Aran, a través del valle de Saboredo.

Sant Nicolau es un valle glacial de 13,2 km de longitud, recorrido por el río homónimo, que se extiende, con orientación sinuosa NE-SW, desde el Portarró d'Espot a 2427 m snm hasta la confluencia con el río Noguera de Tor, donde desagua, a 1289 m snm. Contiene varios lagos glaciares en los circos elevados (Bergús, Redó, Serradé, Delui, Contraix, etc.,) entre los que destacan el Estany Llong, situado en la zona de la cabecera del valle en una cubeta de sobreexcavación glacial, a 1912 m snm (Figura 2.15 (b)). En la zona central inferior del valle se encuentra, a 1619 m snm, el Estany de la Llebreta, el único lago de la zona formado, a esta altitud, por un movimiento masivo de ladera, que obturó la salida del río Sant Nicolau hace unos 8 mil años, aproximadamente, en torno al inicio del Holoceno medio, alterando el curso del río y la morfología del valle (Figura 2.15 (d)) (Martínez-Rius et al., 2011).



**Figura 2.15. Fotografías del valle de Sant Nicolau:** a) curso inferior del valle; b) Estany de la Llebre; c) Vall de Llacs, curso medio del valle de Sant Nicolau y valle de Contraix; d) Estany Llong y Portarró.

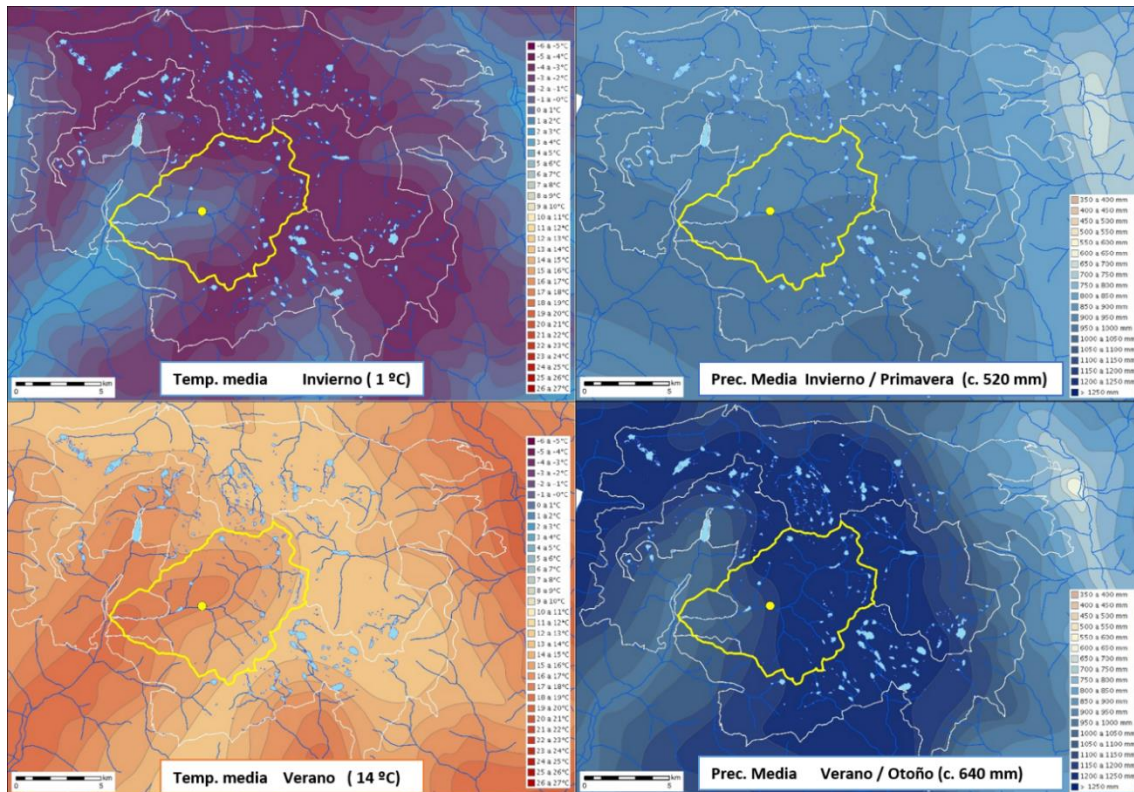
El valle presenta una serie de valles secundarios, laterales, con orientación NW-SE, aproximadamente, entre los que destacan Sarradé, Contraix y Bergús al norte, flanqueados por cimas de más de 2900 metros, como Pala Alta de Serradé (2983 m snm) o Pic de Contraix (2958 msnm), y que marcan la divisoria de aguas de la cordillera. Al sur los valles son generalmente más anchos y de mejor accesibilidad, destacando los valles de Delui y Morrano y especialmente Vall de Llacs y Casesnoves, donde se localizan los pastos de altura más extensos y productivos de los disponibles actualmente en el valle. No obstante, los valles cercanos a los circos glaciares son siempre abruptos y presentan alturas que pueden superar los 2800 m snm: Pic de Subenuix (2959 m snm) o Pic del Pessó (2894 m snm), ambos al sur del valle.

## ***B) Climatología***

Dada su orientación SW-NE, el valle queda relativamente protegido del viento dominante del N-NW, aunque resulta igualmente expuesto al flujo atlántico por lo que presenta un régimen de precipitaciones muy elevado, que define un bioclima oceánico (entre 1100 y 1200 mm al año), definido por dos periodos estacionales claramente diferenciables (Figura 2.16).

Debido al gradiente altitudinal, las precipitaciones son generalmente en forma de nieve durante las estaciones de invierno y primavera. La nieve suele cubrir la mayor parte del valle durante 6-8 meses al año: desde noviembre/diciembre hasta mayo/junio, aunque en las solanas del curso inferior del valle el manto suele ser discontinuo o irregular en función de las nevadas. El verano y otoño son estaciones de climatología variable, con frecuentes precipitaciones, ocasionalmente tormentosas. Entre junio y octubre es más frecuente que las precipitaciones sean de agua, aunque en circos y carenas elevadas es habitual que nieve o granice incluso en verano y otoño. En el piso alpino superior y en el subnival, por encima de los 2500 m snm, el deshielo puede ser tardío y el periodo libre de nieve o hielo más breve, entre julio y octubre.

Actualmente, no queda ningún glaciar ni nevero permanente en el valle, aunque en función de la climatología anual, es posible encontrar algunos neveros residuales durante la mayor parte del verano. La acumulación de nieve en primavera es irregular, alcanzándose varios metros de potencia los años con buenas pluviometrías en zonas de cabecera y circos del valle. Las inundaciones durante el deshielo, en mayo/junio son posibles en los años con climatología más húmeda (Vigo, 2008).

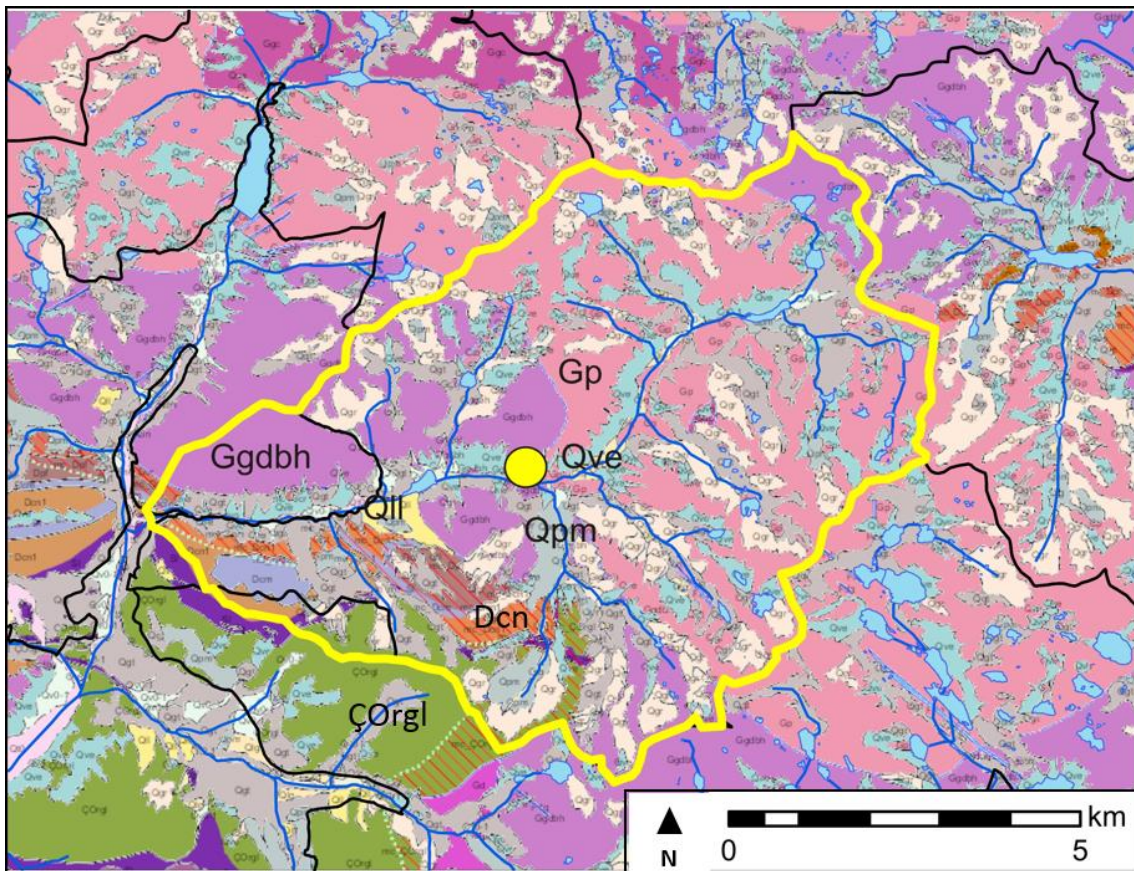


**Figura 2.16. Representación pluviométrica y térmica de la dinámica del clima en el área de estudio.** En las figuras de la izquierda se observa la continentalidad del clima en el valle de Sant Nicolau, marcado por veranos suaves (14 C° de temperatura media) e inviernos no muy fríos (1 °C de media). La pluviometría es algo más elevada en otoño y en primavera, mientras el invierno es la estación más seca. Aunque las precipitaciones son frecuentes durante las 4 estaciones, siendo en forma sólida la mayor parte del año.

### **C) Geomorfología**

Como ya hemos anticipado anteriormente, la geomorfología del Pirineo axial central, incluyendo nuestro caso de estudio, así como la del resto de zonas elevadas de los sistemas montañosos alpinos, está definida por intensos procesos de glaciario cuaternario (Bordonau 2006, Pallás et al., 2006). Los activos glaciares de circos y valles cubrieron durante el último ciclo glacial, como en los anteriores, la mayor parte de la superficie del valle, compartiendo hielo incluso con el valle de Espot a través del collado de difluencia glacial del Portarró (Figura 2.17) (Martínez-Rius et al., 2011). Destaca el gran desprendimiento de masa de ladera desde la cubeta de sobreexcavación de la Cometa de la Qüestió hasta el fondo del valle, que obturó la salida de agua de la del Llebreta, provocando el embalsamiento del agua (Figura 2.15 (d)).

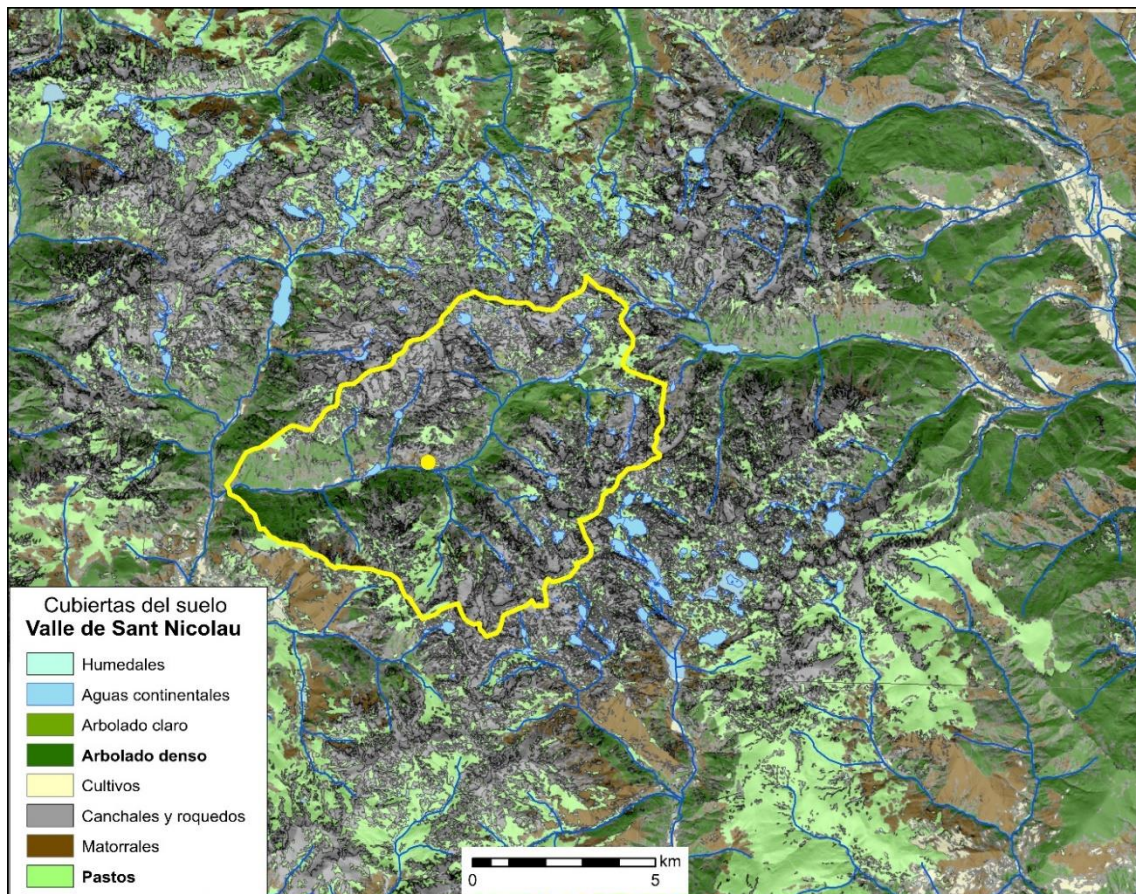
La configuración geomorfológica actual de la zona se la debemos a los activos procesos de glaciario cuaternario (Pallás et al., 2006, Delmas et al., 2015, Fernades et al., 2017), que durante el último millón de años han ido configurando los grandes valles en U, las cubetas de sobre excavación glacial y los circos glaciales (Figura 2.17 y 2.23). Igualmente, los glaciares son los responsables del modelado de las cimas en formas abruptas o de *horn*, así como los grandes canchales rocosos y las morrenas laterales y de cabecera, que definen un típico paisaje alpino de matriz granítica (Figuras 2.15) (Martínez-Rius et al., 2011).



**Figura 2.17. Mapa geológico detallado del valle de Sant Nicolau.** Se observa el dominio de las rocas metamórficas, como granodioritas (Ggdbh) y granitos (Gp) (representadas en colores rosas y malvas), frente a otras rocas sedimentarias o que forman depósitos holocénicos como pizarras (Qll), esquistos (Dpd), conglomerados y calcáreas (representadas en colores ocres y verdosos). En el fondo del valle destacan los depósitos graníticos de formación holocénica postglacial (Qve) (destacadas en azul). En amarillo se señala la localización de la zona nuclear de nuestro caso de estudio y los límites del valle de Sant Nicolau.

## D) Geobotánica

*Grosso modo*, se trata de un valle de alta montaña, de bioclima borealpino localizado en la región eurosiberiana (Rivas-Martínez et al., 2011). Salvo la zona baja de la ribera del Sant Nicolau, desde la desembocadura del río hasta el Estany de la Llebreta, entre 1300 y 1700 metros de altitud, aproximadamente, el piso bioclimático altimontano, más templado, caracterizado por un bosque de caducifolias, el resto del valle se desarrolla en los pisos subalpino, alpino y subnival (Ninot et al., 2007) (Figura 2.12). El piso altitudinal subalpino se distingue a nivel geobotánico de los pisos altimontano (templado) y alpino (frío) por desarrollar formaciones boscosas boreoalpinas, donde las coníferas son dominantes, así como, en función del impacto humano en el medio, paisajes más abiertos, como praderas, brezales, enebrales o bosques secundarios clareados (Figuras 2.18). (Carrillo y Ninot 1992, Soriano et al., 2003).



**Figura 2.18. Cobertura vegetal del valle de Sant Nicolau y su entorno.** Se observa la importante extensión de parajes antropizados (pastos y matorrales) en el valle de Bof-Taüll, así como campos de cultivo en el valle d'Àneu, situado al NE, (CREAF, 2019).

## 2.3 ESTUDIO DEL CAMBIO AMBIENTAL

---

### *El valle de Sant Nicolau*

Presentación de los modelos paleoclimáticos y de la reconstrucción de la historia del paisaje en nuestro caso de estudio.

### 2.3.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y EVOLUCIÓN DEL PAISAJE

---

Evidentemente, el análisis de un solo tipo de biorestos de origen vegetal como un único indicador, ya sea el polen o los fitolitos, resulta una señal, *per se*, insuficiente a la hora de interpretar el cambio ambiental. Ya que necesita de una segunda variable correlacionable e independiente de la primera que nos permita comparar, validar o cuestionar el resultado obtenido en la primera (Carrión et al., 2000). Naturalmente, cuanto mayor sea el número de aproximaciones metodológicas y variables correlativas, el fenómeno documentado empíricamente tendrá una mayor validez científica (Catalan et al., 2013).

La dificultad, sin duda, radica en la lectura de los sedimentos como registros arqueológicos y paleoambientales; o *¿cómo a partir de una serie limitada de variables ambientales podemos reconstruir un paisaje que existió en el pasado?* Para ello sólo podemos emplear *análogos*, en tanto que suponemos que un ecosistema en condiciones equivalentes y en el mismo piso bioclimático (Rivas-Martínez 1987) se comportará de forma similar, y así habría de suceder también con las formaciones vegetales (Carrión et al., 2000). Sin embargo, esta teoría presenta varias contradicciones, pues los ecosistemas son dinámicos y no podemos afirmar que las condiciones bioclimáticas no determinen otros comportamientos en otro periodo del pasado (Catalan et al., 2001; Pèlach et al., 2012). Por otra parte, desde que las sociedades humanas empiezan a operar en un medio ya estaríamos analizando un ecosistema social, no natural, por lo que las analogías deben considerar el factor humano como un elemento de forzamiento ambiental tan importante como el clima, al menos (Pèlach et al., 2007 y 2009; Catalan et al., 2013; Rodríguez-Antón et al., 2016).

No obstante, lo cierto es que los datos ambientales disponibles para los últimos miles de años apuntan que el clima es dinámico e inestable a lo largo del tiempo (Rivera-Arrizabalaga

2004, Uriarte-Cantolla 2004), ni siquiera, en un periodo relativamente estable como sería el Holoceno (Mayewski et al., 2004; Wanner et al., 2011; Walker et al., 2012 y 2018; Finné et al., 2019; Binni et al., 2019).

Asimismo, podemos afirmar que las formaciones vegetales jamás son absolutamente idénticas y además gozan de cierta inercia frente al cambio ambiental, por lo que cualquier paisaje análogo es, por definición, un modelo de análisis, un escenario, pero no un equivalente exacto (Carrión et al., 2000). Casi podríamos afirmar lo mismo incluso de las formaciones vegetales ecológicamente bien definidas a partir de la zonación geobotánica (Ninot et al., 2007). Existen una gran diversidad de conjuntos florísticos, incluso en un área geográfica reducida como es el Pirineo axial central (Carrillo y Ninot, 1992; Cañellas-Boltà et al., 2009, Ninot y Ferré 2008) y éstos son altamente dinámicos con el paso del tiempo (Pèlachs et al., 2007 y 2009). De hecho, la vegetación de montaña continúa, hoy en día, sometida a rápidos procesos de cambio ambiental, readaptación o coevolución (Pauli et al., 2012; Barrio et al., 2013; Ferré et al., 2013).

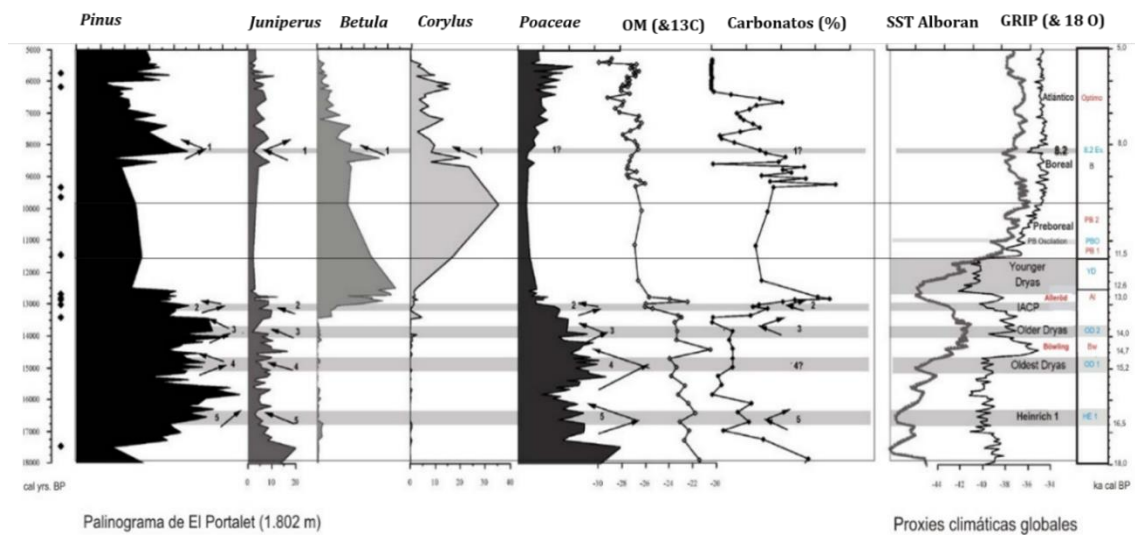
De modo que podríamos afirmar, a tenor de los datos conocidos (Mayewski et al., 2004; Wanner et al., 2011; Walker et al., 2018; Finné et al., 2019), que en todo el Holoceno no hay dos periodos absolutamente análogos, ni climática ni paisajísticamente, con lo que la teoría de la vegetación potencial se nos aparece como un sencillo modelo geobotánico predictivo (García-Moreno, 2007; Rivas-Martínez, 2007). En tanto que la vegetación se desarrolla en función del clima y de la orografía, pero también de la acción humana y de la propia inercia reproductiva de los conjuntos florísticos, ésta puede cambiar rápidamente para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales (Oliva et al., 2017), a las presiones antrópicas (Ferré et al., 2013), u a ambas (Pauli et al., 2013).

Esta realidad no supone que debemos abandonar *a priori* la idea de poder obtener información útil de los registros sedimentarios del pasado. Al contrario, simplemente, debemos ser conscientes de qué tipo de preguntas podemos albergar cuando tratamos la reconstrucción de un paisaje del pasado, asumiendo que, posiblemente, no podamos alcanzar una reconstrucción exacta, ni definir un análogo idéntico. Trabajamos, por tanto, con modelos de aproximación estadística, de tipo cuantitativo, generalmente (Moore et al., 1991; Carrión et al., 2000; Mander y Punyasena, 2018).

Por ejemplo, tradicionalmente, se han definido una serie de periodos polínicos en Europa (Furundarena et al., 1998; Carrión et al., 2000), que han sido posteriormente correlacionados con eventos isotópicos marinos (Rivera-Arrizabalaga, 2004), deduciendo una doble correlación: por una parte la producción polínica se correlaciona con la cubierta

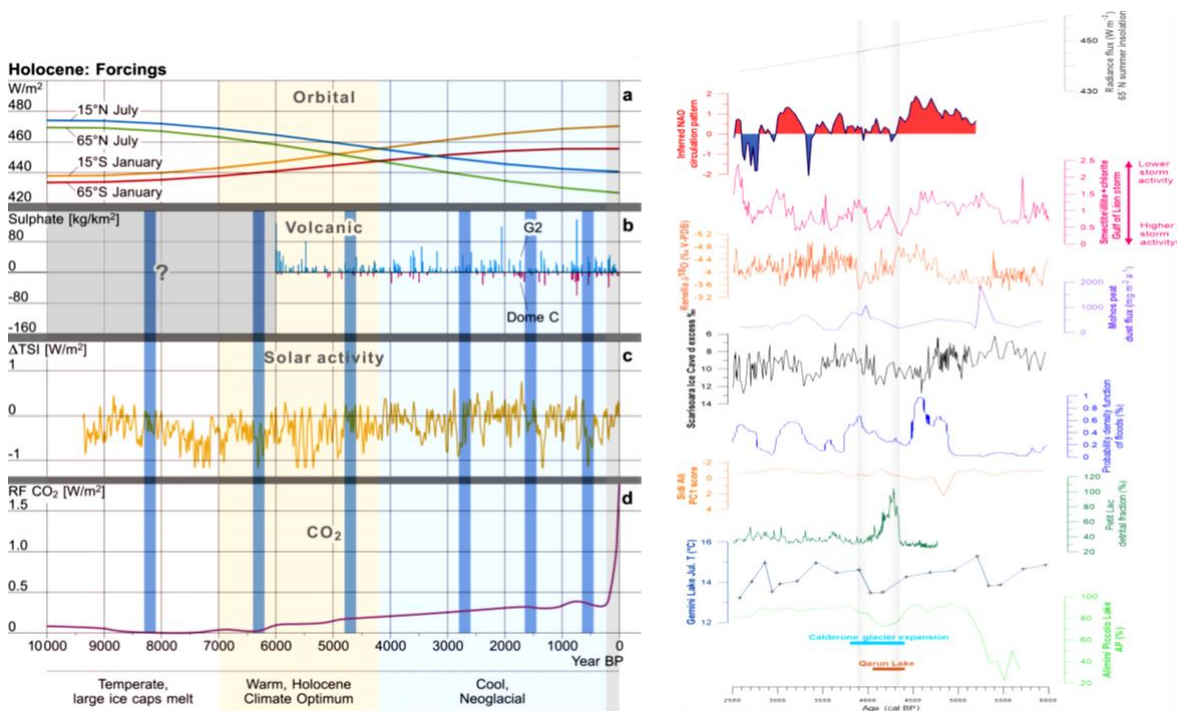


vegetal existente y por otra la concentración isotópica de  $O^{18}$  en las carcasas de los foraminíferos bentónicos responde a la temperatura del agua oceánica en superficie (Uriarte-Cantolla, 2004). Ambos conjuntos biológicos, las formaciones vegetales continentales y los foraminíferos marinos, presentan una determinada distribución de especies en función de un medio ambiente y de una ecología. Ambas responden a los cambios climáticos globales, de modo que se ha deducido una correlación ecológica indirecta entre ambas variables (polen y foraminíferos), mediada siempre por el cambio climático (Forundarena y Jiménez, 1998) (Figura 2.19).



**Figura 2.19. Correlación entre las curvas polínicas, OM, carbonatos y curvas isotópicas de hielo.** En la gráfica se muestran las curvas polínicas de algunos taxones (*Pinus*, *Juniperus*, *Betula*, *Corylus*, *Poaceae*), la concentración de materia orgánica ( $C^{13}$ ) y de carbonatos (%) del depósito lacustre del El Portalet, situado en un fondo de valle subalpino a 1802 m snm, en el Pirineo axial central (Huesca). A la derecha se indican las curvas isotópicas de  $O^{18}$  obtenidas en el fondo del Mar de Alborán (costa atlántica portuguesa) y las columnas de hielo de Groenlandia (GRIP), para el periodo 18 - 5 ka cal BP. Se observa la correlación entre el incremento de las temperaturas oceánicas y el crecimiento de los taxones arbóreos en la alta montaña pirenaica, durante el Holoceno (modificado de González-Sampérez et al., 2006).

Evidentemente, si queremos conocer exactamente cómo funcionan los ecosistemas terrestres y cómo responde el geosistema a los cambios climáticos y ambientales, se hace necesario incorporar el mayor número posible de variables correlacionadas al método científico, de manera que sea posible esclarecer las causas, ritmos e intensidad de los cambios en el medio ambiente, documentables a partir del estudio de depósitos sedimentarios terrestres o marinos, así como de los depósitos de hielo (Uriarte-Cantolla, 2004; Estévez, 2005). El análisis multivariable de indicadores paleoambientales está permitiendo proponer hipótesis a nivel planetario sobre el funcionamiento de los diversos geosistemas regionales y la interacción entre el medio ambiente, los diversos ciclos suborbitales y el clima, así como la respuesta ecológica de los sistemas biológicos a los cambios atmosféricos, marinos y terrestres (Figura 2.21) (Naughton et al., 2009; Pèlachs et al., 2011; Wanner et al., 2011; Fletcher et al., 2013; Finné et al., 2019; Bini et al., 2019).



**Figura 2.20. Análisis multivariable que se aplica para la reconstrucción paleoclimática y paleoambiental.** En la figura se integran las causas del cambio ambiental global, a la izquierda de la composición (según Wanner et al., 2011), con las variables obtenidas de registros paleosedimentarios fósiles, a la derecha de la figura (según Bini et al., 2019), en este caso, aplicados al Holoceno en el Mediterráneo occidental.

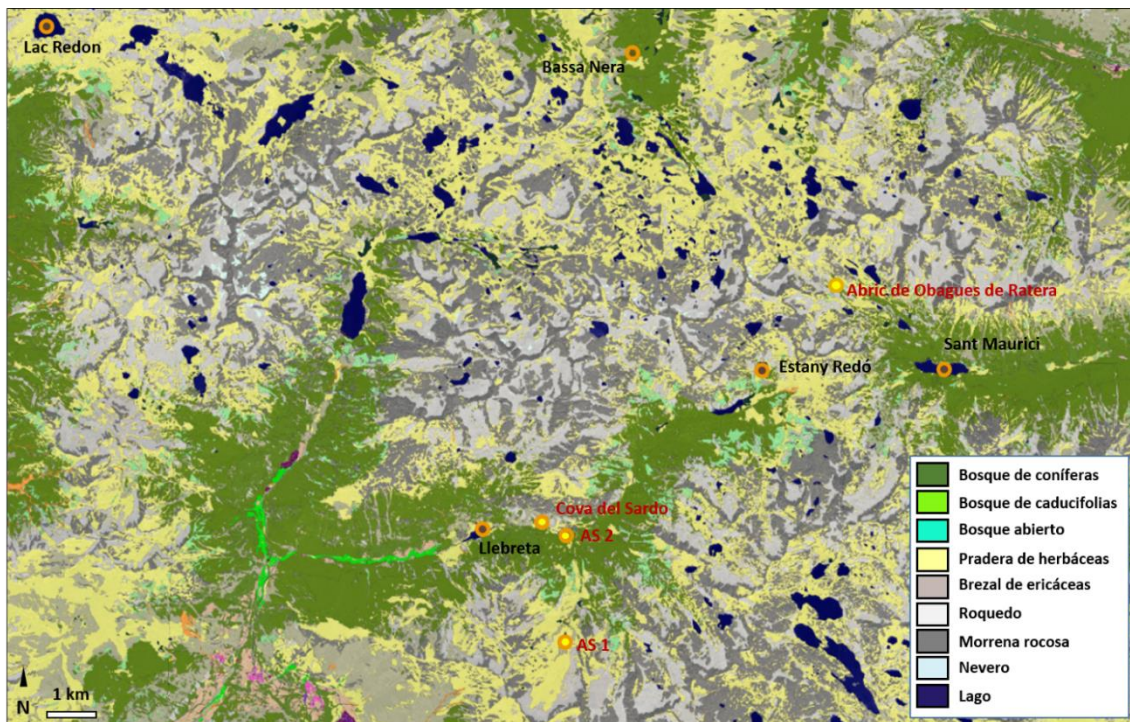
## 2.3.2 EVOLUCIÓN DEL PAISAJE EN EL VALLE DE SANT NICOLAU

---

### *Los estudios sedimentarios lacustres*

A grandes rasgos, el estudio de la evolución del paisaje en el pasado se ha desarrollado a partir del análisis microbiológico de depósitos sedimentarios lacustres. En nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau y los valles colindantes (PNAESM), disponemos de varias secuencias paleosedimentarias analizadas que cubren todo o parte del Holoceno (Catalan et al., 2001 y 2013) (Figura 2.21).

El lugar de muestreo sedimentario más cercano a nuestra zona de estudio es el Estany de la Llebreta (1620 m snm), localizado en el piso montano superior, exactamente, a 1220 m al oeste de la Cova del Sardo; donde fue extraída una columna de sedimento del lago, que cubre los últimos 3600 años del Holoceno superior (Catalan et al., 2013). Ciertamente, la columna polínica del Estany de la Llebreta no alcanza la cronología de este trabajo, pero, afortunadamente, disponemos de otros registros sedimentarios paleoambientales realizados en el piso subalpino del valle de Sant Nicolau y sus valles más próximos. Las dos columnas extraídas en el Estany Redó d'Aigüestortes, localizado a 2105 msnm, en la cabecera del valle, a 5,5 km de la Cova del Sardo, nos permiten disponer de información polínica precisa para los últimos 15 ka (Copons y Bordonau, 1996; Catalan et al., 2001) (Figura 2.23). Otro muestreo sedimentario de gran interés ha sido realizado en el Estany de Sant Maurici, situado a 8,5 km al este de la Cova del Sardo, actualmente en fase de estudio, pero que podría presentar una secuencia cronológica similar (Calero et al., 2015). Además, disponemos de dos columnas extraídas y estudiadas de la Basa Nera (1889 m snm) localizada 9.5 km al Norte de la Cova del Sardo, en el Circ de Colomers, unos 118 m más elevado que el sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS2 (1771 m snm) y que cubren la práctica totalidad del Holoceno, unos 10 ka (Garcés-Pastor et al., 2017) (Figura 2.22).



**Figura 2.21. Mapa con la cubierta de vegetación actual y la localización de los muestreos sedimentarios lacustres.** En el mapa se muestra la localización de los yacimientos y sondeos analizados en esta tesis, en relación a los muestreos sedimentarios lacustres de la zona de estudio (según ICGC, 2019, CREAMF).

Otro tipo de registro microbiológico sedimentario que está aportando información paleoambiental para la reconstrucción de los climas del pasado en nuestra zona de estudio son las diatomeas y crisofíceas (Battarbee 1986; Catalan 2015, Catalan y Pla-Rabés, 2018) (Figura 2.23 (a)). Concretamente, los análisis realizados en el Lac Redon de Conangles, situado a 14 km al NO de la Cova del Sardo (Catalan y Pla-Ribés 2005) (Figura 2.23), y complementados con otros depósitos de diversos lagos como el del Estany Redó d'Aigüestortes (Copons y Bordonau, 1996; Catalan et al., 2001), han permitido formular un modelo paleoclimático para todo el Holoceno en la alta montaña del Pirineo axial central. Según los datos del estudio, el clima en alta montaña durante el Holoceno medio habría sido sustancialmente más cálido (unos 4 C° de promedio), sobre todo en verano/otoño, aunque no en invierno/primavera (Figura 2.20). Los estudios paleoclimáticos apuntan a una climatología más continental y con elevadas precipitaciones, también en verano, para todo el Holoceno medio, pero especialmente en el periodo óptimo, de clima más atlántico (8 – 5,5 ka cal BP) (Figura 2.23: B2) (Pèlachs et al., 2011; Catalan et al., 2013).

### 2.3.3 EL VALLE DE SANT NICOLAU DURANTE LOS ÚLTIMOS 19 KA

---

Presentación de los modelos paleoclimáticos y paleogeobotánicos de la zona de estudio.

Desde un enfoque paleogeográfico y una perspectiva geobotánica, se viene desarrollando desde inicios de siglo una metodología multidisciplinar aplicada a la investigación de la historia de los paisajes en áreas de montaña, que integra al menos las siguientes disciplinas: *palinología*, *carbones sedimentarios*, *dendrocronología* y *edafología*, entendiendo los depósitos sedimentarios como archivos biológicos de los paisajes del pasado (Nadal et al., 2009).

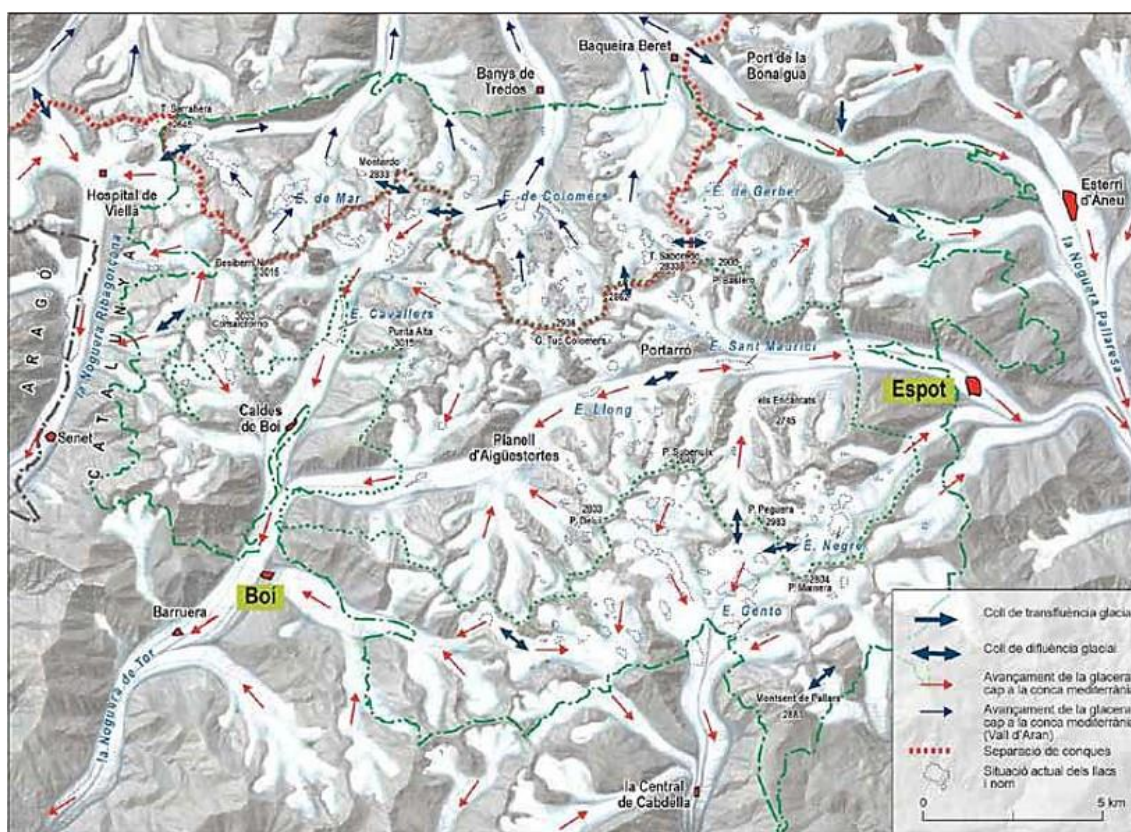
Otras disciplinas incorporadas a la reconstrucción bioclimática y paleoambiental del Pirineo axial, son la *paleolimnología* y el estudio físico-químico de los depósitos lacustres (Pèlach et al., 2011, Catalan 2015). Concretamente, el análisis de la variación en la concentración de materia orgánica (LOI) junto a los estudios polínicos y antracológicos, han permitido reinterpretar los cambios ambientales en el Pirineo axial central, en relación a ciclos climáticos de escala global (Pèlach et al., 2011 y 2012). El estudio de las carcacas de algas crisofíceas y diatoméas permite establecer hipótesis sobre las series paleotemperaturas de los lagos alpinos y subalpinos de la zona de estudio, a escala estacional (Catalan y Pla, 2005) (Figura 2.20).

Los resultados combinados de las diversas metodologías implementadas, sugieren la existencia de diversas subfases paleoclimáticas durante los últimos 18000 años, en los periodos Tardiglacial y Holoceno, que afectan particularmente a la biogeografía del valle de Sant Nicolau y del Pirineo axial central, en general (Catalan et al., 2001 y 2013).

### 2.3.3.1 MORFOGÉNESIS DEL VALLE DE SANT NICOLAU

#### *La deglaciación (19 - 10 ka cal BP)*

Como ya hemos señalado con anterioridad, la formación de los actuales paisajes de alta montaña en los sistemas alpinos se configura durante el último ciclo glacial, mediante procesos de orogénesis derivados de la acción del hielo y posterior deshielo durante el Postglacial y Tardiglacial, durante los últimos 19 mil años (Martínez-Rius et al., 2011; Delmas, 2015; Turú et al., 2016; Cordier et al., 2017).



**Figura 2.22. Recreación de la superficie y dinámica de los glaciares del PNAESM durante el último máximo glacial (LGM).** Extensión máxima y superficie que ocupaban los diferentes glaciares en el entorno del PNAESM durante el último máximo glacial (LGM) (c. 24-19 ka cal BP) (modificado de Martínez-Rius et al., 2011).

Si tenemos en cuenta que los medios de alta montaña han sido modelados de forma muy activa y erosiva por los procesos de glaciario cuaternario (Bordonau 1992 y 2006, Barnolas y Pujalte 2004), podemos afirmar que la primera formación de suelos sedimentarios no se produce hasta que se activan las geodinámicas postglaciales en los valles (Delmas 2015, Cordier et al., 2017). En nuestro caso de estudio (*el valle de Sant Nicolau*), como en la mayoría de valles de alta montaña del Pirineo axial central (Turú et al., 2016), la mayoría de dinámicas sedimentarias se inician en el Tardiglacial, hace unos 16,5 ka cal BP (Copons y Bordonau 1996).

Concretamente en el valle de Sant Nicolau, los procesos de deshielo se activaron tras el último máximo glacial, hace unos 19 ka cal BP, dando lugar a los numerosos lagos glaciares presentes en cubetas de sobreexcavación, fondos de valle y circos (Martínez-Rius et al., 2011). Los actuales lagos se fueron reactivando progresivamente durante la primera mitad del Tardiglacial (18,5 – 14,7 ka cal BP) según iba retirándose el glaciar del fondo del valle (Bordonau 1992, Copons y Bordonau 1996, Pèlachs et al., 2012, Fernandes et al., 2017). Sin embargo, el proceso de deglaciación no fue lineal, ya que durante el Tardiglacial se producen diversos procesos de enfriamiento (*Heinrich, Dryas*), durante los cuales el retroceso de los glaciares de montaña se invierte, y otros más cálidos en los que se reactiva (*Böwlling, Alleröd*) (Martínez Rius et al., 2011, Pèlachs et al., 2012). De modo, que hasta el último de estos eventos fríos, el *Dryas Reciente* (12,6 – 11,7 ka cal BP) se mantienen activos algunos pequeños glaciares de circo, de tipo rocoso, en zonas elevadas sobre los 2300 - 2400 m snm, como en la zona de Bergús o en Contraix (Copons y Bordonau 1996). Su desaparición, a inicios del Holoceno, genera zonas de canchales rocosos formadas por grandes bloques en los circos, morrenas y laderas inestables (Martínez Rius et al., 2011, Fernandes et al., 2017). Es justamente en el Holoceno inicial (11,7 – 10 ka cal BP) cuando se producirá la definitiva estabilización de las laderas y la normalización de la dinámica fluvial y de acumulación sedimentaria, de lagos y riberas (Martínez Rius et al., 2011, Cordier et al., 2017).

No tiene sentido, por lo tanto, buscar depósitos sedimentarios más antiguos, anteriores al último máximo glacial – LGM (24-19 ka cal PB) (Delmas 2015), ya que, a partir del estudio de la morfogénesis del valle, sabemos que simplemente esos depósitos no se han podido conservar (Martínez-Rius et al., 2011, Cordier et al., 2017). De hecho, el estudio de diversos depósitos sedimentarios de limos lacustres: Estany Redó d'Aigüestortes (Copons y Bordonau 1996), Bassa Nera (Garcés-Pastor et al, 2017) y Estany de Sant Maurici (Calero et al., 2015), localizados en la cabecera del valle de Sant Nicolau el primero de ellos y cerca de ésta los otros, y situados entre 2100 y 1800 m snm; apuntan a una sedimentación mínima o nula para todo el periodo Tardiglacial. Los datos indican que la dinámica sedimentaria

actual no se activó de manera continuada hasta ya iniciado el Holoceno, con posterioridad al último evento *Dryas* del Tardiglacial (12,6 – 11,7 ka cal BP), hace, aproximadamente, 10 mil años (Catalan et al., 2013, Cordier et al., 2017, Fernandes et al., 2017).

Por este motivo, la geodinámica de los últimos procesos de glaciario del Pleistoceno final hacen prácticamente imposible la conservación de sedimentos pleistocénicos en el interior de la cordillera, ya que los periodos glaciares, al tratarse de eventos esencialmente erosivos en términos geológicos, tienden a arrastrar o erosionar sedimentos, conformando morrenas, circos rocosos y cubetas de sobreexcavación (Bordonau, 1992; Martínez-Rius et al., 2011; Turú et al., 2016; Cordier et al., 2017; Fernandes et al., 2017). La ausencia de formaciones kársticas, o verdaderas cuevas, en el sustrato granodiorítico del Batolito de la Maladeta, hace imposible la acumulación de depósitos sedimentarios en este tipo de contextos inexistentes; que hubieran sido los únicos potencialmente susceptibles de recoger información sedimentaria pleistocénica, en nuestra zona de estudio (Martínez-Rius et al., 2011).

La imposibilidad de formación de cuevas en el sustrato metamórfico de granodioritas y pizarras, que conforma nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau, ha impedido la conservación de sedimentos anteriores al último evento *Heinrich* (H1: 18 - 15 ka cal BP) (Álvarez-Solas et al., 2011). De hecho, la mayor parte de los suelos y depósitos sedimentarios actuales son directamente holocénicos, ya que se conformaron sobre laderas inestables o grandes cubetas de sobre excavación glacial, en el fondo de los valles (Martínez-Rius et al., 2011). Basta señalar que el área ocupada por los glaciares alpinos durante los eventos fríos del *Würmiense* (110 – 11,7 ka cal BP) (Rivera-Arrizabalaga 2004) llega a suponer entre el 40% y el 60% de la superficie total del Pirineo axial (Delmas 2015, Turú et al., 2016). Mientras que el relleno sedimentario postglacial de los valles supone, en ocasiones, centenares de metros de materiales acumulados, especialmente en las cabeceras de los valles, pero también en las cuencas hídricas y zonas de morrena lateral (Martínez-Rius et al., 2011; Delmas, 2015; Cordier et al., 2017; Fernandes et al., 2017).

Es en el holoceno antiguo, entre 11 y 8,5 ka cal BP, cuando los bosques de pinos negros (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y abedules (*Betula pendula*) colonizan los fondos del valle y las laderas, iniciándose la formación de los suelos subactuales (Catalan et al., 2001, Pèlach et al., 2012, Catalan et al., 2013, González-Sampériz et al., 2017).



### 2.3.3.2 EVOLUCIÓN BIOCLIMÁTICA DE LA VEGETACIÓN EN EL VALLE DE SANT

#### NICOLAU

---

##### *Tardiglacial y Holoceno (19 ka cal BP - actualidad)*

Esencialmente, el desarrollo de la vegetación en pisos bioclimáticos altitudinales se producirá en el valle de Sant Nicolau durante el Holoceno, sin embargo, la transición entre las condiciones glaciales y el actual bioclima templado eurosiberiano tuvo lugar en el Tardiglacial (19 – 11,7 ka cal BP) (Copons y Bordonau 1996, Catalan et al., 2001, Pèlachs et al., 2012,)

A partir de diversos estudios interdisciplinarios, sobre todo polínicos, de depósitos sedimentarios del Pirineo axial central y particularmente del Lac Redón de Conangles (Catalan y Pla 2005), el Estany Redó de Aigüestortes (Catalan et al., 2001) y la Cova del Sardo de Boí (Gassiot et al., 2012), vamos a secuenciar en 8 diferentes fases paleoambientales el desarrollo de las formaciones vegetales dominantes en el valle a lo largo de los últimos 19 mil años (Figura 2.23) (Catalan et al., 2001 y 2013, Pèlachs et al., 2007, 2011 y 2012):

- 1) Tardiglacial inicial (19 – 15 ka cal BP).** (Heinrich 1) (*según* Álvarez-Solas et al., 2011). Periodo de marcada inestabilidad climática, con alternancia de eventos de más fríos con otros de deshielo, marcada por la retirada del glaciar del valle y la activación inicial del sistema fluvial del río Sant Nicolau. Quedarían importantes glaciares aislados en los circos superiores, entre 2200 y 2900 m snm (Bergús, Contraix, Llacs, Morrano, Delui y Serradé) (Copons y Bordonau 1996) (Copons y Bordonau, 1996; Martínez-Rius et al., 2011). La vegetación en este periodo es prácticamente estépica y asociada a climas glaciales (*Artemisia, Ephedra*) (Catalan et al., 2001).
- 2) Tardiglacial final (15 – 11,7 ka cal BP)** (*Böwiling/Alleröd/Dryas*) (*según* Pèlachs et al., 2012). Periodo caracterizado por la alternancia de episodios relativamente atemperados (*Böwiling, Alleröd*) de otros más fríos (*Dryas*). En el valle de Sant Nicolau se define por la retirada de los glaciares de circo hasta conformar pequeños glaciares rocosos marginales, que continuarán activos hasta inicios del Holoceno

(Martínez-Rius et al., 2011). Durante este periodo continúa dominando la vegetación esteparia boreal (*Artemisia, Ephedra*), pero aparecen nuevos taxones indicativos del incipiente desarrollo de enebrales (*Juniperus*) y de las primeras praderas (*Poaceae* y *Cyperaceae*) y estepas alpinas (*Chenopodiaceae, Salicaceae*). También se reconocen las primeras evidencias polínicas de formaciones arbóreas de pino negro (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y abedul (*Betula pendula*), que posiblemente conformaron bosques en zonas óptimas del fondo del valle (Catalan et al., 2001 y 2013).

**3) Holoceno temprano (11,7 - 10,2 ka cal BP) (Preboreal)** Groenlandiense I (según Walker et al., 2018). Periodo de transición desde un paisaje dominado por los taxones estépicos, de clima relativamente frío y seco, característico del Tardiglacial (*Artemisia, Ephedra* y *Juniperus*), con presencia de bosquejos de pinos negros (*Pinus mugo ssp. uncinata*) con algunas caducifolias en los fondos de valle, hasta la colonización de las laderas subalpinas por formaciones boscosas dominadas siempre por pinos negros con importante presencia de abedules (*Betula pendula*) (Pèlachs et al., 2012, Catalan et al., 2013). Climáticamente, se caracteriza por un marcado aumento de las temperaturas y de las precipitaciones, no exento de oscilaciones relativamente más frescas, como el Preboreal (11,2 - 10,5 ka cal BP). Finaliza con el deshielo de los últimos glaciares rocosos localizados en circos elevados, como Bergús y Contraix, en torno al 10 ka cal BP (Copons y Bordonau 1996, Fernandes et al., 2017).

**4) Holoceno inicial (10,2 - 8,2 ka cal BP) (Boreal)** Groenlandiense II (según Walker et al., 2018). Se caracteriza por un clima algo más continental que el actual, con veranos más cálidos e inviernos más fríos (Catalan et al., 2013, González-Sampériz et al., 2017). A nivel de vegetación, estuvo dominado por el bosque de pino negro (*Pinus uncinata*) en el piso subalpino, con presencia de algunas caducifolias, abedules (*Betula pendula*), principalmente. En el piso altimontano, entre 1800/1700 y 1300/1400 m snm, destaca la presencia de las caducifolias, especialmente avellanos (*Corylus*) en solanas y robles (*Quercus caducifolia*) en umbrías (Catalan et al., 2001 y 2013, Pèlachs et al., 2012).

**5) Holoceno medio (8,2 - 6 ka cal BP) (Atlántico)** Norgripiense I (según Walker et al., 2018). Tradicionalmente denominado *Optimo Climático* (Catalan et al., 2001), se define por un clima claramente más cálido y húmedo que el actual, especialmente

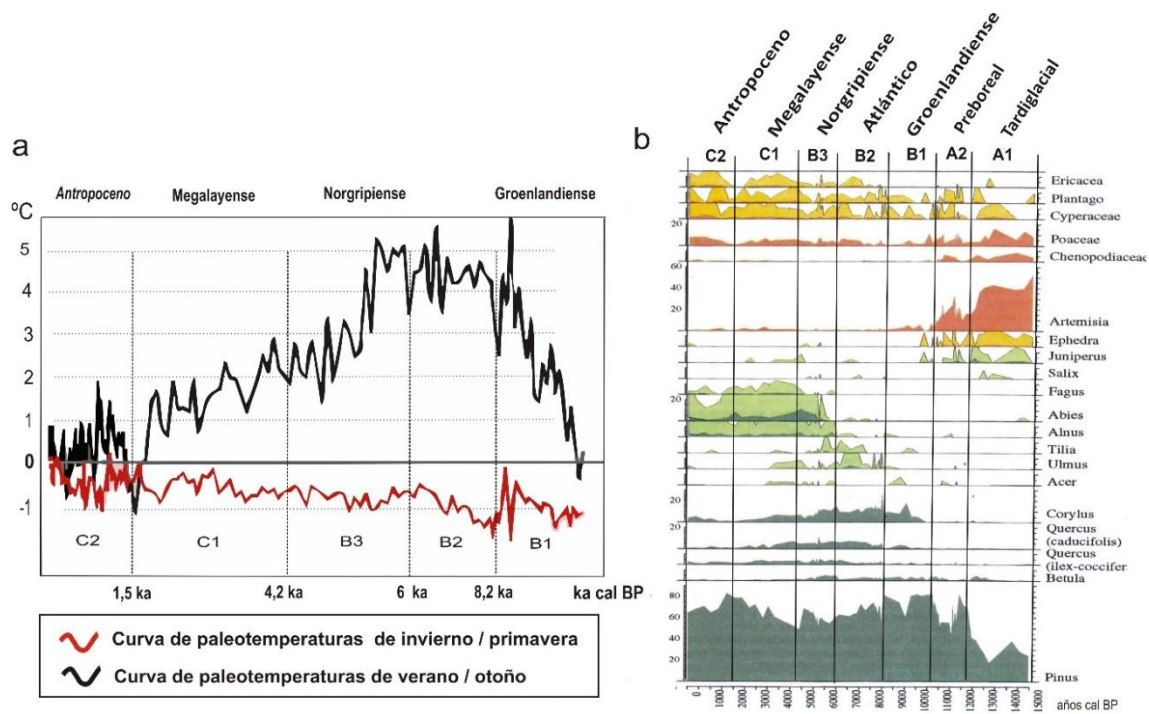
en verano-otoño (Catalan et al., 2013). Este bioclima favorece el desarrollo de una vegetación termo-mesófila en el piso altimontano, que alcanzaría hasta los 1700/1800 m snm. Se caracterizaría por un gran desarrollo de bosques mixtos de caducifolias en las umbrías y fondos de valle (*Quercus caducifolia*, *Ulmus*, *Tilia*), con coníferas (*Pinus sylvestris*), abedules (*Betula pendula*) y avellanos (*Corylus avellana*) en las solanas. En zonas elevadas se documenta la máxima expansión altitudinal del bosque subalpino de pino negro (*pinus uncinata*) y abedul (*Betula pendula*), que puntualmente superó los 2400/2500 m de altura (Cunill et al., 2012), quedando las especies arbustivas, como las ericáceas, y las praderas de herbáceas, reducidas a su mínima expresión, en el piso bioclimático alpino entre 2400/2500 y 2800/2900 m snm (Catalan et al., 2001 y 2013 Pèlach et al., 2011). También detectamos las primeras señales de impacto antrópico en el paisaje, mediante el uso del fuego (Pèlach et al., 2007; Cunil et al., 2012, Rodríguez-Antón et al., 2016).

**6) Holoceno medio final (6 - 4,2 ka cal BP).** Norgripiense II (según Walker et al., 2018). A nivel bioclimático el periodo está caracterizado por un progresivo empeoramiento climático, especialmente acusado a partir de 5,3 cal BP, que se asocia en el Pirineo axial central y en los Alpes con un periodo *neoglacial*, observado en el desarrollo de algunos pequeños glaciares rocosos y depósitos de hielo por encima de los 2900 m snm (Leuda et al., 2017, Sancho et al., 2018). A nivel geobotánico el periodo se caracteriza por la aparición de nuevos taxones, inicialmente en umbrías y zonas de ribera del piso altimontano: el abeto (*Abies alba*) y el aliso (*Alnus*). Al final del periodo también aparecerá el haya (*Fagus sylvestris*) que sustituirá al roble (*Quercus caducifolia*) en un contexto climático más frío. El periodo también estará marcado por el inicio del descenso del límite superior del bosque y el aumento de las ericáceas, como el rododendro (*Rhododendron ferrugineum*) y de la expansión de las praderas alpinas de ciperáceas y poáceas (Catalan et al., 2001 y 2013)

**7) Holoceno final (4,2 - 2 ka cal BP)** (*Subboreal*) Megalayense I (según Walker et al., 2018). Se caracteriza por un clima algo más frío y seco que el anterior, con mayor influencia mediterránea (Pèlach et al., 2011; Catalan et al., 2013). El paisaje estará marcado por el dominio de las coníferas sobre las caducifolias, antes dominantes en el piso altimontano. Destaca por la progresiva entrada primero de los abetos (*Abies alba*) y alisos (*Alnus*) y posteriormente de los hayedos (*Fagus sylvatica*), que alcanzarán su máxima expansión al final del periodo (Pèlach et al., 2007 y 2009).

Estas especies se combinan formando abetales mixtos, en zonas umbrías, entre los 2000 y los 1300 m de altitud, retrocediendo el robledal mixto (*Quercus caducifolia* y *Pinus sylvestris*) al piso montano y a las solanas, por debajo de los 1600 m (Catalan et al., 2001). Continúa la expansión de las praderas antrópicas en el piso subalpino y alpino y la degradación de los bosques por la acción humana (Catalan et al., 2013), detectándose, en general un impacto antrópico bajo (Pèlachs et al., 2007).

**8) Holoceno reciente (2 ka- 0,15 cal BP) (Subatlántico) Megalayense II - (según Walker et al., 2018).** Se define por el establecimiento del clima y la vegetación potencial actuales. Este periodo se caracteriza por la sucesión de eventos más fríos y secos, de los que el más extremo sería la *Pequeña Edad del Hielo* - LIA (1300 - 1850 d.C.), con otros más cálidos y húmedos, como el *Óptimo Climático Medieval* - MCA (900 - 1300 d.C.), que hacen fluctuar ligeramente la altitud de los pisos bioclimáticos potenciales (González Sampériz et al., 2017, Oliva et al., 2018). El creciente impacto antrópico durante todo el periodo enmascara la influencia del clima en la conformación de los paisajes (Pèlachs et al., 2007; González-Sampériz et al., 2017). De hecho, la máxima antropización del valle se produce durante *Óptimo Climático Medieval*, en la Edad Media (750 - 1450 d.C.) (García-Casas et al., 2013; Gassiot y Pèlachs, 2017), observándose una incipiente recuperación de áreas forestales durante el *Antropoceno* (1800 - 2000 DNE), consecuencia del aumento de las temperaturas y del descenso de la presión ganadera (Pèlachs et al., 2009; Catalan et al., 2013).



**Figura 2.23. Reconstrucción paleoambiental del Valle de Sant Nicolau durante los últimos 15 ka.**

a) Curvas de paleotemperatura estacionales, obtenidas a partir del estudio lacustre sedimentario de diatomeas y crisofícias del Lac Redon de Conangles (2240 m snm.) (*modificada de Catalan et al. 2013*). b) Diagrama polínico obtenida de una columna sedimentaria del Estany Redó de Aigüestortes (2105 m s.n.m.), con la separación de los diversos episodios polínicos discutidos en este trabajo (*modificada de Catalan et al., 2001*).

### **3. EL POBLAMIENTO PREHISTÓRICO DE LA ALTA MONTAÑA**

---

#### ***El caso de los Pirineos***

Define el contexto histórico y la cronología de los procesos de poblamiento de los Pirineos, durante la Prehistoria. Plantea las preguntas e hipótesis sociales e históricas que justifican la tesis.

Un punto de partida imprescindible en el objeto de esta tesis es la contextualización de los procesos de ocupación y la dinámica del poblamiento de las montañas durante la prehistoria, y particularmente, en nuestra área de estudio, el Pirineo axial central.

De cara a comprender el modo en que las sociedades habitaron la alta montaña europea durante la prehistoria, hemos abordado el estudio del poblamiento humano en los Pirineos bajo un enfoque diacrónico, lo que nos permite observar los cambios o la resiliencia en el registro ambiental en relación con la secuencia arqueológica de ocupación en nuestro caso de estudio (Rendu 2003; Gassiot, 2011, Dumentier et al., 2016; Rodríguez-Antón et al., 2016, Gassiot 2016, Gassiot et al., 2017).

La comparación diacrónica entre el cambio ambiental y la ocupación del territorio nos permite investigar si los cambios ambientales son consecuencia de diferentes dinámicas de gestión económica del medio por las sociedades humanas o vienen determinadas por los cambios climáticos regionales o globales, o bien por la interacción de ambos procesos históricos (Pèlachs et al., 2007; Catalan et al., 2013; Galop et al., 2013; Pérez-Díaz et al., 2015; Berger et al., 2019).

También creemos que es necesario investigar si los cambios en el patrón de gestión y explotación productiva del medio ambiente a lo largo del tiempo se deben a procesos históricos de ámbito regional (Zapata et al., 2004; Jalut, 2005; Berger y Guilaine, 2008; Oms et al., 2018; Guilaine, 2018), o a decisiones más locales de las poblaciones pirenaicas, en medios de alta montaña (Rodríguez-Antón, 2016; Gassiot et al., 2017). También existe la

posibilidad que sostiene que los cambios en el patrón de gestión y ocupación del territorio a lo largo de la historia, se deben tanto a procesos históricos de ámbito regional como a procesos más o menos locales de gestión del territorio por parte de las comunidades que lo habitan, donde se reocupan lugares de hábitat o se mantienen paisajes y sistemas de explotación del medio durante largos periodos temporales en la prehistoria (Esteban-Amat 2003; Rendu, 2003; Gassiot, 2016; Dumontier et al., 2016; Rendu et al., 2016).

De cara a contextualizar el proceso histórico de poblamiento a nivel regional y la ocupación de la alta montaña, expondremos la historia del poblamiento prehistórico en tres escalas geográficas: 1) los Pirineos, 2) la alta montaña y 3) el PNAESM. Las dos primeras aproximaciones comprenden el área de estudio, a nivel regional y altitudinal, mientras la tercera se focaliza en nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau, donde hemos realizado nuestro trabajo de investigación a nivel empírico.

Por tanto, describiremos las problemáticas arqueológicas que han condicionado el abordaje teórico de esta tesis, a partir de la contextualización de las dinámicas del poblamiento prehistórico a nivel regional y de la ocupación de la alta montaña a partir de los principales yacimientos prehistóricos localizados en los Pirineos centrales, en general, y en el PNAESM, en particular, donde se sitúa nuestro caso de estudio.

De modo que, por una parte, acotaremos las dinámicas de ocupación prehistórica del territorio y, por otra, la generación de los depósitos sedimentarios sobre los que hemos basado nuestra investigación empírica, como son los yacimientos arqueológicos de alta montaña y su entorno.

## **3.1 LA OCUPACIÓN PREHISTÓRICA DE LOS PIRINEOS**

---

Secuencia histórica y arqueológica del poblamiento de los Pirineos durante la Prehistoria.

A continuación, trataremos de proponer algunas explicaciones históricas, basadas en la síntesis de datos arqueológicos recopilados para la zona de estudio, a cerca de las dinámicas sociales y económicas que explican la ocupación de las zonas de alta montaña durante la prehistoria, en particular en nuestra área de estudio, el Pirineo axial central.

Trataremos de abordar cómo las sociedades prehistóricas fueron gestionando su relación con el territorio, concretamente en el piso subalpino; generando nuevos paisajes sociales, condicionados por prácticas productivas de tipo agroganadero, desarrolladas por las diferentes comunidades que habitaron el valle de Sant Nicolau a lo largo de miles de años, en formas similares a las de otros valles de alta montaña de la región pirenaica o del sur de Europa, en general.

Valoraremos en qué medida el caso particular de estudio analizado en esta tesis puede ser útil para comprender mejor las dinámicas sociohistóricas a escala regional, o cómo las sociedades configuraron su relación con el medio ambiente, modelando un paisaje agropastoril que hemos heredado, pero que contiene información de su propia historia, de la historia, en definitiva, de su propio génesis, de la forma en que se generó, mediante la interacción entre la sociedad y el geosistema de la alta montaña.

### **3.1.1 LA FRECUENTACIÓN DE LOS PIRINEOS POR SOCIEDADES CAZADORAS-RECOLECTORAS (19 – 7,6 KA CAL BP)**

---

Durante el Pleistoceno final (125 – 11,7 ka cal PB), a pesar del desarrollo de sucesivas fases de expansión o contracción de los glaciares (Delmas, 2015, Bordonau, 2016), las comunidades cazadoras recolectoras del Paleolítico superior tenían evidentes capacidades técnicas y estrategias socioeconómicas que les permitían frecuentar medio ambientes de tundra boreales (Rousseau et al., 2017) o de montaña, como los Alpes (Nigst et al., 2014). La



frecuentación por parte de comunidades cazadoras-recolectoras de las zonas de montaña de la cordillera es una hipótesis, por tanto, altamente probable, especialmente en los momentos de mejoría climática o interestadiales (Rivera-Arrizabalaga 2004, Naughton et al., 2009). Sin embargo, todo parece indicar que los procesos erosivos de hielo/deshielo no habrían dejado sedimentos antrópicos de este periodo en nuestra zona de estudio (Martínez-Rius et al., 2011, Cordier, et al., 2017, Fernandes et al., 2017).

De facto, veremos que se documenta una continua presencia de grupos cazadores-recolectores tardiglaciales en algunos yacimientos localizados en diversos valles pirenaicos; como la Cerdanya: Montlleó (Mangado et al., 2010) o la Valira: Balma Margineda (Guilaine y Martzluff, 1985), así como en las sierras exteriores: Cova Gran, Balma Guilanyà (Martínez-Moreno et al., 2009, Martzluff et al., 2010, Mora et al., 2011, Mas et al., 2018). Por lo que no podemos descartar la frecuentación de grupos cazadores-recolectores-pescadores, con fines cinegéticos principalmente, en zonas altas del interior de la cordillera, como mínimo, durante el Tardiglacial (19 - 11,7 ka cal BP). Estas poblaciones cazadoras-recolectoras-pescadoras del Tardiglacial (19 - 11,7 ka cal PB) frecuentaron las zonas de montaña, ya no sólo del pie de monte, sino incluso de algunos valles del interior de la Cordillera, especialmente, en el Pirineo occidental (Langlais et al., 2012; Pétilion et al.; 2015), y en menor número también en el Prepirineo central (Mas et al., 2011).

Se trata, en todos los casos, de ocupaciones situadas en el actual piso basal / submontano de la Cordillera. Sin embargo, si tenemos en cuenta que el concepto "*alta montaña*" ha sido definido en base a criterios bioclimáticos muy concretos (Rivas-Martínez, 2007), en el periodo Tardiglacial (19 - 11,7 ka cal PB), el rango altitudinal de la alta montaña habría ido ascendiendo progresivamente, en función de los cambios climáticos, localizándose las condiciones bioclimáticas características del piso subalpino (el bosque boreal de coníferas), donde actualmente se localiza el pie de monte o el piso submontano, y restando así el interior de la cordillera en un ambiente bioclimático alpino o subnival (praderas de *Artemisia* y *C<sub>3</sub>Pooideae*) (Catalan et al., 2001; González-Sampériz et al., 2006 y 2017; Pèlachs et al., 2012).

Desde este punto de vista paleo-biográfico, el yacimiento más antiguo documentado en alta montaña en el Pirineo es un yacimiento que funcionó como una estación de caza y refugio, localizada en la Cerdanya, a 1130 m snm, en el cerro de Montlleó (Mangado et al., 2010 y 2011). El entorno medio ambiental del yacimiento de Motlleó serían praderas o brezales subnivales, en un ambiente de tundra de tipo boreal (Turú et al., 2016; González-Sampériz et al., 2017).

Se trata de una localización a cielo abierto en un pequeño cerro que establece un punto de control excelente sobre el amplio valle de la Cerdanya. El sitio presenta una serie de ocupaciones esporádicas a lo largo de unos 2500 años, fechadas entre 18360 y 16700 cal ANE<sup>4</sup> (20,3 – 18,7 ka cal PB) (Mangado et al., 2011, Gassiot et al., 2017). En una cronología similar se documentan ocupaciones en Cova Gran de Santa Linyà (20,4 – 16,8 ka cal BP) (Mora et al., 2011), yacimiento localizado en un gran abrigo situado a 380 m snm, siguiendo a unos 150 km al sur, siguiendo el curso del río Segre, en el Prepirineo central (Mora et al., 2011; Mas et al., 2018).

Debemos remarcar que justamente la cronología de la frecuentación de ambos sitios se produce durante el estadio isotópico marino MIS 2, en momentos de gran extensión de los glaciares de valle en el interior del Pirineo axial central (Turú, 2011; Delmas et al., 2015; Turú et al., 2016); en una fase climática relativamente húmeda y fría en la región (Naughton et al., 2009).

También hay que considerar que en el caso de Motlleó se trata de frecuentaciones altamente móviles y estacionales, probablemente estivales, asociadas a la caza especializada de grandes ungulados, principalmente caballos, cérvidos y cabras (Banh, 1983; Mangado et al., 2011). Hay que destacar que entre los elementos que portaban estos grupos, denominados “*magdalenenses*” (*sensu* Langlais et al., 2012), han sido halladas diversas conchas marinas, mayormente de procedencia mediterránea pero también alguna atlántica, así como azagayas, y una abundante industria en sílex empleado en la confección de puntas microlaminares de sílex procedente tanto del Prepirineo central y valle del Ebro, como del pie de monte francés. El aparejo industrial nos estaría señalando un amplio rango de movilidad de los grupos magdalenenses a ambos lados de la cordillera e, incluso, la posibilidad de relación con otros grupos del ámbito atlántico, con un radio de acción en sus circuitos de movilidad de no menos de 200 km (Mangado et al., 2011; Sánchez de la Torre y Mangado, 2016; Mas et al., 2018). De hecho, la abundancia de yacimientos del Tardiglacial en el pie de monte francés (Langlais et al., 2012) y en el Prepirineo occidental (Pétillon et al., 2015), podría apuntar a una mayor densidad de ocupación del ámbito atlántico que en el Mediterráneo (Mas et al., 2018). En todo caso la presencia de ocupación a ambos lados de la cordillera, con aparejos tecnológicos y culturales equivalentes, no hace pensar en dos comunidades separadas por los Pirineos. La existencia justamente de enclaves de paso,

---

<sup>4</sup> Cuando hagamos referencia a dataciones radiocarbónicas de un estrato o nivel arqueológico concreto, las fechas se ofrecerán según aparecen en la bibliografía consultada. Si las dataciones han sido revisadas para esta tesis, se presentarán calibradas a 2 sigma (al 95% de probabilidad) con el programa OxCal 4.3, según la curva de calibración terrestre InCal13 (Reimer et al., 2013). En estos casos, siempre se indican las fechas en años calibrados antes o después de nuestra era: cal ANE/DNE.

como Montlleó, donde encontramos productos de ambos lados de los Pirineos y de ambos extremos de la región, apuntaría justamente al mantenimiento de fuertes vínculos entre las comunidades que se movían en torno a la cordillera, entonces jalonada de glaciares (Delmas, 2015; Turú et al., 2016; Cordier et al., 2017).

La capacidad de frecuentar las zonas de alta montaña, a pesar de la presencia de extensos glaciares, por parte de las sociedades magdalenenses, no solo no debería ser descartada *a priori*, sino tenida en cuenta, dado su desarrollo tecnoeconómico, y su adaptación a la caza de renos, cabras, cérvidos y otros ungulados de montaña (Banh, 1983; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Langlais et al., 2012; Pétilion et al., 2015). Si tenemos en cuenta un análisis diacrónico en toda la región Pirenaica, estas sociedades cazadoras-recolectoras-pescadoras del Tardiglacial (19 – 11,7 ka cal BP), definirían su estrategia de ocupación en una baja densidad de población y una elevada movilidad regional, que incluiría en los circuitos de movilidad zonas de costa y de montaña, y que podrían incluir también lo que entonces era bioclimáticamente la alta montaña (Banh, 1983; Pétilion et al., 2015; Sánchez de la Torre y Mangado, 2016; Mas et al., 2018).

No obstante, la ausencia de yacimientos y evidencias arqueológicas del Tardiglacial, por encima de Montlleó, no es en absoluto contradictoria con esta hipótesis, aún si tenemos en cuenta los diversos programas de prospección arqueológica desarrollados a ambos lados de la cordillera en los últimos años (Orengo, 2010; Gassiot et al. 2016; Dumontier et al., 2016). La explicación a la falta o extrema escasez de yacimientos Paleolíticos en el Pirineo axial estaría en la propia dinámica geológica derivada del deshielo, que modifica radicalmente las cuencas hídricas pirenaicas (Cordier et al., 2017; Fernandes et al., 2017) y la geomorfología de las zonas de alta montaña (Bordonau, 2006; Martínez-Rius et al., 2011; Turú et al., 2016), de modo que la conservación de cualquier vestigio humano del periodo glacial en el interior de la cordillera es altamente improbable.

De hecho, tras la retirada de los glaciares de valle a mediados del Tardiglacial (c. 16 ka cal BP) (Turú et al., 2016) ya se documenta la frecuentación del interior de la cordillera (Guilaine et al., 1985; Mangado et al., 2011); antes incluso de la retirada de los glaciares de circo (Delmas et al., 2015; Turú et al., 2016; Fernandes et al., 2017). De modo que en ningún caso parecen incompatibles las condiciones esteparias, con climas fríos y extensos glaciares, para la frecuentación estacional de las zonas de alta montaña por parte de los grupos cazadores-recolectores-pescadores del Tardiglacial (Martínez-Moreno et al., 2009; Martzluff et al., 2010; Pétilion et al., 2015; Mas et al., 2018). Incluso podemos ver una clara similitud en las dinámicas de aprovechamiento estacional de los ambientes del interior en

toda la cordillera, enfocados en actividades de caza estival especializada en algunos ungulados, como el caballo o la cabra montés, que sería complementada por la pesca del salmón y la recogida de frutos silvestres (Cueto et al., 2006; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Mangado et al., 2011; Allué et al., 2012).

La ocupación de la región durante el Holoceno antiguo (11,7 – 8,2 ka cal BP), al igual que durante el Tardiglacial (19 – 11,7 ka cal BP), también ha sido documentada a ambos lados de la cordillera y en ambos extremos, mediterráneo y atlántico (Utrilla, 2002; Alday, 2006; González-Sampériz et al., 2009; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Martzluff et al., 2010; García-Martínez de Lagrán et al., 2016). Sin embargo, tras el final del Pleistoceno, tiene lugar una modificación sustancial en la entidad de los grupos cazadores-recolectores que habitan la región Pirenaica. Durante el periodo transicional Pleistoceno-Holoceno (12 – 10 ka cal BP) (Straus, 1995; Rodríguez-Antón, 2008), se produce una progresiva ruptura en los sistemas socioeconómicos, culturales y tecnológicos de las sociedades cazadoras-recolectoras-pescadoras altamente especializadas del Tardiglacial, que son sustituidas por sociedades con economías igualmente cazadoras-recolectoras-pescadoras, pero ya no basadas tanto en una especialización económica hacia la caza de ungulados (Banh, 1983; Cueto et al., 2006; Pétilion et al., 2015), sino más en una producción de amplio espectro, donde los recursos vegetales, la pesca y el marisqueo van ganando peso, dentro de un esquema productivo basado en sistemas de complementariedad económica (Strauss, 1995; Estévez y Gassiot, 2002; Alday y Soto, 2017). Observamos una transformación tanto en los patrones de asentamiento del magdaleniense final - aziliense (Banh, 1983; Langlais et al., 2012; Pétilion et al., 2015; Mas et al., 2018), como en el sistema tecnoeconómico (Guilaine et al., 1985; Philibert, 2002; Alday, 2006; Martínez-Moreno et al., 2006; Rodríguez-Antón, 2008; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Martzluff et al., 2010), así como en el ámbito geográfico de movilidad de los grupos mesolíticos, que van reducido su espacio de interrelación, respecto a las comunidades del Tardiglacial (Philibert, 2002; Cava, 2004; Gallego-Lletjós, 2013; Alday y Soto, 2017). No obstante, durante los cuatro milenios de duración del periodo Mesolítico (11,7 – 7,7 ka cal BP) se continúa documentando una cierta identidad los sistemas tecnoeconómicos de las diversas poblaciones del ámbito regional pirenaico, aunque es posible hablar de una mayor diferenciación entre los grupos atlántico y mediterráneo, respectivamente (Rodríguez-Antón, 2008; Alday, 2009; Gallego-Lletjós, 2013).

A este punto conviene señalar que, en términos ecológicos, desde inicios del Holoceno, aproximadamente hace 11 ka cal BP, ya se puede establecer la zonación geobotánica actual (Ninot et al., 2007). Los bosques subalpinos colonizan rápidamente fondos de valle y laderas

hasta los 2200 – 2400 m snm (Pèlachs et al., 2012; Catalan et al., 2013), dominando inicialmente los bosques mixtos de coníferas casi todo el Pirineo y desapareciendo definitivamente las grandes praderas del Tardiglacial (González-Sampérez et al., 2017). Este hecho es un condicionante ambiental importante a la hora de reducir o limitar las estrategias de movilidad de las comunidades cazadoras-recolectoras holocénicas con respecto a las del Tardiglacial.

A diferencia del Tardiglacial, donde aparecen más representados los yacimientos de la llanura aluvial francesa y del Pirineo oriental, durante el Holoceno inicial (11,7 – 8,2 ka cal BP) la presencia de poblaciones cazadoras-recolectoras en el entorno de las sierras del Prepirineo meridional resulta bien documentada arqueológicamente, a partir del estudio de una veintena de sitios, mayormente localizados en el ámbito de las sierras surpirenaicas, pie de monte francés y, especialmente, en la región más occidental (Philibert, 2002; Utrilla, 2002; Alday, 2006; González-Sampérez et al., 2009; García-Martínez de Lagrán et al., 2016) (Figura 3.1). Prácticamente todos ellos se localizan entre los 300 y los 900 m de altitud, en el piso bioclimático basal o submontano (*sensu* Ninot et al., 2007), cerca de los valles y fuera del Pirineo axial.

Destacan en el Pirineo occidental, en Nafarroa, el abrigo de Aizpea, localizado en valle de Irati a unos 700 m snm (Cava y Barandiarán, 2002) y la cercana cueva de Zatoya, localizada también en un fondo del valle a 900 m snm (Alday, 2007). Así como el abrigo de Artursia, en Unzué, también en Navarra, localizado ya en la sierra exterior de Alaitz, también a unos 700 m snm (García-Martínez de Lagrán et al., 2016).

En el Prepirineo central destacan, en Huesca, los dos abrigos excavados en la Peña de las Forcas (Forcas I y Forcas II), situados en la confluencia de los ríos Ésera e Isábena, cercanos también al fondo de valle (Utrilla y Mazo, 2014), localizados a unos 500m snm. También en las sierras del Prepirineo de la Noguera Ribagorçana, en Pallars Jussà, se localiza la Bauma de la Massana, situada en un valle lateral de la Sierra de Montsec d'Alsamora, a 675 m snm (Bargalló et al., 2013). Así mismo, en el valle de la Noguera Pallaresa, al pie de monte de las últimas estribaciones surpirenaicas, se localiza a 385 m snm, la Cova Gran de Santa Linyà, de la que ya hemos comentado su larga secuencia de ocupación, que abarca de manera discontinua la mayor parte del Pleistoceno superior final, entre 50 y 17 ka cal BP; pero que, posteriormente, tras un largo *hiatus*, es reocupada en el Holoceno medio y final, durante todo el Neolítico (7,1 – 4,5 ka cal BP) y la Edad del Bronce (4 – 3,2 ka cal BP) (Mora et al., 2011).

Todos estos yacimientos de montaña tienen en común una localización exterior a los sistemas axiales centrales de los Pirineos, se localizan en torno a los fondos de valle y se sitúan en el piso bioclimático basal o submontano (*sensu* Ninot et al., 2007). En la vertiente norte de la cordillera, donde la orografía viene marcada por la gran llanura aluvial del pie de monte francés, la situación es equivalente, ya que se desconocen yacimientos mesolíticos en las sierras pirenaicas interiores (Philibert, 2002; Rouquerol, 2004) (Figura 3.1).

Los yacimientos que se sitúan en los Pirineos, por encima de los 900 m de altitud, ya en el piso altimontano, son realmente escasos (Gassiot et al., 2017). Cabe destacar la Balma Guilanyà, localizada en el Prepirineo oriental, al este del río Cardener, a 1157 m snm; al sur de la Sierra del Cadí. Se trata de un pequeño abrigo situado bajo un bloque de conglomerado que presenta una larga serie de ocupaciones humanas, repartidas entre el Tardiglacial final (14,8 – 12,7 ka cal BP) y el Holoceno inicial (11,4 – 8,2 ka cal BP), separadas por un *hiatus* situado en la transición Pleistoceno-Holoceno (Straus, 1995), durante el último evento frío *Dryas* (12,7 – 11,7 ka cal BP) (Martínez-Moreno y Mora, 2009; Allué et al., 2012). El aparejo tecnológico de ambas ocupaciones es perfectamente diferenciable, ya que responde a la dinámica general antes planteada (Straus, 1995; Cava, 2004; Martzluff et al., 2010), donde las sociedades del Tardiglacial final se caracterizan por una producción microlaminar y una economía más especializada en la caza estival de ungulados, principalmente *Capra pyrenaica* (Martínez-Moreno y Mora, 2009), frente las comunidades cazadoras-recolectoras holocénicas, caracterizadas por economías de amplio espectro y producciones técnicas más expeditivas (Martzluff et al., 2010, Alday, 2006; Martínez-Moreno et al., 2006). A nivel de paleopaisaje las primeras ocupaciones del Tardiglacial (14,8 – 12,7 ka cal BP) se asocian a contextos bioclimáticos subalpinos, dominados por bosques abiertos de pino de montaña, frente a un bosque mixto de pinos y caducifolias, de tipo altimontano, en las ocupaciones del Holoceno inicial (11,4 -8,2 ka cal BP) (Allué et al., 2012).

El único enclave localizado realmente en el interior de las sierras del Pirineo axial, con ocupaciones mesolíticas y neolíticas reiteradas y de cierta entidad arqueológica es el abrigo de la Balma Margineda, que se localiza en el Valle de la Valira a 970 m snm (Guilaine et al., 1985; Martzluff et al., 2010). El valle, habría quedado liberado de hielo, tras la definitiva retirada del glaciar de Andorra durante el Tardiglacial inicial (19 – 15 ka cal BP) (Turú, 2011; Turú et al., 2016).

En líneas generales, la secuencia de ocupación de la Balma Margineda no rompe la dinámica general de ocupación de la Región Pirenaica durante la prehistoria, basada en el aprovechamiento reiterado de abrigos y cuevas naturales cercanas a cursos de agua en el

ámbito de los fondos de valle; generalmente, por debajo de los 1000 metros de altitud. La Margineda es un gran abrigo rocoso que presenta al menos 3 fases de ocupación asociadas con comunidades cazadoras-recolectoras y 2 neolíticas (Martzluff et al., 2010; Oms et al., 2016). Las frecuentaciones humanas presentan una secuencia equivalente a la de la Balma Guilanyà, caracterizadas por la producción de utillaje microlaminar, de tipo *Aziliense*, durante el final del Tardiglacial (14 - 12,8 ka cal BP). A continuación, se documenta un único nivel con presencia de geométricos, de tipo *sauveterroide*, fechado durante el último episodio frío *Dryas* (12,8 - 11,7 ka cal BP). Posteriormente, hay un abandono del sitio, hasta la ocupación mesolítica más reciente, de tipo *macrolítico*, ya en el Holoceno inicial (10,6 - 8,5 ka cal BP) (Martzluff et al., 2010). Tras la última ocupación mesolítica, se documenta un segundo *hiatus* y seguidamente una nueva ocupación, asociada ya a la producción de cerámica impresa y consumo de cabra doméstica, claramente neolítica (7,5 - 6,2 cal BP), que discutiremos más adelante (Oms et al., 2016).

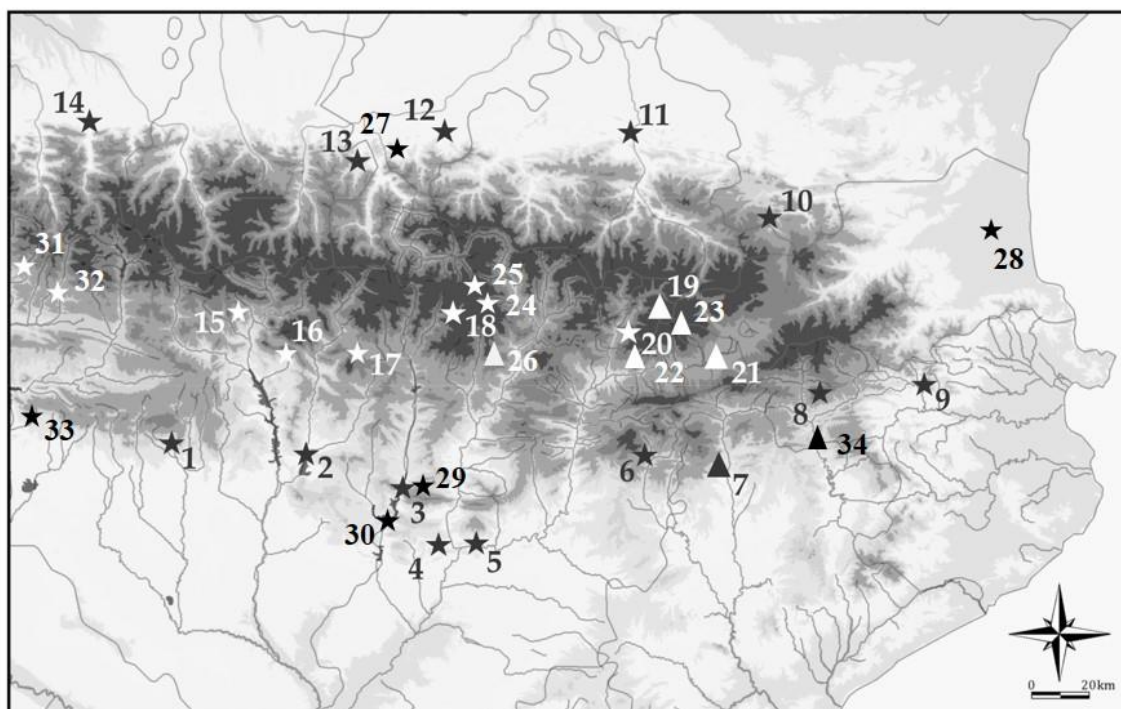
Como podemos observar, la secuencia de ocupación del valle de la Valira, documentada en la Balma Margineda, durante el Tardiglacial final y Holoceno inicial y medio, es perfectamente análoga a la de las sierras surpirenaicas exteriores (Martínez-Moreno y Mora, 2009; Martzluff et al., 2010; Mas et al., 2018) y equivalente a otros valles inferiores, como la documentada en los abrigos de la Peña de Forcas (Utrilla y Mazo 2014) o en varios yacimientos del Pirineo más occidental y Alto Ebro, como Atxoste o Mendandia (Cava 2004). Debemos remarcar que dado el sistema socioeconómico de las sociedades cazadoras-recolectoras-pescadoras, la frecuentación de los sitios generalmente es estacional y logística, localizándose también, en ocasiones, campamentos al aire libre con ocupaciones recurrentes, como las que se documentan en algunas zonas de valle del Prepireneo oriental, en los yacimientos de Sota Palou o Font del Ros, situados entre 700 y 800 m snm (Martínez-Moreno y Mora, 2011; Roda et al., 2016).

Durante el Holoceno inicial la dinámica observada en las poblaciones del Tardiglacial parece continuar, siempre con densidades de ocupación del territorio realmente bajas (Figura 3.2). La escasez de sitios documentados en toda la Cordillera Pirenaica para un periodo de 4000 años (11,7- 7,7 ka cal BP) es manifiesta (Martínez-Moreno et al., 2006; Morales y Oms, 2012), aunque superior al periodo anterior (19 - 11,7 ka cal PB).

De hecho, podemos distinguir dos periodos de ocupación con tendencias tecnológicas diferenciadas (Rodríguez-Antón, 2008). El más antiguo es un Mesolítico de tipo macrolítico, también denominado "*de muescas y denticulados*" (*sensu* Alday, 2006), que se ubica siempre en el Holoceno inicial (11,7 - 8,2 ka cal BP) (*sensu* Walker et al. 2012). Siendo posterior a

las ocupaciones con industrias de tipo microlaminar, generalmente descritas como “*azilienses* o *sauveterrienses*”, situadas en el Tardigalcial final (14 – 11,7 ka cal BP) (según Martluff et al., 2010). Este periodo tecnoeconómico “*macrolítico*”, en los escasos sitios donde encontramos continuidad en la ocupación, como en la Peña de las Forcas I (Utrilla 2002, Utrilla y Mazo 2014) o en Artusia (García-Martínez de Lagrán et al., 2014), puede ir seguido de un Mesolítico de tipo “*geométrico*” (*sensu* Utrilla y Montes, 2009), aparentemente posterior a una posible fase de *hiatus* asociado a un aparente despoblamiento (8,2 – 7,7 ka cal BP). Esta fase precede a una posterior reorganización del patrón de asentamiento y del sistema socioeconómico asociada ya a la irrupción del Neolítico (González-Sampériz et al., 2009; Oms et al., 2012 y 2018; García-Martínez de Lagrán et al., 2018). Esta fase de desocupación, aparentemente situada entre 8,2 y 7,7 ka cal BP (según Oms et al., 2018), se documenta tanto en el nordeste peninsular como en el valle del Ebro, siendo inmediatamente anterior, o incluso sincrónica a la irrupción de las primeras prácticas agrícolas y ganaderas en el litoral mediterráneo occidental, asociada habitualmente a ocupaciones con cerámicas impresas y cardiales (7,7 – 7,4 ka cal BP) (Badal y Bernabeu, 2002; Morales et al., 2010; Oms et al., 2018; Rojo-Guerra et al., 2018; Battentier et al., 2018; Guilaine, 2018).





**Figura 3.1. Principales yacimientos arqueológicos de la región Pirenaica, citados en el texto.** En blanco se muestran los sitios ubicados en el Pirineo axial y en negro en las sierras surpirenaicas y pie de monte francés. Las estrellas representan yacimientos en cuevas o abrigos y los triángulos asentamientos al aire libre: 1) Cueva Chaves, 2) Peña de las Forcas , 3) Cova Colomera, 4) Cova Gran de Santa Linyà, 5) Cova del Parco, 6) Balma Guilanyà, 7) Font del Ros, 8) Sota Palou, 9) Bauna del Serrat del Pont, 10) Roc de Dourgne, 11) Abri de Buholoup, 12) Grotte de la Tourasse, 13) Abri du Moulin, 14) Grotte du Poeymaü, 15) Coro Trasito, 16) Espluga de la Puyascada, 17) Cova de Els Trocs, 18) Cova del Sardo, 19) Perafita, 20) Balma Margineda, 21) Montlleó, , 22) Juberrí, 23) Tomba de Segudet de Ordino, 24) Abric de l'Estany de la Coveta, 25) Abric de Obagues de Ratera, 26) Dolmen de la Font dels Coms, 27) Spugo de Ganties, 28) Cauna de l'Aragó, 29) Balma Masana, 30) Cueva del Moro de Olvena 31) Aizpea, 32) Zatoya, 33) Artusia, 34) La Draga.

### 3.1.2 LA OCUPACIÓN DE LOS PIRINEOS POR SOCIEDADES AGROGANADERAS (7,5 – 2,8 CAL BP)

---

Justamente, el primer cambio sustantivo en la relación entre las sociedades humanas y el medio ambiente de las regiones mediterráneas se produce con la irrupción de las sociedades con economías basadas en la producción de alimentos mediante la explotación de recursos animales y vegetales domesticados (Bernabeu et al., 1993; Badal et al., 2002). Este sistema económico, que se origina y desarrolla en el Próximo Oriente y Mediterráneo oriental durante el Holoceno antiguo (11,7 – 8,2 ka cal BP), se expandirá por el Mediterráneo occidental a inicios del Holoceno medio (Badal et al., 2002; Berger y Guilaine, 2008), alcanzando el sur de Francia (Battentier et al., 2018) y la Península Ibérica en torno a 7,8 – 7,5 ka cal BP (Rojo-Guerra et al., 2018; Oms et al., 2018).

El neolítico más antiguo en occidente se asocia con la producción de cerámicas, primero *impresas*, localizadas sobre todo en Francia e Italia (Battentier et al., 2018), y posteriormente por las de decoración *cardial*, que ocuparían, las regiones del Rif, sur y este de la Ibérica, Catalunya, Golfo de León, Liguria y Cerdeña, entre 7,6 y 7,3 ka cal BP (Olade et al., 2015; Guilaine, 2018).

Tradicionalmente, se habían postulado modelos de transición de las prácticas socio-económicas en la región Pirenaica, fundamentados en la idea de una transformación progresiva de las sociedades cazadoras-recolectoras-pescadoras mesolíticas mediante la aculturación o adopción paulatina de prácticas agrícolas y ganaderas de tipo neolítico (Gardes, 1996; Pallarés et al., 1997; Olaria, 2005). Los datos más recientes, apoyan, por el contrario, la idea de una irrupción rápida de comunidades plenamente neolíticas en toda la región Pirenaica, que podría haber estado escasamente poblada a inicios del periodo, en torno al *hiatus* del 8,2 – 7,7 ka cal BP (González-Sampériz et al., 2009; Oms et al., 2018).

Es difícil determinar si el cambio tecnológico del Mesolítico final se debe a factores climáticos (Berger y Guilaine, 2009; González-Sampériz et al., 2009; Berger et al., 2016, García-Martínez de Lagrán et al., 2018) o más bien a una reorganización socioeconómica de las últimas comunidades cazadoras-recolectoras ibéricas, motivada por la progresiva irrupción de poblaciones neolíticas con densidades demográficas relativamente mucho más elevadas a lo largo del litoral Mediterráneo occidental (Bernabeu et al., 1993; Zapata et al.,

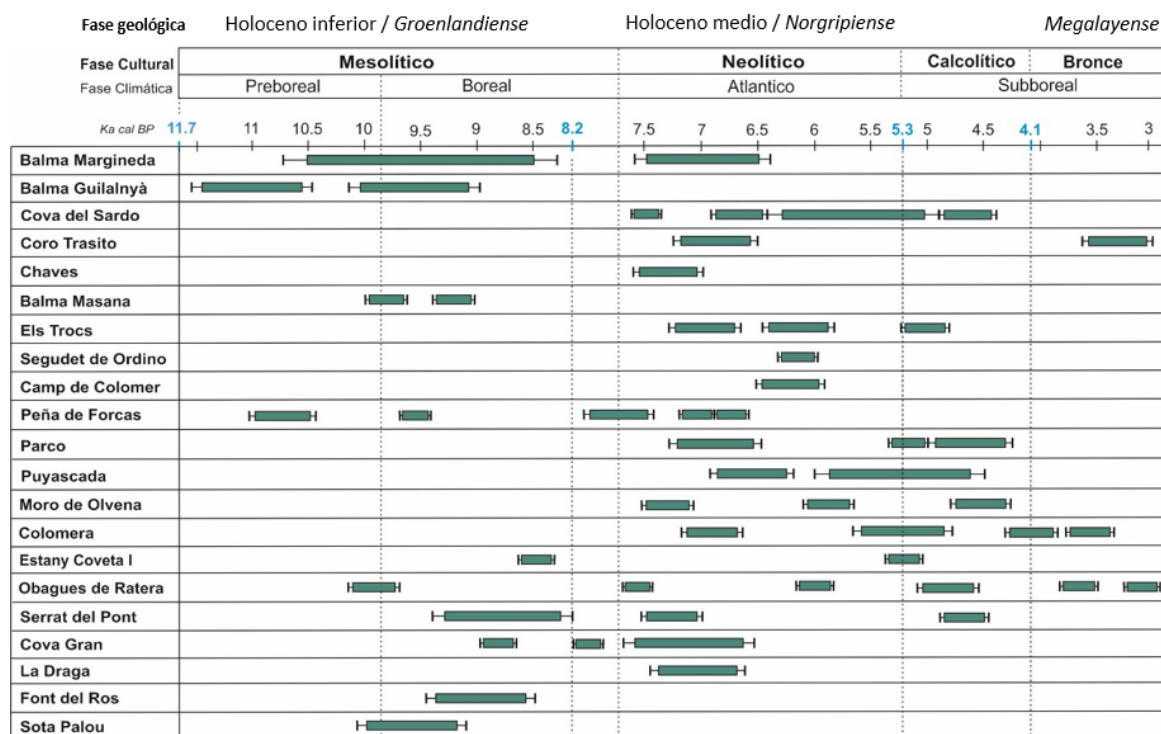
2004; Bocquet-Appel, 2005; Bocquet-Appel et al., 2011; Olalde et al., 2015; Battentier et al., 2018; Guilaine, 2018). De hecho, la calibración fina de los fechados de yacimientos de este periodo transicional apunta a que los últimos grupos Mesolíticos serán sustituidas, de manera relativamente rápida, por comunidades agroganaderas neolíticas entre 7,7 y 7,2 ka cal BP en toda la Península (Utrilla, 2002; Alday, 2009; Morales et al., 2010; Oms et al., 2018, Rojo-Guerra et al., 2018), habiéndose desestimado, por falta de pruebas científicas, las teorías que proponían una aculturación lenta o progresiva de las comunidades locales de la región Pirenaica (Gardes, 1996; Pallarés et al., 1997), o incluso a un proceso de neolitización autóctono, focalizado en el Mediterráneo occidental (Olaría, 2005).

Si las últimas comunidades cazadoras-recolectoras-pescadoras de Europa occidental adoptaron la agricultura o bien fueron asimiladas o sustituidas por poblaciones ya neolitizadas es un debate aún abierto, y podría haberse desarrollado de forma diferente en distintas regiones. Por ejemplo, en la costa atlántica portuguesa y cantábrica parece que hay una cierta resiliencia de las últimas poblaciones mesolíticas, mientras en la región mediterránea se propone una sustitución relativamente rápida (Alday, 2009; Olalde et al., 2015; Rojo-Guerra et al., 2018).

En cualquier caso, estas comunidades neolíticas alcanzan la región sur Pirenaica entre 7,6 – 7,3 ka cal BP (Clemente et al., 2014; Oms et al., 2018; Rojo-Guerra et al., 2018; Revelles et al., 2018), mediante la expansión de poblaciones procedentes o bien del levante peninsular (Morales y Oms, 2010; Rojo-Guerra et al., 2018), o bien del Golfo de León (Battentier et al., 2018). Estas poblaciones se expandieron rápidamente, entre 7,6 y 7,3 ka cal BP, en aquellas zonas escasamente pobladas como el valle del Ebro y el Pirineo central y oriental (Utrilla, 2002; González-Sampériz et al., 2009; Morales y Oms, 2010; Oms et al., 2018). Hasido documentado un importante incremento en el número de yacimientos ocupados asociados al neolítico antiguo (7,6 -7,3 ka cal BP), en toda la región sur Pirenaica y valle del Ebro, en relación a los que continúan siendo ocupados por comunidades denominadas mesolíticas (Utrilla, 2002; González-Sampériz et al., 2009; Morales y Oms, 2010; Oms et al., 2018; Rojo-Guerra et al., 2018).

Si tenemos en cuenta únicamente los principales yacimientos del Pirineo axial y sierras surpirenaicas, únicamente se conoce un yacimiento: La Peña de las Forcas II (Utrilla y Mazo, 2014) con ocupaciones consecutivas del Mesolítico final, de tipo geométrico (*sensu* Utrilla y Montes, 2009) y del Neolítico antiguo, de tipo cardial (Utrilla, 2002; González-Sampériz et al., 2009; Rojo-Guerra et al., 2018). Mientras que, el número de nuevas ocupaciones

neolíticas antiguas de entre 7,5 a 6,5 ka cal BP se eleva, como mínimo, a 15 (Oms et al., 2012 y 2018; Mazzucco et al., 2016) (Figura 3.2).



**Figura 3.2. Secuencia cronológica de la ocupación de los principales yacimientos arqueológicos pirenaicos.** Se distinguen los sitios fechados en el Holoceno inicial (11,7 – 8,2 ka cal BP), medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) y final *Subboreal* (4,2 – 2,8 ka cal BP), localizados en el Pirineo axial y Prepireneos centrales y orientales, citados en el texto (*según* Utrilla, 2002; González-Sampérez et al., 2009; Morales y Oms 2010; Gassiot et al., 2017; Remolins y Gibaja-Bao, 2018; Oms et al., 2018; Rojo-Guerra et al., 2018).

La revolución demográfica del Neolítico es tan evidente como lo es el cambio en las dinámicas de ocupación y gestión del territorio social (Bocquet-Appel et al., 2011; Olande et al., 2015; Berger et al., 2019), no sólo por su transformación activa de cara a la producción agrícola y ganadera (Galop et al., 2003; Zapata et al., 2004; Antolín, 2015; Revelles et al., 2018), sino también por la implantación de un nuevo modelo de ocupación del territorio basado en asentamientos tanto estables, como estacionales (Antolín et al., 2018; Mazzucco et al., 2016; Battachier et al., 2018). El establecimiento de poblados permanentes, como La Draga, localizado en Banyoles, en una llanura aluvial que da acceso a las sierras del Prepireneo oriental (Antolín et al., 2014; Revelles 2017), se produce de manera sincrónica a

la ocupación de cuevas con funciones de redil o de hábitat temporal en zonas montañosas como Coro Trasito, localizada el piso altimontano del Pirineo central, en el valle del río Yaga, entre el 7,3 y el 7 ka cal BP, (Clemente et al., 2014; Díaz-Bonilla et al., 2016; Gassiot et al., 2018). Esta ocupación simultánea de yacimientos tanto en zonas de montaña como de llanura en los Pirineos, implicaría una colonización efectiva de todo el territorio de la cordillera de forma prácticamente sincrónica (Mazzucchi et al., 2016; Oms et al., 2018; Antolín et al., 2018)

Se ha planteado, precisamente, un modelo de expansión hacia el Valle del Ebro y región sur Pirenaica, fundamentada en una teoría de bajísima densidad de ocupación, o incluso vacío poblacional previo, en toda la región sur Pirenaica (Morales y Oms, 2012; Antolín, 2015; Oms et al. 2018). La misma teoría sirve además para explicar cierta pervivencia de los últimos grupos Mesolíticos en la región Cantábrica, hasta el 7,7 – 7,5 ka cal BP (Alday, 2007; García-Martínez de Lagrán et al., 2018), en base a una concentración poblacional en torno a la explotación complementaria de recursos, tanto litorales como de montaña, en la región Atlántica de la Península Ibérica (Gassiot, 2001; Estévez y Gassiot, 2002; Alday, 2007; Gallego-Lletjós, 2013; Alday y Soto, 2017). En todo caso, el periodo de convivencia o transición entre el Mesolítico *geométrico* (Utrilla y Montes 2009) y el Neolítico antiguo *cardial* (Morales et al., 2010) no sería muy prolongado, y se limitaría, principalmente, a la región atlántica del Pirineo, donde hay algunas evidencias de sustitución o asimilación de poblaciones entre 7,6 y 7,4 ka cal BP (Utrilla, 2002; Gallego-Lletjós, 2013; Rojo-Guerra et al., 2018), en sitios como Mendandía, en el Alto Ebro (Alday, 2007). Por el contrario, en el Pirineo mediterráneo, prácticamente todos los asentamientos Neolíticos son de nueva creación (Oms et al., 2012 y 2018; Antolín et al., 2018; Revelles et al., 2018), con la única excepción de la Peña de Forcas II, localizada en el Prepirineo central (Utrilla y Mazo, 2014).

La ocupación de las zonas de montaña del Pirineo axial se produciría, por tanto, en el mismo periodo en que son sustituidas las últimas poblaciones mesolíticas del Pirineo occidental, en torno a 7,6 – 7,4 ka cal BP (Barandiarán y Cava, 2002; Alday, 2006; García-Martínez de Lagrán et al. 2014; Rojo-Guerra et al., 2018). Sorprendentemente, algunos yacimientos del interior de las sierras axiales, como la Balma Margineda, situada 970 m snm, en el valle de la Valira, presentan ocupaciones cardiales muy antiguas, aceptadas en 5472 – 4612 cal ANE (7,4 y 6,6 ka cal BP) (Barceló, 2008; Oms et al., 2012 y 2016). Esta ocupación es prácticamente simultánea al primer Neolítico *cardial* del Prepirineo, documentado en Cueva Chaves, yacimiento que se localiza en la Sierra de Guara, en Huesca, a 663 m snm, y que presenta la secuencia de ocupación de comunidades agroganaderas más antigua de la región, entre 5570 y 4846 cal ANE (7,5 y 6,8 ka cal BP) (Utrilla y Laborda, 2015; Mazzucchi

et al., 2015). La presencia de cerámica en niveles del Mesolítico final en el abrigo de Peña de Forcas II, en cronologías fechadas entre 5900 y 5670 cal ANE (Utrilla y Mazo, 2014), también es un tema discutido, aunque la ocupación neolítica *cardial*, del abrigo es coincidente con el resto de fechados considerados *antiguos* en la región Pirenaica, anteriores a 7,5 ka cal BP (Oms et al., 2012; Gassiot et al., 2017,).

La ocupación de otros abrigos cercanos, del Prepireneo central, como la Cueva del Moro de Olvena o el abrigo de Espluga de la Puyascada, durante los periodos *cardial* y *epicardial*, respectivamente (Utrilla, 2002), en cronologías del 7,3 - 6,8 ka cal BP, confirman la presencia de una población neolítica estable o creciente en toda la región entre 7,3 y 6,6 ka cal BP, intervalo en el que se sitúan la mayoría de las secuencias de ocupación de yacimientos del periodo (Rojo-Guerra et al., 2018). La existencia de niveles de *fumier*, producto de la estabulación de ganado doméstico, en numerosos abrigos, como Cova Gran de Santa Linya (Mora et al., 2011), es coincidente con otros sitios cercanos de la Noguera, como El Parco (Petit et al., 1996) o la Cova Colomera (Oms et al., 2008 y 2013). Todos ellos presentan fechados entre 7,3 y 6,6 ka cal BP.

La ocupación sistemática de las sierras del Pirineo axial, que dan acceso a la alta montaña, podría haberse producido de forma bastante paralela a la extensión de las poblaciones del Prepireneo, como se documenta en los niveles inferiores de Coro Trasito. Este yacimiento, situado en un gran abrigo de unos 300 m<sup>2</sup>, se localiza en pleno Pirineo axial central, en el valle de Tella, a 1548 m snm (Clemente et al., 2014; Díaz-Bonilla 2016; Gassiot et al., 2018). Habría que destacar que Coro Trasito se localiza en un enclave realmente abrupto, en el piso altimontano, pero que da acceso a una extensa zona alpina, de relieves más suaves. Se documenta una intensa ocupación neolítica fechada entre 5323 y 4590 cal ANE (7,3- 6,6 ka cal BP), asociada a la producción diversificada de cereales domésticos (*Triticum aestivum* y *Hordeum vulgare*), que aparecen almacenados en silos en el yacimiento; así como a una ganadería mixta, de ovicápridos, bóvidos y suidos, que serían también estabulados en el sitio (Clemente et al., 2014; Díaz-Bonilla et al., 2016; Gassiot et al., 2018; Antolin et al., 2018).

La cueva de Els Trocs, en Bisaurri, localizada también en el Pirineo axial oscense, a 1564 m snm, presenta una ocupación neolítica *epicardial*, con cronología similar: 5315 - 4836 cal ANE (7,3- 6,8 ka cal BP), pero sin espacios de redil (Rojo-Guerra et al., 2013 y 2015; Gassiot et al., 2017). En este caso parece que la cueva podría haber tenido funciones diversas, como almacenamiento, enterramiento o hábitat.

Por tanto, podemos afirmar, gracias a la revisión de las fechas de C<sup>14</sup> en muestras de vida corta (Barceló, 2008; Oms et al., 2016; Gassiot et al., 2017), que efectivamente la ocupación

sistemática de la mayoría de los abrigos con niveles del Neolítico antiguo de la región Pirenaica mediterránea se produce de manera sincrónica, entre 7,3– 6,6 ka cal BP, y además es simultánea entre las sierras surpirenaicas más orientales o mediterráneas y las del Pirineo central. De hecho, algunos de los fechados más antiguos de toda la secuencia regional se localizan en el Pirineo axial oriental, como en la Balma Margineda (5472 – 4612 cal ANE) (Oms et al., 2016) o en los Prepireneos centrales, como Cueva Chavez (5570 y 4846 cal ANE) (Mazzucco et al., 2015). Ambos son ocupados desde mediados del VI milenio cal ANE, en cronologías cercanas al origen del Neolítico de tipo cardial (Oms et al., 2012), o incluso del Neolítico con cerámica impresa de los Alpes marítimos (Battentier et al., 2018). Se trata de ocupaciones cronológica y culturalmente equivalentes a las del Pirineo más oriental, como la documentada en la Balma del Serrat del Pont, en la Garrotxa, con un nivel Neolítico cardial fechado entre 5470 y 5250 cal ANE (Alcalde et al., 2005).

De manera que los datos actuales no apuntan a una ocupación lenta y progresiva de las áreas de montaña, sino a una expansión de las primeras comunidades agroganaderas de la región Pirenaica al menos igual de rápida que la del resto del interior peninsular, sin mayores problemas para la adaptación de las comunidades neolíticas al medio de montaña, en una cronología que podríamos diferenciar en dos momentos principales: una primera fase de transición u ocupación entre 7,6 y 7,3 ka cal BP del y una segunda fase de estabilización de la población y asentamiento sistemático en el territorio, entre 7,3 y 6,5 ka cal BP (Oms et al., 2018) (Figura 3.2).

Paradójicamente, los 4 sitios del Neolítico antiguo discutidos, que se localizan en el Pirineo central entre 900 y 1600 m snm (Coro Trasito, Espluga de la Puyascada, Els Trocs y Balma Margineda), podrían presentar usos distintos entre sí. Coro Trasito parece que funcionó desde sus primeras ocupaciones neolíticas como una cueva redil, con estancias de larga duración que dejaron potentes paquetes de *fumier* (Clemente et al., 2014; Díaz et al., 2016; Gassiot et al., 2018). Els Trocs parece que se emplearía más como un lugar de hábitat y de almacenaje de productos (Rojo-Guerra et al., 2013 y 2015), igual que la Balma Margineda (Oms et al., 2016) o la Espluga de la Puyascada (Mazzucco et al., 2013). En todos ellos la producción doméstica agrícola y ganadera sería, en el aspecto tecnológico y económico, muy similar a la de los asentamientos del llano o del pie de monte (Molist et al., 1996, Alcalde et al., 2005; Antolín et al., 2014, Piqué et al., 2018), y en ningún caso únicamente especializada en una sola actividad productiva, como la ganadería (Rojo-Guerra et al., 2013) o la caza (Alday 2006).

Podríamos plantear, con los datos actualmente disponibles, que las comunidades agroganaderas del Neolítico antiguo (7,5 – 6,5 ka cal BP) que pueblan la Región pirenaica, desarrollan sistemas productivos de explotación de los recursos relativamente uniformes en todo el territorio, tanto en zonas de montaña como regiones aluviales o litorales, sin que se pueda afirmar que se desarrolle, por el momento, una especial adaptación económica a los medios de montaña (Antolín et al., 2018).

Desde la primera ocupación agroganadera de los Pirineos que hemos situado aproximadamente en la segunda mitad del VI milenio cal ANE (7,5 – 7 ka cal BP), se documenta arqueológicamente un largo periodo, que durará, aproximadamente, hasta el final del Holoceno medio, hace 4,2 ka cal BP. A lo largo de estos más de 3000 años, entre 7,5 y 4,2 ka cal BP, se desarrollaría, *grosso modo*, el Neolítico en la región pirenaica (Molist et al., 1996 y 2003; Antolín, 2015; Antolín y Jacomet, 2015; Dumontier et al., 2016; Gassiot et al., 2015 y 2018; Mazzucco, 2018; Remolins y Gibaja-Bao, 2018).

El Neolítico, aun tratándose de un modelo social y económico, no exento de cambios en las dinámicas sociales, éstos se harán más evidentes al final del periodo, durante el denominado Calcolítico, fase final del Neolítico, definida arqueológicamente por el inicio de la metalurgia del cobre (entre 5,3 y 4,2 cal BP). El III milenio cal ANE será una época de cambios tecnológicos, sociales y culturales en todo el Mediterráneo, de los que no quedará exenta la región Pirenaica (Molist et al., 2003; Rouquerol, 2004; Guilaine, 2005; Carozza et al., 2005; Richards et al., 2007; Galop et al., 2013; Gassiot et al., 2017). Evitando entrar en los debates histórico-culturales suscitados sobre la pertinencia de cada yacimiento o nivel a una u otra categoría, en este trabajo hemos optado por el uso preferente de Calcolítico para referirnos, en términos cronológicos (Barceló, 2008), a las poblaciones de la región Pirenaica desde la irrupción de la metalurgia del cobre (entre 5,3 y 4,2 ka cal BP) hasta la llegada de la Edad del Bronce (4,2 – 2,8 ka cal BP), evitando otras consideraciones, como la tipología de las cerámicas (Molist et al., 2003) o los sistemas de enterramiento (García-Casas et al., 2015).



## 3.2 EL POBLAMIENTO PREHISTÓRICO DE LOS PISOS ALPINO Y SUBALPINO

---

### *El caso del Pirineo axial central*

Describe la problemática arqueológica del poblamiento de la alta montaña durante la Prehistoria.

Hasta aquí, hemos expuesto una breve síntesis del estado de la investigación arqueológica sobre la historia del poblamiento prehistórico en la región Pirenaica, diferenciando dos sistemas socioeconómicos principales: las economías basadas en la caza, pesca y recolección, de las economías basadas en la agricultura y la ganadería.

Las primeras, poblaron la Cordillera Pirenaica especialmente desde la última terminación glaciaria durante no menos de 11 mil años (19 – 7,6 ka cal BP), hasta la irrupción de las economías agroganaderas. Las segundas, poblaron los Pirineos entre 7,6 y 4,2 ka cal BP, durante la mayor parte del Holoceno medio, durante algo más de 3 mil años. Después, llegarían sociedades más complejas, de Edad del Bronce y Hierro (4,2 -2,5 ka cal BP) (Richard et al., 2007; Dumontier et al., 2016; Garcia-Casas et al., 2015), que también desarrollarán prácticas socioeconómicas basadas en la agricultura y la ganadería en zonas de media y alta montaña, como en periodos históricos, durante los últimos 2500 años (Esteban-Amat, 2003; Lozny et al., 2013; Rendu et al., 2016; Gassiot y Pèlachs, 2017).

De hecho, durante los últimos 4 mil años, las sociedades han sido progresivamente más complejas a nivel socioeconómico, con el desarrollo de núcleos urbanos, redes de intercambio de productos y una creciente jerarquización social, aumentando también progresivamente la capacidad de impactar en los medios de media y alta montaña con nuevas actividades productivas, como la ganadería trashumante (Rendu, 2003; Fillat et al., 2008), la agricultura en terrazas (Bal et al., 2011), o la metalurgia (Augé et al., 2012). En realidad, ese impacto parece observarse a gran escala, y también en zonas de alta montaña, a lo largo de todo el Holoceno final (Pèlachs et al., 2007 y 2009; González-Sampériz et al., 2017 y 2019).

En este apartado vamos a poner el foco, dentro de las dinámicas de ocupación que afectaron a los Pirineos; concretamente en la historia de la presencia humana en las zonas más

elevadas de la cordillera: los pisos alpino y subalpino, que conforman los ambientes de alta montaña, y que se sitúan por encima de los 1700 m snm en el Pirineo axial. En consonancia con el resto del trabajo enfocaremos nuestro estudio en las sociedades prehistóricas, excluyendo las ocupaciones humanas de periodos históricos o de la prehistoria reciente, que hemos situado, *grosso modo*, en el Holoceno final (4,2 – 0,15 ka cal BP).

A continuación, trataremos de delimitar cómo y cuándo las sociedades prehistóricas poblaron las montañas, ocupando y modificando también la alta montaña, y en qué medida estos territorios situados en los pisos alpino y subalpino, por encima de los grandes valles pirenaicos, jugaron un rol en la configuración económica y social de las diferentes sociedades prehistóricas y en sus modelos de poblamiento y explotación de territorios más o menos extensos.

### **3.2.1 LA PRESENCIA MESOLÍTICA (10,7 – 7,5 KA CAL BP)**

---

En el Holoceno temprano (11,7 – 10,2 ka cal BP) los bosques boreales, formados por pinos de montaña y abedules, comienzan a colonizar las cabeceras de los valles y las laderas, hasta alcanzar los 2200/2400 metros de altitud, aproximadamente, al final del periodo (Catalan et al., 2013, Pèlach et al., 2012). Paradójicamente, hemos documentado las primeras ocupaciones humanas ya desde el Holoceno más temprano, asociadas con comunidades cazadoras-recolectoras-pescadoras de economía *mesolítica* (Gassiot, 2016; Rodríguez-Antón et al., 2016, Gassiot et al., 2017 y 2019).

Estas primeras evidencias de presencia humana en localizaciones de alta montaña en el Pirineo axial central son muy efímeras y podrían deberse a grupos altamente móviles que dejan algunos vestigios de su actividad extractiva, principalmente caza y recolección de frutos y leña, en asentamientos de escasa duración, localizados o bien a cielo abierto, o en pequeños abrigos rocosos situados en el piso alpino o subalpino, alrededor del límite superior del bosque (Gassiot et al., 2017 y 2019).

Las evidencias de presencia humana más antiguas halladas en cotas subalpinas del Pirineo axial son dos ocupaciones al aire libre, escasamente documentadas, bajo yacimientos arqueológicos más recientes, del Holoceno final: una bajo el Dolmen de la Font dels Coms,

en el valle de Baiasca, situado a 1840 m snm, y la otra bajo el Orris de Perafita II, en el valle de Madriu, en Andorra, a 2275 m snm. Ambos niveles arqueológicos presentan escaso material lítico tallado en sílex y cuarcita, coherente con un Mesolítico de tipo *muescas y denticulados* (*sensu* Alday, 2006), y unos fechados coincidentes, de inicios del Holoceno, situados ambos entre 8764 y 8532 cal ANE (10,7 – 10,5 ka cal BP) (Gassiot et al., 2017).

Aún a mayor altura, en la transición entre el piso bioclimático subalpino y el alpino, se localizan en la cabecera del valle de Espot, dos abrigos rocosos: Abric de l'Estany de la Coveta I y Abric de les Obagues de Ratera (Gassiot et al., 2017 y 2019), situados en contextos similares: bajo grandes bloques erráticos de antiguos circos glaciales, entre 2300 y 2500 m snm. Paradójicamente, estos canchales no se estabilizaron hasta el deshielo final de los glaciares rocosos más elevados, que tuvo lugar después del último evento frío *Dryas*, entre 11,7 y 10,2 ka cal BP, durante el Holoceno temprano, en el *Preboreal* (Martínez-Rius et al., 2011, Fernandes et al., 2017).

Las ocupaciones más antiguas en ambos abrigos alpinos son sendos niveles con hogares asociados y escasa industria lítica en sílex, que es una roca exógena al Pirineo axial, de modo que tuvo que ser transportada más de 50 km de distancia (Mazzucco, 2014 y 2018). Se asocian a una escasa industria sobre lascas. El nivel más antiguo se fecha en torno a 8004 – 7717 cal ANE (10 – 9,7 ka cal BP), en una fase cálida de inicios del Boreal, en el Abric de les Obagues de Ratera, que se localiza a 2312 m snm, cerca de la divisoria de aguas de la Cordillera (Gassiot et al., 2019). El segundo nivel documentado, se localiza en el Abric de l'Estany de la Coveta I, a 2433 m snm (Gassiot, 2016), en una cronología de finales del Holoceno antiguo, entre 6831 y 6589 cal ANE (8,8 y 8,5 ka cal BP) (Gassiot et al., 2017).

Las citadas ocupaciones, al aire libre o en abrigos, responderían a una dinámica de frecuentación discontinua de las zonas de alta montaña, aparentemente enfocadas, principalmente, a actividades cinegéticas estivales, durante el Holoceno antiguo, entre 10,7 y 8,5 ka cal BP. Si observamos, *grosso modo*, el intervalo cronológico (10,7 y 8,5 ka cal BP), veremos que éstas se corresponden con diversas ocupaciones, algo más intensivas, en yacimientos situados en contextos de fondos de valle, como la Balma Margineda, en el valle de la Valira, en Andorra, que se ocupa entre 8940 y 7060 cal ANE (10,9 y 9 ka cal BP) (Geddes et al., 1985; Martzluff et al., 2010; Gassiot et al., 2017).

En el mismo periodo son ocupados también numerosos yacimientos del Prepireneo, como Cova Gran (Mora et al., 2011), Balma Massana (Bargalló et al., 2013), Peña de las Forcas (Utrilla y Mazo 2014) o la Balma Guilanyà, que será ocupada entre 9450 y 7578 cal ANE (11,4 – 9,5) (Martínez-Moreno y Mora, 2009) (Figuras 3.1 y 3.2). Estos contextos en abrigos,

junto a otros al aire libre, como Font de Ros (Martínez-Moreno y Mora 2011) o Sota Palou (Roda et al., 2016), han sido adscritos al Mesolítico (Martínez-Moreno et al., 2006; Alday 2006).

El nivel acerámico más reciente documentado en nuestro caso de estudio, es un nivel asociado a un suelo de frecuentación y, al menos, a un hogar en el Abric de les Obagues de Ratera, situado a 2312 m snm (Gassiot et al., 2019). Se trata igualmente de un nivel con escaso material arqueológico, principalmente lítico, pero esta vez con presencia de elementos geométricos, y restos de talla o reparación de herramientas líticas de sílex, que ha sido fechado en torno al 5736-5636 cal ANE (Gassiot et al., 2019). El tipo de utillaje lítico geométrico (*sensu* Utrilla y Montes, 2009) documentado podría ser característico de sitios como la Peña de las Forcas II (Utrilla y Mazo 2014), localizada en el Prepirineo central, o los abrigos de Artusia y Aizpea en el Pirineo occidental (Cava, 2004; García-Martínez de Lagrán et al., 2016) (Figura 3.1).

Posiblemente, podríamos incluir un tercer yacimiento en este grupo: la Cova del Sardo de Boí, ubicada a 1774 m snm en el fondo del valle de Sant Nicolau. El nivel más antiguo de ocupación del abrigo, ha sido fechado en 5559-5464 cal ANE (Gassiot et al., 2014 y 2015), y se corresponde con una ocupación sin material cerámico, asociado a un hogar en cubeta que se ubicaba bajo la cornisa, con escaso material lítico de sílex; producto, igual que en el caso anterior, de tareas de talla o reparación de herramientas. El fechado de este nivel se encuentra justamente en el momento de transición de las últimas comunidades mesolíticas a las primeras neolíticas en la región, por lo que la ausencia de material diagnóstico nos impide, por el momento, asociarlo a una u otra fase.

En conclusión, a partir de las ocupaciones excavadas en abrigos de alta montaña de nuestra zona de estudio, el PNAESM, podemos situar la primera presencia humana de grupos cazadores-recolectores en alta montaña, a lo largo de un periodo de unos 1500 años, entre 10 y 8,5 ka cal BP, con ocupaciones fechadas en torno a 8004 - 7717 cal ANE (en el Abric de les Obagues de Ratera) y en 6831 y 6589 cal ANE (en El Abric de l'Estany de la Coveta I), asociadas ambas a breves episodios de ocupación de los abrigos situados en torno al límite superior del bosque.

A continuación, se documenta una nueva presencia previa a la ocupación plenamente neolítica, fechada en 5736-5636 cal ANE, en Abric de les Obagues de Ratera, y en 5559-5464 cal ANE en Cova del Sardo, es decir en un intervalo aproximado de 5,7-5,4 ka cal BP. Esta presencia se asocia a ocupaciones tanto en zonas de fondo de valle a 1774 m snm, en el piso subalpino inferior, como en altura, en el piso subalpino superior, a 2312 m snm. Igual que

en las ocupaciones más antiguas se vincula a un uso breve de los abrigos para la reparación de herramientas líticas asociadas, probablemente a actividades de caza.

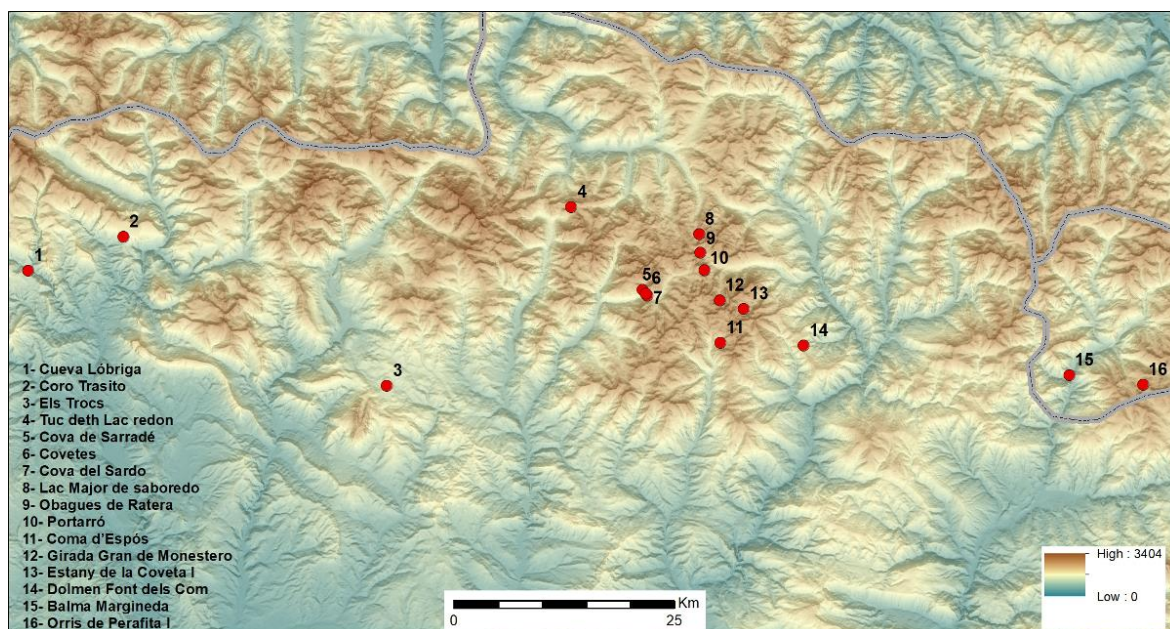
La presencia mesolítica en nuestra zona de estudio, es, por lo tanto, altamente discontinua, por ello preferimos el concepto "*frecuentación*" al de "*ocupación*" (Gassiot et al., 2017). La escasa densidad demográfica definida en sociedades cazadoras-recolectoras y la discontinuidad de la ocupación humana en toda la región Pirenaica, durante el Holoceno antiguo (Figura 3.2), hacen pensar que el sistema socioeconómico mesolítico podía incluir las zonas de alta montaña en su esquema productivo, como lugares de caza, pesca o recolección, en un sistema de movilidad logístico estacional, a largas distancias (Martínez-Moreno et al., 2009, Martzluff et al., 2010, García-Martínez de Lagrán et al., 2016).

La cuestión principal a abordar en este punto, es si estas primeras frecuentaciones del valle de Sant Nicolau, por grupos cazadores-recolectores, son lo suficientemente importantes y recurrentes como para alterar de alguna manera el ecosistema, y dejar alguna huella antrópica en el medio ambiente, fuera de los estrictos lugares de hábitat (Allue et al., 2012, Revelles et al., 2018). En cualquier caso, los indicadores paleoambientales no parecen señalar claramente ningún tipo de impacto humano en las áreas de alta montaña anterior a 7,5 ka cal BP, más allá de, tal vez, algunos incendios, que podría ser igualmente achacables a factores naturales (Catalan et al., 2001 y 2013; Riera y Turú, 2011; Rius et al., 2012; Galop et al., 2013; Garcés-Pastor et al., 2017; Revelles et al., 2018; González-Sampériz et al., 2019). Por el contrario, todo parece indicar que los principales vectores del cambio en los paisajes vegetales durante este periodo continúan siendo esencialmente climáticos y de alcance global (Bond et al., 1997, Cacho et al., 2001, Wanner et al., 2011, Pèlachs et al., 2011; Berger et al., 2016, González-Sampériz et al., 2017).

En conclusión, la dinámica de frecuentación del Pirineo axial, durante el largo periodo Mesolítico es equivalente a la de las sierras exteriores. Caracterizadas por patrones de ocupación escasos y discontinuos de grupos cazadores-recolectores-pescadores, con economías extractivas de amplio espectro y sistemas de complementariedad económica, basadas tanto en recursos litorales como de montaña, a partir de circuitos de elevada movilidad interregional, posiblemente estacionales (Gassiot, 2001; Estévez y Gassiot, 2002; Martínez-Moreno y Mora, 2009; Martzluff et al., 2010).

Podemos afirmar, por tanto, que las zonas de alta montaña no quedaron al margen de las dinámicas socio-históricas de la región Pirenaica durante el Holoceno inicial (11,7- 8,2 ka cal BP), de igual manera que sucedía en el Tardiglacial (19-11,7 ka cal BP). Aunque los yacimientos de mayor entidad continúan localizándose en zonas de fondo de valle y pie de

monte, eso no supone una falta de control efectivo de las vías de acceso y explotación puntual o recurrente de los pisos altimontano, subalpino y alpino (Figuras 3.1 y 3.3).



**Figura 3.3. Localización de los principales yacimientos con ocupaciones prehistóricas situados en el Pirineo axial central, entre 900 y 2600 m snm.** En el mapa se observa que la mayor parte de yacimientos prehistóricos de alta montaña se ubican en el ámbito del PNAESM, en los valles de Espot y Sant Nicoalu (*según* Gassiot et al., 2017).

### 3.2.2 LA OCUPACIÓN NEOLÍTICA (7,5 – 4,5 KA CAL BP)

Las sociedades del Neolítico antiguo ocuparon el interior de la Cordillera, entre 7,5 y 6,5 ka cal BP, transformando socialmente el medio ambiente mediante prácticas económicas agrícolas y ganaderas (Mazzucco et al, 2016, Rodríguez-Antón 2016, Gassiot et al., 2017, Oms et al., 2018). Tanto es así, que a partir de los análisis paleoambientales se ha propuesto secuenciar la dinámica de ocupación de las diversas sierras pirenaicas a partir de las

evidencias de impacto humano en los ecosistemas (Galop, 2006; Rius et al., 2012; Galop et al., 2013; González-Sampériz et al., 2017; Revelles et al., 2018). El uso del fuego como herramienta para modificar el entorno y abrir zonas de pasto y cultivo será un factor fundamental en los procesos de antropización del paisaje, aunque la agricultura y la ganadería son actividades generadoras de paisajes *per se* (Galop et al., 2003; Bal et al., 2011 y 2015; Antolín, 2015; Rius et al., 2009 y 2012; Antolín et al., 2018).

A partir de las dinámicas de ocupación observadas en los yacimientos pirenaicos, creemos que las comunidades agroganaderas podrían haberse instalado en toda la región en un intervalo de apenas unos 200/300 años, entre 7,5 y 7,2 ka cal BP (Antolín, 2015; Mazzucco et al., 2016; Oms et al., 2018; Remolins y Gibaja, 2018). De hecho, las fechas en que tienen lugar los procesos de ocupación del territorio altimontano del Pirineo axial son equivalentes a las del valle del Ebro y la región Atlántica, presentando apenas un desfase de 100 – 150 años respecto a las dinámicas de ocupación de la región Mediterránea oriental de la Península Ibérica (Zapata et al., 2004; Olalde et al., 2015; Oms et al., 2018; Rojo-Guerra et al., 2018).

La implantación del sistema de producción agroganadero en la Cordillera Pirenaica podría ser relativamente análoga a otras regiones, ya que no se documenta, ningún tipo de especialización en las prácticas productivas de las primeras comunidades asentadas en áreas de montaña (Mazzucco et al., 2016; Mazzucco y Gibaja, 2018; Antolín et al., 2018). De hecho, se proponen modelos productivos relativamente sedentarios, basados en una producción agrícola intensiva y diversificada y en la ganadería mixta de proximidad a los principales lugares de hábitat, tanto en llanos interiores como en zonas de media montaña (Antolín et al., 2018).

La mayoría de los yacimientos de la región Pirenaica axial central se sitúan en cuevas o abrigos del piso montano, entre 900 y 1700 m snm. La continuidad del modelo de poblamiento y explotación neolítica pirenaica queda reflejada en todos los abrigos de montaña del Pirineo axial: Balma Margineda (970 m snm) (Oms et al., 2016), Espluga de la Puyascada (1320 m snm) (Mazzucco et al., 2013), Coro Trasito (1548 m snm) (Clemente et al., 2014; Díaz-Bonilla et al., 2016; Gassiot et al., 2018), Els Trocs (1564 m snm) (Rojo-Guerra et al., 2013 y 2015) y Cova del Sardo (1774 m snm) (Gassiot et al., 2014 y 2015); en los que se documenta una continua reutilización del espacio de hábitat a lo largo del neolítico antiguo, entre 7,5 y 6,5 ka cal BP. Posteriormente, durante el Neolítico medio, entre 6,5 y 6 ka cal BP, se desarrollarán ocupaciones al aire libre, como las documentadas en el

valle de la Valira, en Andorra: Jubberri, Camp de Colomer y Segudet de Ordino (Yáñez et al., 2002; Fortó y Vidal, 2016; Remolins y Gibaja, 2018).

A la luz de las nuevas evidencias documentadas gracias a la inclusión del Pirineo axial en los programas de investigación del poblamiento prehistórico regional (Gassiot et al., 2014 y 2017, Mazzucco y Gibaja-Bao, 2018; Antolín et al., 2018, Revelles et al., 2018), defendemos que la alta y media montaña pirenaicas no funcionaron como un área geográfica marginal en la Prehistoria, sino dentro de los mismos parámetros de desarrollo socioeconómico que operan en el resto del Mediterráneo occidental (Badal et al., 2002; Zapata et al., 2004; Richard, 2004; Guilaine, 2018; Rojo-Guerra et al., 2018).

En definitiva, vemos que la ocupación efectiva de los espacios de alta montaña se desarrolla inmersa en los mismos procesos socio-históricos que afectan al resto de la región Pirenaica, en idénticos parámetros tecnoeconómicos y culturales y sin aparente desfase cronológico (Barceló, 2008; Antolín et al., 2018; Oms et al., 2018; Berger et al., 2019).

### **3.2.2.1 EL NEOLÍTICO ANTIGUO (7,5 – 6,5 KA CAL BP)**

---

#### ***Ocupación de abrigo y generación de los primeros paisajes agroganaderos***

La primera ocupación sistemática de abrigo con niveles de depósitos fecales producidos por la estabulación de ganado, se documenta en toda la región Pirenaica en torno a la segunda mitad del VI milenio, entre 5550 y 4800 cal ANE (7,5 – 6,8 ka cal BP). Este tipo de contextos son ampliamente generalizados durante el neolítico *cardial* y *epicardial* en toda la región Mediterránea occidental (Zapata et al., 2004), interior de la Península Ibérica (Rojo-Guerra et al., 2018) y región pirenaica (Oms et al., 2018; Antolín et al., 2018).

Concretamente, en nuestra zona de investigación, los sistemas montañosos de los Pirineos centrales, encontramos este tipo de contextos de ocupación recurrente en abrigo o pequeñas cuevas, situadas tanto en las sierras axiales como en ambientes de media montaña. En el Pirineo axial se localizan las cavidades de la Balma Margineda, Els Trocs, Coro Trasito y Espluga de la Puyascada, entre 950 y 1600 m snm, en el piso bioclimático altimontano (Ninot et al., 2007), en zonas de valle o media montaña que dan acceso a la alta montaña circundante (Gassiot et al., 2017; Antolín et al., 2018). Se trata de contextos



arqueológicos equivalente a los que se documentan en zonas de bajo monte y valles principales del Prepirineo meridional, entre 900 y 300 m snm, como Cueva Chaves, Cova Gran, Colomera, Peña de las Forcas II o El Parco (Utrilla, 2002; Antolín et al., 2018; Rojo-Guerra, 2018), o bien en el pie de monte septentrional, en los abrigos de Buholoup, Moulin y Spugo de Ganties, o las cuevas de La Tourasse y Poeymaü (Gardes, 1996; Rouquerol, 2004; Dumontier et al., 2016) (Figura 3.1).

La presencia de estos niveles de *fumier*, producto de la estabulación recurrente del ganado en los abrigos ha llevado a formular a algunos investigadores la teoría de una cierta especialización de las comunidades neolíticas pirenaicas en las prácticas productivas ganaderas, frente a las agrícolas, llegándose a plantear incluso modelos de trashumancia prehistórica hacia los pastos de alta montaña, ya desde el neolítico antiguo (Rojo-Guerra et al., 2013). Los datos arqueológicos no parecen señalar en esa dirección, ya que la diversificación productiva será la norma general, tanto en yacimientos litorales como de montaña (Antolín et al., 2018).

El intervalo cronológico equivalente a la primera afectación antrópica del entorno, documentada en los depósitos paleoambientales de la región pirenaica se produce en torno a 7,5 - 6,5 ka cal BP (5500 - 4500 cal ANE) (Pèlachs et al., 2007; Galop, 2005; Carozza et al., 2005; Rius et al., 2012; Uri-Blanco, 2013; González-Sampériz et al., 2017), por lo que sería plenamente coincidente con los datos arqueológicos procedentes de los yacimientos ocupados en el Neolítico antiguo en el Pirineo (Oms et al., 2012 y 2018b; Clemente et al., 2014; Utrilla y Mazo, 2014; Dumontier et al., 2016; Mazzucco, 2018; Rojo-Guerra et al., 2018).

Esta humanización del entorno de los yacimientos en el neolítico antiguo se debe, principalmente, a la combinación de tres factores de impacto ambiental: 1) el uso sistemático del fuego para modificar el bosque y generar claros, 2) el mantenimiento de zonas de pasto para el ganado doméstico y 3) la producción agrícola en campos de cultivo intensivos o extensivos. Este sistema productivo y de intervención en el medio ambiente, desarrollado en el neolítico, ha sido denominado de "*Tala y Roza*" o "*Landnam*" (según Galop et al., 2003, Boogard, 2004; Antolín, 2015).

Por otro lado, el aprovechamiento de los pastos alpinos no parece gozar de un especial interés entre las primeras sociedades agroganaderas, ya que se trataría de entornos marginales, de difícil acceso y productividad limitada (Fillat et al., 2008). Los análisis arqueobotánicos (Antolín et al., 2018) y paleoambientales (Revelles et al., 2018), parecen señalar más a una generación local de zonas de pasto, mediante el uso del fuego y el

aprovechamiento de los bosques, localizada en el entorno de los yacimientos, tanto en zonas de llanura aluvial como de media montaña (Galop et al., 2003 y 2013; Uria-Blanco, 2013; Antolín et al., 2014 y 2018).

Justamente, en nuestro caso de estudio, el primer impacto antrópico mediante el uso del fuego, se documenta en el sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2, entre 5235 y 4940 cal ANE, con los resultados que presentamos en esta tesis. Lo que nos permite añadir las zonas de alta montaña subalpina a la lista de ambientes donde podría reproducirse el mismo esquema de generación de paisajes agropastorales en el neolítico antiguo.

Un fenómeno similar ha sido documentado en otros emplazamientos del Pirineo central, como Cueva Chaves, situada en los Prepirineos, en la Sierra de Guara a 630 m snm. La ocupación del yacimiento, fechada entre 5600 y 5300 cal ANE viene acompañada de una transformación activa del entorno, para facilitar la obertura de pastos y campos de cultivo (Mazzuco et al., 2015). En el caso de la cueva del Els Trocs, en Bisauri, situada a 1530 m snm, ya en el Pirineo central, se documenta una ocupación intensiva del sitio entre 5300 y 4300 cal ANE (Rojo-Guerra et al., 2013). Esta ocupación, vendría precedida de un primer impacto en el medio, fechado en 5500 – 5400 cal ANE, y estaría asociada a un nivel de paleosuelo documentado en el exterior de la cueva, y fechado en 5140 - 4800 cal ANE (7,1 – 6,8 ka cal BP), donde se documenta una deforestación del bosque asociada a prácticas de pastoreo, principalmente (Uria-Blanco, 2013). Una dinámica, totalmente análoga a la que ha sido documentada en el caso de la Cova del Sardo y su entorno en este trabajo. Además, en cronologías idénticas.

Prácticas análogas de uso del fuego durante el todo el periodo neolítico (7,5 – 4,2 ka cal BP) en áreas de montaña han sido documentadas en otras zonas del Pirineo axial central (Pèlachs et al., 2007; Cunill et al., 2012a), Prepirineos mediterráneos (Piqué et al., 2018; Revelles et al. 2018), pie de monte francés (Galop, 2005; Rius et al., 2009), valle del Ródano (Delhon et al., 2009; Bal et al., 2015; Berger et al., 2019) y Cordillera Cantábrica (Pérez-Obiol et al., 2016). De hecho, se ha propuesto un modelo de uso generalizado del fuego durante la Prehistoria reciente para la gestión de los paisajes sociales en todo el Mediterráneo occidental, en general, (Vannièrè et al., 2011) y en la Península Ibérica, en particular (Connor et al., 2019).

### 3.2.2.2 EL NEOLÍTICO MEDIO (6,5 – 5,5 KA CAL BP)

---

#### *Poblados al aire libre y ocupación de abrigos*

Tras esta primera ocupación permanente de los medios de alta montaña pirenaicos, durante el neolítico antiguo (5500 – 4500 cal ANE), se produce una larga fase de estabilización y desarrollo del sistema productivo neolítico, basado en la explotación diversificada del entorno, mediante la agricultura (sobre todo cerealista), la ganadería mixta (cerdos, cabras y bóvidos) y, en menor medida, la caza y la recolección (Molist et al., 1996; Antolín, 2015).

La ampliación de la producción agrícola hacia contextos de media montaña (900 – 1500 m snm) durante el neolítico medio (4500 – 3500 cal ANE), ha sido profusamente documentada en el valle de la Valira, en Andorra, donde se documentan diversos yacimientos al aire libre (Fortó y Vidal, 2016; Remolins y Gibaja-Bao, 2018), que se empiezan a generalizar a nivel regional en este periodo (Antolín, 2015; Antolín et al., 2018; Oms et al., 2018b). Concretamente en el valle de la Valira, en Andorra, se localizan los hábitats al aire libre de Juberri, Camp de Colomer y Segudet de Ordino, situados todos en la media montaña, entre 1250 y 1350 m snm y fechados en la segunda mitad del V milenio, entre 4500 y 3950 cal ANE, en el neolítico medio. Estos yacimientos a cielo abierto incluyen diversos silos con material agrícola, algunos enterramientos y suelos de cabañas (Yáñez et al. 2002; Fortó y Vidal, 2016; Remolins y Gibaja-Bao, 2018). Se trata de emplazamientos probablemente muy próximos a los campos de cultivo, especialmente de cebada (*Hordeum vulgare*), que es un cereal poco exigente en términos climáticos y fácilmente adaptable a las zonas montañosas. También han sido estudiados algunos enterramientos con ajuares, que incluyen cuentas de variscita producida en las minas de Can Tintorer, en Gavá, Baix Llobregat, a uno 140 km al sur, en el Litoral mediterráneo, lo que apunta a una fuerte conexión de los ámbitos pirenaicos con la costa y el valle del Ebro.

Por otra parte, la ocupación de abrigos con funciones de hábitat o redil decae de forma generalizada a favor de los poblados a cielo abierto en este periodo (entre 4500 y 3500 cal ANE) (Antolín, 2015), también en zonas de media montaña (Antolín et al., 2018), como la Espluga de la Puyascada (1300 m snm), que será desocupada entre el 4265 y el 3620 cal ANE (Mazzucco et al., 2013), al igual que la cueva del Els Trocs, desocupada entre 4340 y 3940 cal ANE (Rojo-Guerra et al., 2013). El abrigo de Coro Trasito (1548 m snm) se

desocupa en torno al 4600 cal ANE, y no se volverá a ocupar hasta el Bronce medio, hacia el 1450 cal ANE (Clemente et al., 2014; Díaz-Bonilla et al., 2016; Gassiot et al., 2018).

No sucede lo mismo en valles más elevados, en zonas de alta montaña, donde sí se continúan ocupando pequeños abrigos como la Cova del Sardo (1774 m snm) durante la práctica totalidad del periodo y prácticamente de manera ininterrumpida (Gassiot et al., 2014 y 2015). También ha sido documentada una ocupación de hábitat en este periodo en el Abric de les Obagues de Ratera (2312 m snm), fechada en 4047-3961 cal ANE (Tabla 14.1) (Gassiot et al., 2017 y 2019).

Este cambio en el patrón de asentamiento, observado en zonas altimontanas y en el piedemonte, no parece reflejarse en las áreas más elevadas, donde se observa una larga recurrencia en las ocupaciones a lo largo del tiempo, lo que podría señalar una pervivencia de las prácticas socioeconómicas de explotación de los valles subalpinos durante todo el neolítico.

### **3.2.2.3 EL NEOLÍTICO FINAL Y CALCOLÍTICO (5,5 – 4,5 KA CAL BP)**

---

#### ***Movilidad y ocupación del piso subalpino superior***

Los cambios sociales acaecidos durante el neolítico final y calcolítico, desde la irrupción de la metalurgia a nivel regional, tanto en la región pirenaica mediterránea (Molist et al., 2003; Antolín, 2015) como atlántica (Rouquerol, 2004; Dumontier et al., 2016), parecen implicar un relativo aumento de la ocupación de las áreas de montaña y alta montaña (Carozza et al., 2005). El patrón de poblamiento se diversifica, aumentando tanto el número de hábitats al aire libre como en abrigos y cuevas (Molist et al., 2003; Dumontier et al., 2016; Gassiot et al., 2017). El crecimiento demográfico y la intensificación generalizada de la producción durante el IV milenio cal ANE (Lillios et al., 2016), será seguida de una intensificación de la explotación de los pastos de altura, en el piso alpino, sobre los 2200 m snm. Esta teoría se fundamenta tanto el aumento de fechados de niveles de ocupación en abrigos, situados

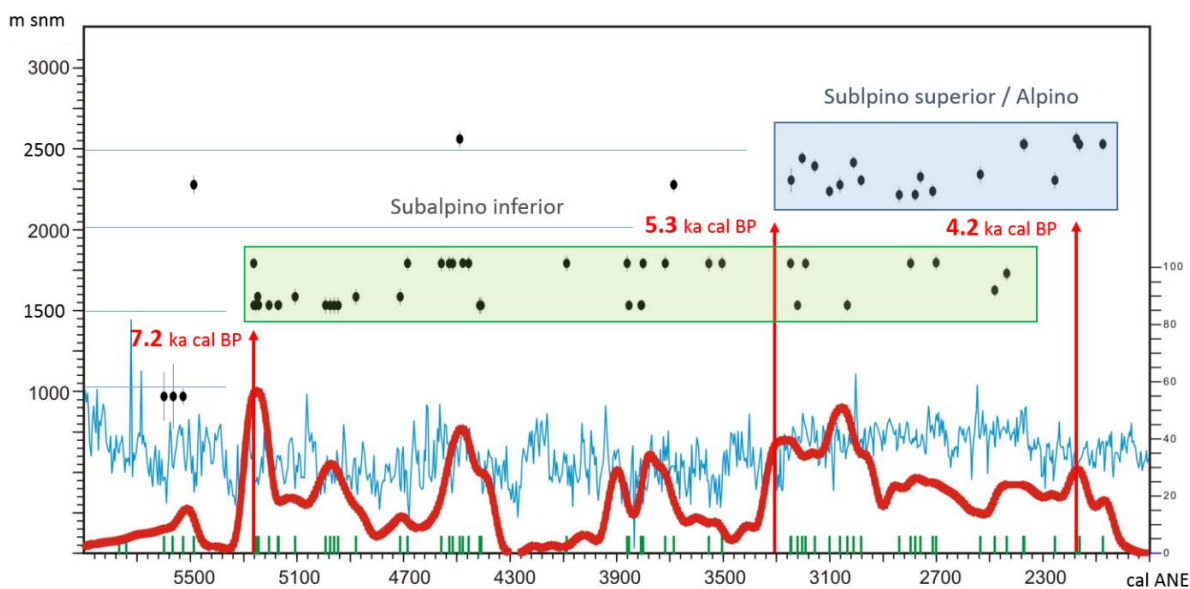
entre 2000 y 2500 m snm (Figura 3.4) (Gassiot et al., 2017), como en el descenso del límite superior del bosque y el consecuente aumento de la extensión de los pastos subalpinos en zonas de alta montaña, documentado durante el periodo (3300 – 2300 cal ANE), y que ha sido observado tanto en el Pirineo axial central (Cunill et al., 2012b), como en el Pirineo septentrional (Galop, 2005) o incluso, en los Alpes occidentales (Carnelli, 2002).

Es discutible en qué medida el cambio en la dinámica de gestión socioecológica de los distintos pisos altitudinales observado en la distribución de las ocupaciones, se debe a nuevas pautas en el modelo productivo de las sociedades del neolítico final y calcolítico (Gassiot et al., 2017), o si es, más bien, una respuesta socioeconómica a un proceso de cambio climático (Pèlachs et al., 2007; Catalan et al., 2013; Rodríguez-Antón et al., 2016). Este cambio climático ha sido documentado entre 5,3 y 4,2 ka cal PB, implicando unas condiciones más frías y de mayor aridez, sobre todo en verano-otoño, en toda la región mediterránea (Wanner et al., 2011; Fletcher et al., 2012; Lillios et al., 2016; Bini et al., 2019; Finne et al., 2019).

El cambio climático del final del Holoceno medio (5,3 – 4,2 ka cal BP) supuso en la alta montaña pirenaica una disminución de la temperatura estival/otoñal (Pèlachs et al., 2011; Catalan et al., 2013), la reactivación de algunos procesos neoglaciares en las zonas más elevadas de la cordillera (Sancho et al., 2018; García-Ruiz et al., 2014), y un descenso del límite superior del bosque (Cunill, 2010). Estos cambios afectaron también a la distribución de las especies vegetales dominantes, con la sustitución del roble (*Quercus caducifolia*) por el haya (*Fagus*), en el piso altimontano superior, o el descenso general de las caducifolias frente a las coníferas, en el piso subalpino inferior, extendiéndose claramente el abeto (*Abies*) en ambos pisos altitudinales (Pèlachs et al., 2007; González-Sampérez et al., 2017).

El descenso del límite superior del bosque, y de los pisos altitudinales, en general, favorecieron un aumento de la extensión de las praderas alpinas, que podría ser fruto de una dinámica socioecológica de retroalimentación positiva (*sensu* Butzer 1982). Por un lado, el cambio climático favorece el descenso del límite superior del bosque (Cunill et al., 2012). Por otra parte, la disminución de las precipitaciones en el Prepirineo podría haber hecho aumentar el interés de las comunidades agroganaderas pirenaicas en la explotación de los pastos de altura, favoreciendo mediante su uso ganadero, su expansión. Paradójicamente, unas condiciones climáticas más frías no habrían empujado a las comunidades calcolíticas a abandonar la explotación de la alta montaña, sino al contrario, a intensificarla, ya que el aumento de la aridez en el valle del Ebro, podría hacer más rentable

una producción agrícola de verano-otoño en zonas de media y alta montaña, donde el estrés hídrico es mucho menor (Finné et al., 2019).



**Figura 3.4** Gráfica de distribución altitudinal de ocupaciones arqueológicas fechadas en yacimientos de montaña del interior del pirineo axial central durante el Holoceno medio. La gráfica ha sido elaborada a partir de los yacimientos señalados en el Figura 3.3 (*modificada de Gassiot et al., 2017*).

### 3.2.2.4 LA EDAD DEL BRONCE (4,2 – 2,8 KA CAL BP)

#### *Nuevo patrón de asentamiento y explotación del territorio*

A partir del 4,2 ka cal BP, que en términos climáticos supone un evento árido de enfriamiento global que marca el inicio del Holoceno reciente (Walker et al., 2018; Bini et al., 2019), se documentan en diversos registros sedimentarios del Pirineo central abundantes señales del cambio climático (González-Sampériz et al., 2017), que implica una

nueva disminución de las temperaturas de verano (Catalan et al., 2013) y de la masa forestal total en los medios subalpinos (Pèlachs et al., 2011) (Figura 2.23(a)).

Paralelamente, el registro arqueológico de las zonas de alta montaña del Pirineo axial central parece experimentar un fin de ciclo, al documentarse el abandono definitivo de diversos abrigos utilizados durante el la mayor parte del neolítico y calcolítico, como la Cova del Sardo (Gassiot et al., 2014), así como una disminución muy drástica del número de dataciones totales del II milenio, respecto al III milenio cal ANE (Gassiot et al., 2017), como sucede en nuestro ámbito de estudio, el PNAESM (Gassiot, 2016). Este *hiatus*, sin embargo, no se documenta en el Pirineo francés (Dumontier et al., 2016).

En el Pirineo axial central meridional, algunos abrigos son reocupados, tras un *hiatus* importante, en la segunda mitad del II milenio cal ANE, durante la Edad del Fronsce, entre 1700 y 800 cal ANE (3,7 – 2,8 ka cal BP), como el Abric de les Obagues de Ratera (Gassiot et al., 2019) o Coro Trasito (Gassiot et al., 2018). En cualquier caso, hay una aparente discontinuidad en las ocupaciones observada en el PNAESM, entre 2346 y 1742 cal ANE (4,3 – 3,7 ka cal BP), implantados después de un patrón de asentamiento y gestión socioeconómica del territorio diferenciable del anterior. Aunque han sido documentados diversos hallazgos arqueológicos del II milenio cal ANE en el valle de Sant Nicolau, han aparecido, paradójicamente, aislados y fuera de contextos arqueológicos claros, como los ya discutidos del entorno de Pleta d'Erdo (Garcia-Casas et al., 2015; Gassiot, 2016).

Una vez más, como sucede en el periodo anterior, entre el 2200 y el 800 cal ANE (4,2 – 2,8 ka cal BP) hay elementos para plantear un cambio en las comunidades pirenaicas a modelos de gestión del territorio alternativos a los que habían sido implementados por las sociedades calcolíticas, entre 3500 y 2200 cal ANE, observándose, sobre todo en la segunda mitad del periodo, una intensificación del impacto humano en el medio, mediante la aparente ampliación de las zonas de pasto y cultivo (Carozza et al., 2005; Galop et al., 2007; Catalan et al., 2013).

De hecho, los datos obtenidos en columnas sedimentarios lacustres, como la del Estany de la Llebre (1620 m snm), situado en el curso bajo del valle Sant Nicolau, a sólo 1,7 km al oeste del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS2, muestran una señal débil pero constante, de polen de cereal. Los datos polínicos del Estany Redó d'Aigüestortes (2105 m snm), por su parte indican una señal muy clara, en torno al 1300 cal ANE (3,3 ka cal BP) de deforestación, marcada por un porcentajes elevados de *Ericaceae*, *Poaceae*, *Artemisia* y *Apiaceae*, en consonancia con un descenso del polen arbóreo.

En conclusión, tanto la presencia de evidencias arqueológicas de ocupación o frecuentación del espacio subalpino, como los indicadores polínicos, señalan a un mantenimiento de la gestión de la alta montaña durante la Edad del Bronce, especialmente entre 3,7 y 2,8 ka cal BP, tras un cambio marcado en las dinámicas de poblamiento anteriores, y un posible desplazamiento de los lugares de hábitat, de pequeños abrigos a espacios al aire libre. Aunque se detecta un incremento muy marcado de la presión antrópica, respecto al calcolítico, al menos en nuestro caso de estudio, el valle de Sant Nicolau.

### 3.3 LA OCUPACIÓN PREHISTÓRICA DE PNAESM

---

#### *Yacimientos arqueológicos prehistóricos*

Descripción de la secuencia de ocupación del valle de Sant Nicolau. Se sitúan los principales yacimientos prehistóricos, su cronología y su relación con el resto de contextos ocupados en los valles colindantes del PNAESM.

La investigación de la historia del poblamiento desarrollada en las zonas más elevadas de la Cordillera, en áreas de alta montaña, se ha realizado en un primer caso de estudio (PNAESM); mediante una prospección arqueológica sistemática, que no ha excluido ningún área en función de su geomorfología, aunque ciertamente las zonas forestales han sido de más difícil prospección y visibilidad a la hora de identificar restos arqueológicos respecto a las áreas de pasto o pradera (Gassiot et al., 2016).

Los trabajos de prospección intensiva y documentación de yacimientos arqueológicos desarrollados por el *Grup d'Arqueologia d'Alta Muntanya*<sup>5</sup> (GAAM) entre el año 2004 hasta el 2012, en el ámbito del PNAESM y su área periférica, han permitido documentar 378 yacimientos o localizaciones de interés arqueológico, en un área de 40.852 hectáreas (Gassiot 2016, Gassiot et al., 2013, 2014 y 2016).

---

<sup>5</sup> GAAM: Grupo de investigación arqueológica formado por personal investigador del Departamento de Prehistoria de la UAB y del Departamento de Arqueología y Antropología de la IMF – CSIC.



Más concretamente, únicamente en nuestro caso de estudio, el Valle de Sant Nicolau, situado en municipio de Boí-Taüll, han sido localizados un total de 126 sitios, la mayoría relacionados con la gestión ganadera de época histórica, especialmente de época romana y medieval (Garcia-Casas et al., 2013; Gassiot y Pèlachs, 2017; Garcia-Casas, 2018).

No obstante, en este trabajo vamos a focalizarnos en el estudio e interpretación del poblamiento prehistórico en la alta montaña, particularmente durante en el Holoceno medio (8,2 - 4,2 ka cal BP), pero con un enfoque diacrónico que incluye la discusión de una secuencia de ocupación que afecta la mayor parte del Holoceno.

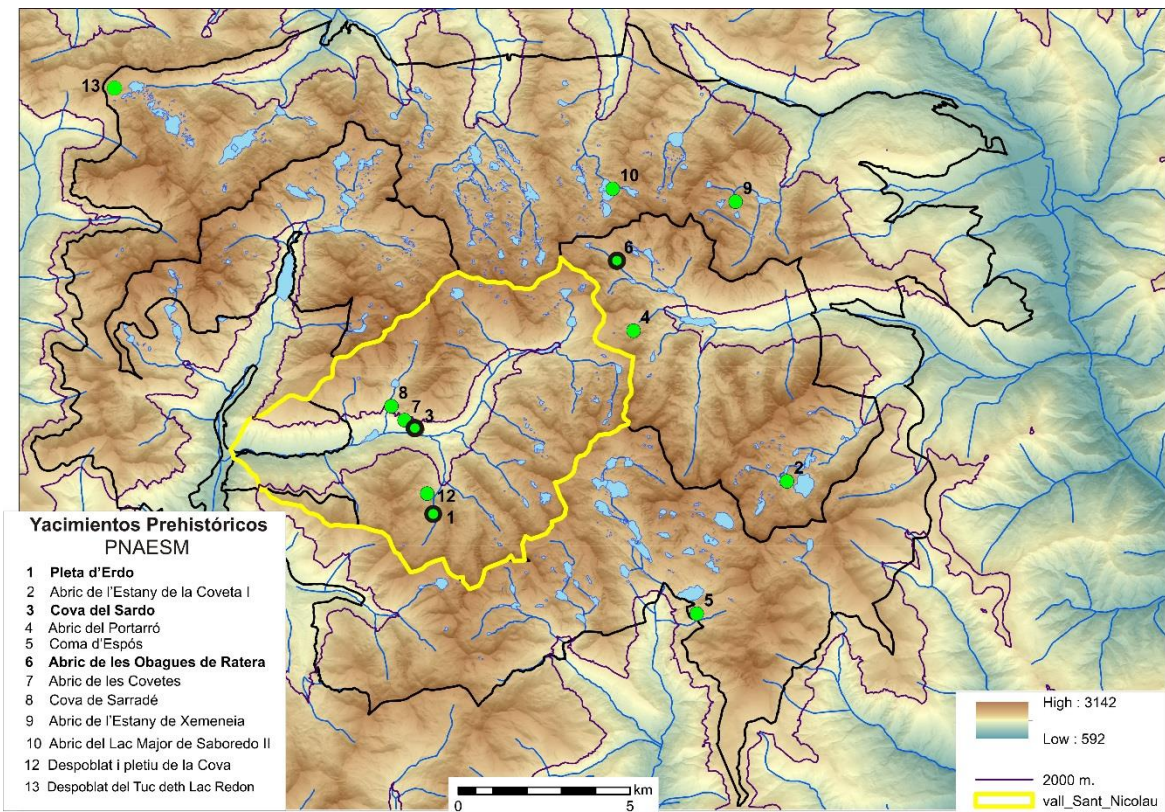
Las prospecciones realizadas en los 4 valles principales que componen el Parque Nacional han facilitado la identificación y fechado de un total de 13 yacimientos prehistóricos, con ocupaciones holocénicas, de los cuales 6 se localizan en la cuenca del valle de Sant Nicolau, 3 en la cabecera del valle de Espot, 3 en el valle de Aran y 1 en Vall Fosca (Figura 3.5, Tabla 14.1) (Gassiot et al., 2013 y 2014; Gassiot, 2016).

Por su ubicación y tipología, podríamos diferenciarlos en tres grupos y ámbitos biogeográficos:

a) En torno a cavidades y pequeños abrigos localizados en zonas de fondo de valle, en el piso bioclimático subalpino inferior, a una altura comprendida entre 1700 y 2000 m snm. Todos los yacimientos de este grupo, documentados, se sitúan en el curso medio del valle de Sant Nicolau: Cova del Sardo de Boí, Abric de Covetes y Cova de Sarradè (Gassiot et al., 2014).

b) En contextos al aire libre, situados en zonas de media ladera, localizadas en el piso subalpino superior, entre 2100 y 2300 m snm. La mayoría se localizan en la Ribera de Llacs (valle de Sant Nicolau): Despoblat i Pletiu de la Cova, Túmul de la Pleta d'Erdo, Tarter del Bony del Graller; pero también en Vall Fosca: Coma d'Espós, y valle de Aran: Despoblat del Tuc deth Lac Redon (Gassiot, 2016).

c) Bajo grandes bloques, localizados en circos glaciares, situados en el piso subalpino superior o en el alpino inferior, entre 2200 y 2500 m snm. La mayoría se encuentran en la cabecera del valle de Espot: Abric de les Obagues de Ratera, Abric de l'Estany de la Coveta I, Abric de Portarró, o en el Valle de Aran: Abric de l'Estany de Xemeneia, Abric del Lac Major de Saboredo II (Gassiot, 2016; Gassiot et al., 2013, 2014 y 2017, 2019) (Figura 3.5).



**Figura 3.5 Mapa físico donde se localizan los principales yacimientos prehistóricos del PNAESM.** Se señalan los principales yacimientos de la prehistoria reciente, especialmente del Holoceno medio (8,2 - 4,2 ka cal BP). Se remarcan los sitios de Pleta d'Erdo (1) y los abrigos de Cova del Sardo (3) y Obagues de Ratera (6), que serán analizados y discutidos en esta tesis doctoral.

### 3.3.1 LA OCUPACIÓN PREHISTÓRICA DEL PNAESM (10 - 2,5 KA CAL BP)

Debemos destacar que de las 47 dataciones radiocarbónicas procedentes de contextos sedimentarios de la zona de estudio, 13 provienen de sondeos y 34 de excavaciones arqueológicas en extensión. De éstas, 33 dataciones se sitúan en el Holoceno medio (8,2 - 4,2 ka cal BP), la mayoría proceden del curso medio del curso medio del valle de Sant Nicolau: 17 de estas dataciones corresponden a las ocupaciones neolíticas de la Cova del Sardo de Boí, 3 al sondeo del Forcall de Sant Esperit, localizado en el exterior del yacimiento, y las 3 restantes a niveles de ocupación fechados de los abrigos antes mencionados: Cova del Sardo II, Abric de les Covetes y Cova de Sarradé (Tabla 14.1). Todas las ocupaciones del

Holoceno medio en el valle de Sant Nicolau han sido localizadas, por tanto, en el curso medio del fondo del valle, entre 2000 y 1750 m snm, en piso bioclimático subalpino inferior (Tabla 14.1, Figura. 3.5).

De las 10 dataciones restantes del Holoceno medio, la mayoría (7), de las 15 que componen la larga secuencia de ocupaciones del Abric de les Obagues de Ratera, proceden de este abrigo, situado en la cabecera del valle de Espot (Tabla 14.1).

De los datos presentados se desprende que la ocupación de cavidades, especialmente durante el neolítico final y calcolítico (5,5 – 4,3 ka cal BP), es una constante en toda la zona de estudio, también en las zonas más elevadas, circos glaciares y cabeceras de los valles (Figura 3.4, Tabla 14.1) (Gassiot et al., 2017). Tanto es así, que de los 13 yacimientos prehistóricos holocénicos fechados, 10 presentan, al menos, ocupaciones del neolítico final y calcolítico (Figura 3.2, Tabla 14.1).

En resumen, vemos que el poblamiento en las zonas de alta montaña, incluye ocupaciones tanto en abrigos como al aire libre o aprovechando cavidades bajo bloques. A nivel geológico y altitudinal, la ocupación prehistórica parece excluir los circos rocosos y morrenas más elevadas, cimas y carenas, situadas por encima de los 2500 m snm, en los pisos subnival y alpino superior, alejadas del límite superior del bosque, y donde las condiciones climáticas suelen ser más extremas. Ciertamente, de los 13 yacimientos considerados en este trabajo, únicamente 3 se sitúan ligeramente por encima de los 2400 m snm, en la transición entre el piso subalpino y el alpino inferior, que podríamos hacer extensible a otros yacimientos situados por encima de los 2250 m snm. En todos los casos, se trata de ambientes donde el crecimiento, más o menos aislado, de árboles (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y arbustos (*Rhododendron ferruginea*, *Juniperus communis ssp. nana*) aún es frecuente (Ninot et al., 2007 y 2017a).

Podríamos afirmar, por lo tanto, que la ocupación de la alta montaña se estructura en torno al piso geobotánico subalpino (*sensu* Ninot et al., 2007), principalmente, tanto en zonas de fondo de valle y media ladera como en circos glaciales. La mayoría de yacimientos prehistóricos se localizan entre 2200 y 2400 m snm, siendo la altitud media de 2218 m snm (Tabla 14.1). Este hecho, en términos geobotánicos, implica que podría haber una cierta selección de los ambientes en torno al límite superior del bosque a la hora de localizar los lugares de hábitat. Algo que en términos socioecológicos favorece el acceso a diferentes biomas o ambientes, como zonas más elevadas, normalmente abiertas, de praderas y brezales, así como a zonas forestales y de fondo de valle.

Las ocupaciones en zonas de fondo de valle, potencialmente más emboscadas, parece que se reducen a algunos abrigos, como la Cova del Sardo, localizado a 1774 m snm, pero que presenta una larga secuencia de ocupación neolítica, que cubre la práctica totalidad del Holoceno medio, entre 7,5 y 4,3 ka cal BP. El estudio específico de este yacimiento busca contextualizar este espacio de hábitat en relación con la dinámica de ocupación y explotación de todo el valle, por lo que es esencial valorar su relación con el resto de yacimientos del Holoceno medio, para, en adelante, valorar el posible impacto ecológico en el paisaje que generó la ocupación humana del valle en su conjunto y no focalizándonos únicamente en el espacio de hábitat de la Cova del Sardo. Por eso hemos valorado de interés, con el objeto de analizar conjuntamente los diversos yacimientos que fueron ocupados en algún momento en el valle, ver qué relación espacial guardan entre sí.

Para ello, las distancias lineales en un medio extremadamente abrupto como la alta montaña, no parecen ser un valor socialmente relevante, por lo que hemos estimado la distancia “de coste” entre la Cova del Sardo y los diversos yacimientos analizados, de cara a poder establecer relaciones en la dinámica de ocupación y gestión del territorio (Tabla 14.2) (Gassiot et al., (2020), *en prensa*). De este cálculo realizado a partir de la Cova del Sardo, situada a 1774 m snm, observamos, en primer lugar, los contextos que podríamos situar en el entorno de proximidad del yacimiento: la *Cova del Sardo II*, situada a unos 40 m del sitio, a 1790 m snm; el *Abric de Covetes*, que se localiza a unos 490 m de distancia y a 1870 m snm, y la Cova de Sarradé localizada a 960 m lineales y a 1980 m snm. Los tres yacimientos se localizan a menos de 1 hora de distancia de coste, en el mismo contexto geobotánico (Figura 3.6). Los tres presentan, al menos, ocupaciones del neolítico final o calcolíticas, fechadas entre 3337 y 2346 cal ANE (Tabla 14.1). Al no haber sido excavados en extensión, desconocemos si los sitios presentan una secuencia de ocupación larga o breve. Las 4 cavidades se sitúan en el curso medio del valle de Sant Nicolau, relativamente cerca del fondo del valle, entre 1750 y 2000 m snm. Son pequeños abrigos o cuevas orientadas al sur.

A menos de 1:30 horas se localizan varios emplazamientos al aire libre, situados en Vall de Llacs, y fechados a finales de la Edad del Bronce, entre 1372 y 1112 cal ANE. Periodo en que no se documenta ocupación en la Cova del Sardo ni en los otros abrigos del fondo del valle de Sant Nicolau, de modo que no podemos relacionar directamente unos yacimientos con otros, al ser de diferente época. Aproximadamente a menos de media jornada de la Cova del Sardo, a unos 7 km lineales, encontramos el *Abric del Portarró*, que se localiza a 2283 m snm en la collada de difluencia glacial que separa los Valles de Sant Nicolau y Sant Maurici, del lado del valle de Espot. El yacimiento presenta, como mínimo, ocupaciones romanas y calcolíticas. Se sitúa en un amplio puerto próximo a la cabecera del Valle de Espot, a 2:30 h

de distancia de coste de la Cova del Sardo y a 1 hora aproximadamente del Abric de les Obagues de Ratera (Figura 3.6). A media jornada de distancia, a menos de 5 horas, encontramos otros 2 abrigos situados en la cabecera del valle de Espot: el Abric de les Obagues de Ratera, situado a 2312 m snm, que da acceso al Port de Ratera; y el Abric del Estany de la Coveta I, localizado, en un circo glaciar a 2456 m snm.

En el periodo que investiga esta tesis, el Holoceno antiguo y medio, los únicos yacimientos con secuencias de ocupación reiteradas de cierta entidad que han sido excavados en extensión serían la *Cova del Sardo*, para el periodo Neolítico, con una secuencia de prácticamente continuada desde 5563 hasta 2495 cal ANE (7,5 -4,4 ka cal BP), y el Abric de les Obagues de Ratera, con una secuencia que comienza entre 8186 y 7717 cal ANE (10,1 - 9,7 ka cal BP), y tras un largo *hiatus*, se reactiva entre 5736 y 56367 cal ANE. Después se documentan varias ocupaciones neolíticas, entre 4047-3961 cal ANE y 3337 y 2904 cal ANE (6 - 4,9 ka cal BP).

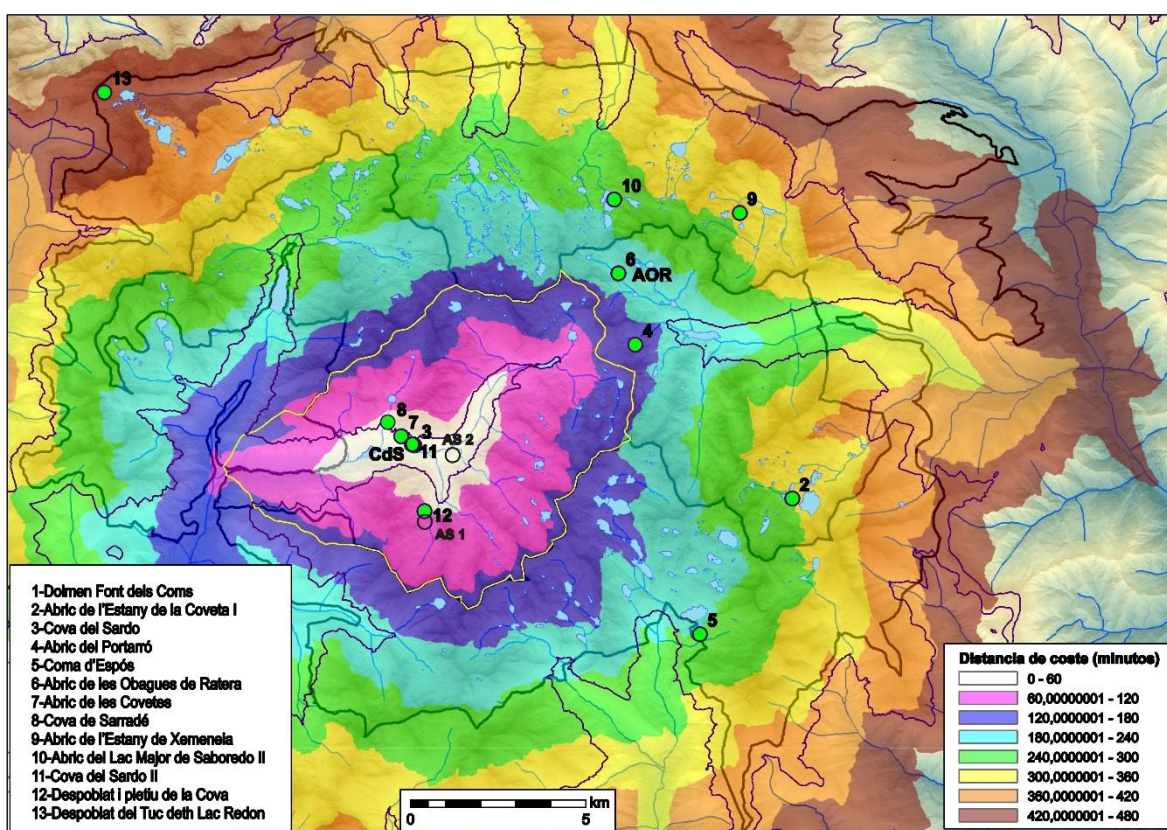


Figura 3.6. Mapa de distancias de coste desde la Cova del Sardo al resto de yacimientos del PNAESM. Cada color refleja una distancia de coste desde CdS (3), estimada en minutos (según la Tabla 14.2).

Por último, podríamos considerar el Abric de l'Estany de la Coveta I, localizado también en un circo glacial de la cabecera del valle de Espot, y que presenta, al menos, una ocupación mesolítica, fechada entre 7001 y 6574 cal ANE (9 – 9,5 ka cal BP) y una calcolítica, datada entre 3337 y 3017 cal ANE (5,3 – 5 ka cal BP) (Tabla 14.1).

Justamente como ejemplo de ocupaciones a mayor altura, podemos citar los 2 pequeños abrigos localizados ambos en la cabecera del valle de Espot, en ambientes de circo glacial rocoso, entre el piso subalpino y el alpino, en torno al límite superior del bosque:

### **Abric de l'Estany de la Coveta I (2456m)**

El más pequeño de ellos, es el *Abric de l'Estany de la Coveta I*, localizado a 2456 m snm., es una pequeña cavidad bajo un bloque errático, con una superficie interior de apenas 5,50 m<sup>2</sup>. Presenta una somera ocupación *mesolítica*, asociada a un hogar fechado entre 6831 y 6589 cal ANE. Además, ha sido excavada una ocupación de finales del Neolítico o calcolítica, algo más intensiva, en torno a una serie de hogares, fechada entre 3205 y 3339 cal ANE. También fue documentado algo de material cerámico documentado hallado en superficie, tipológicamente de la Edad del Bronce (II milenio cal ANE), pero sin un nivel sedimentario de ocupación vinculado al mismo (Gassiot et al., 2014 y 2017).

### **Abric de les Obagues de Ratera (2312m)**

Por su parte, el Abric de les Obagues de Ratera, algo mayor que el anterior, se localiza a 2312 m snm, en un circo rocoso muy próximo a la divisoria de aguas que da acceso al valle de Aran por un ancho puerto de montaña, el Port de Ratera, y al valle de Sant Nicolau por el Portarró. Se trataría, por tanto, de un enclave estratégicamente localizado en un lugar de paso que conecta tres valles principales del Pirineo axial central (Valle de Aran, Noguera Ribagorzana y Noguera Pallaresa) (Figura 3.5). Es un pequeño abrigo localizado bajo un gran bloque errático, de unos 15 m<sup>2</sup>, situado unos 5 metros por encima de un arroyo, en la vertiente de solana. Se ubica en una excelente visual del Port de Ratera. Paradójicamente presenta una de las secuencias de ocupación holocénicas más larga del Pirineo axial. Además de 2 niveles que se sitúan en el Mesolítico antiguo (8182 – 7727 cal BP) y en el periodo transicional entre el Mesolítico final y el Neolítico inicial (5732-5638 cal BP); presenta 2 niveles Neolíticos, fechados en el Neolítico medio (4052-3957 cal BP) y en el Neolítico final o Calcolítico (3087-2904 cal BP). El abrigo también fue ocupado durante la

Prehistoria reciente, en la Edad del Bronce medio (1735 – 1565 cal BP) y final (1380 – 1000 cal BP) y en la primera Edad del Hierro (790-530 cal BP) (Gassiot et al., 2019). Es, hasta la fecha, el yacimiento con ocupaciones de este periodo excavado a mayor altura en el Pirineo axial (Gassiot et al., 2017).

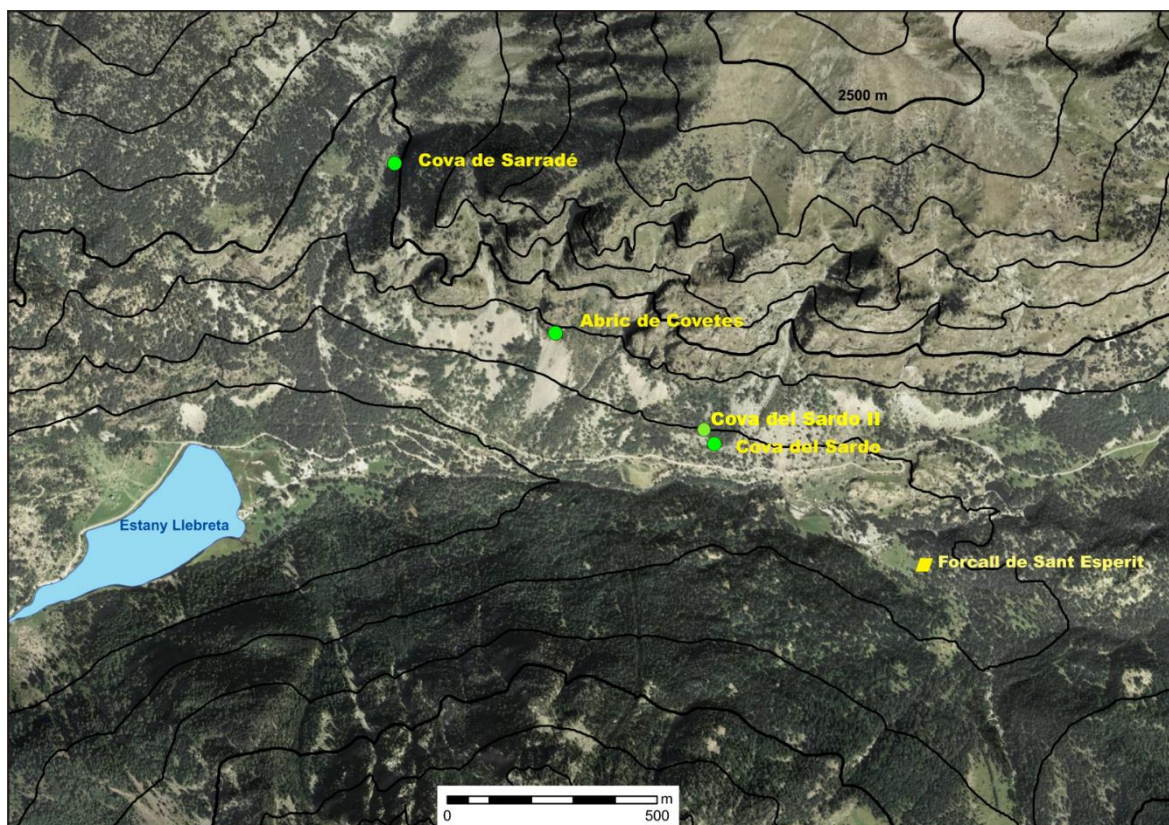
En conjunto, las ocupaciones prehistóricas son relativamente efímeras, coherentes con periodos de corta duración, necesariamente estivales. Si bien se observa una recurrencia importante en el uso del abrigo a lo largo del tiempo, reacondicionándose el espacio interior de hábitat y cerrándose el exterior con sucesivos muros o estructuras de cierre. Los hogares documentados son generalmente de pequeño tamaño y se encuentran en la zona central del espacio de hábitat (Gassiot et al., 2019).

### **3.3.2 LA OCUPACIÓN DEL VALLE DE SANT NICOLAU DURANTE EL HOLOCENO MEDIO (8,2 – 4,2 KA CAL BP)**

---

Como ya hemos podido observar, la mayor concentración de evidencias de ocupación humana durante el Holoceno medio ha sido documentada en el curso medio del valle de Sant Nicolau, que presenta al menos 4 cavidades ocupadas durante el neolítico final (Cova del Sardo, Cova de Sarradé, Abric de les Covetes y Cova del Sardo II), presentando un total de 22 fechados de este periodo asociados a la ocupación humana del fondo del valle (Tabla 14.1).

Los 4 abrigos se localizan en torno al sitio más próximo al fondo del valle y a la planicie aluvial: la Cova del Sardo (Figura 3.7).



**Figura 3.7. Localización de yacimientos con ocupaciones del Holoceno medio en la zona de Aiguestortes.** Cova de Sarradé, Abric de les Covetes y Cova del Sardo II y Cova del Sardo. Se destaca también el sondeo AS 2, localizado en el Forcall de Sant Esperit.

### 3.3.2.1 LA COVA DEL SARDO DE BOÍ (1774 m snm)

La Cova del Sardo de Boí es el único yacimiento neolítico excavado en extensión en el piso subalpino en toda la Cordillera de los Pirineos (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2014 y 2015; Gassiot, 2016). Se trata de un pequeño abrigo rocoso de 19,3 m<sup>2</sup> que se localiza a 1774 metros de altitud, en el curso medio del valle de Sant Nicolau. La cornisa orienta al sur y se sitúa en la vertiente de solana, 130 m al norte y 61 m por encima del río Sant Nicolau (Gassiot et al., 2015).

El abrigo es fruto del proceso de erosión glacial en la matriz granodiorítica que expone un saliente rocoso en la pared. La dinámica general de acción de los dos conos de deyección laterales, que operaron alternativamente rellenando la cavidad natural, sugiere la existencia



de varios procesos o eventos de arrollada durante las fases iniciales de configuración y estabilización de la ladera (Gassiot, 2011). Esta primera dinámica de configuración y relleno de la terraza de la Cova del Sardo se produjo por acción del cono de deyección oeste, con anterioridad a la primera ocupación humana, fechada en 5563-5376 cal ANE (7,5-7,3 ka cal BP); posiblemente durante el Holoceno antiguo. Posteriormente, el cono de deyección situado al este de la cavidad fue sedimentando las ocupaciones del Holoceno medio y final. No obstante, los sedimentos aportados no llegaron a colmatar la cavidad, generándose además una terraza exterior de unos 100 m<sup>2</sup> (Figura 5.6).

### **3.3.2.2 CRONOLOGÍA DE LAS OCUPACIONES PREHISTÓRICAS EN LA COVA DEL SARDO (7,5 – 4,5 KA CAL BP)**

---

Entre el 2006 y el 2008 tuvo lugar una intervención arqueológica en extensión de la cavidad y de la terraza exterior, que supuso la excavación sistemática de 74 m<sup>2</sup> del yacimiento, la mayor parte (58 m<sup>2</sup>) situados en la terraza exterior y sólo 16 m<sup>2</sup> bajo la cornisa (Figura 3.10) (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2014 y 2015). El yacimiento presenta una extensa ocupación, localizada tanto de la parte interna, situada en el interior del abrigo, bajo la cornisa, como en la terraza exterior. Las ocupaciones comprenden aproximadamente los últimos 7.500 años, con un largo periodo de desocupación entre 4,4 y 1,1 ka cal BP, aproximadamente.

La secuencia de ocupación del sitio ha sido definida gracias tanto a una excavación en extensión detallada topográficamente a la mínima escala, como a un programa de datación de prácticamente todas las estructuras arqueológicas y fases de ocupación documentadas (Figura 3.9 y Tabla 14.4).

Del análisis de la secuencia de ocupación del abrigo se definen 7 fases de uso, 3 de época histórica (Reciente, Moderna y Altomedieval) y 4 prehistóricas (Neolíticas), separadas por un *hiatus* de más de 3000 años, de desocupación del sitio (Tabla 14.1) (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015).

Si analizamos la distribución de los fechados de C14, calibrados (Tabla 14.4), incluyendo además de las 17 dataciones prehistóricas procedentes del Sardo, las 4 procedentes de sondeos realizados en el entorno del yacimiento, a menos de 1 km de distancia, en los otros

abrigos cercanos y en el perfil del fondo del valle (AS 2), vemos que las 5 fases descritas, de ocupación del yacimiento, podrían ser prácticamente un *continuum* en el entorno del valle. De hecho, de la distribución estadística más probable de los 21 fechados analizados, se deducen hasta 10 momentos de ocupación del valle entre 7,5 y 4,3 ka cal BP (Figura 3.9).

La fase 8 podría tener 2 momentos distintos de ocupación, en la Cova del Sardo, uno asociado al uso del interior del abrigo y otro al de la terraza. Mientras, la fase 7, podría tener hasta 3 momentos distintos, dentro del abrigo, lo que de facto es un nivel arqueológico continuo. Por su parte, la ocupación de la fase 6 del Sardo, localizada nuevamente en la terraza es estadísticamente coincidente con el nivel fechado en la Cova del Sardo II. Por último, los fechados del Abric de les Covetes y Cova de Sarradè podrían ser algo más recientes que la fase 5 de la Cova del Sardo.

En conclusión, el estudio de la secuencia de ocupación del valle, sugiere, prácticamente, una ocupación continuada desde inicios del Neolítico antiguo hasta el final del Holoceno medio, durante algo más de 3000 años, sin observarse ningún momento de abandono significativo en el entorno de la Cova del Sardo.

### **3.3.2.3 SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA DE LAS OCUPACIONES NEOLÍTICAS DE LA COVA DEL SARDO**

---

A continuación, pasamos a describir las fases de ocupación antes presentadas, particularmente a partir del análisis arqueológico de las ocupaciones neolíticas documentadas a nivel espacial, en la Cova del Sardo:

#### ***Fase 10. Substrato geológico (c. 16 – 7,6 ka cal BP)***

La fase 10 se corresponde con del techo del nivel geológico que rellenaba el abrigo, a partir de la acción alternante de los dos conos de deyección laterales a la cavidad. Este paquete geológico de relleno de sedimentos fue testado mediante un sondeo de 1 por 2 metros, realizado en la zona central del interior de la cavidad, donde presenta unos 150 cm de

potencia. Se trata de un sedimento de limos y gravas que alcanza el nivel freático del abrigo, donde cambia a un horizonte inorgánico granítico más compacto. Al no haber podido ser datada la base del relleno geológico, suponemos que éste debió formarse entre el Tardiglacial y el Holoceno antiguo (c. 16 - 8 ka cal BP) (Gassiot, 2011).

#### ***Fase 9. Primeras ocupaciones (7,5 - 7 ka cal BP)***

La primera ocupación documentada de la Cova del Sardo, denominada fase 9, fue detectada en torno a un pequeño hogar en cubeta (A-9B1), asociado a escasos materiales líticos tallados, situado bajo la vertical de la cornisa al oeste del abrigo. La cubeta, de 9 cm de profundidad y 30 por 43 cm de diámetro en planta, fue excavada en el paquete geológico (Fase 10) (Figura 3.10). En su interior se documentó la presencia de algunos carbones de pequeño tamaño y restos de color ceniciento asociados a la combustión, así como algunos clastos de granito, colocados en la base del hogar. La escasa cantidad de restos antracológicos fue insuficiente para su análisis estadístico. No se recuperó material carpológico ni fauna. El estudio micromorfológico de la estructura (A-9B1) confirma que se trata de un suelo inorgánico formado por clastos, arenas y limos de descomposición granítica, altamente alterados y lavados por procesos de soliflucción. Puntualmente aparecen restos de polen y microcarbones, así como fitolitos (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015). Esta cubeta (A-9B1) junto a otros niveles efímeros (A-9A1), de escasa entidad sedimentaria, nos permiten definir un episodio inicial (fase 9) de frecuentación del sitio, en el que no hemos podido localizar ni estructuras relevantes ni materiales arqueológicos diagnósticos, como cerámica.

En conclusión, esta primera ocupación del abrigo se define como una presencia humana puntual, de escasa recurrencia y poca entidad, sin asociación clara de material arqueológico. Se asocia con una o pocas frecuentaciones, de escasa entidad, que situamos cronológicamente en 5563 - 5376 cal BP (Tabla 14.1, Figura 3.9).

Hay que destacar que el Abric de les Obagues de Ratera presenta un nivel de ocupación en fechas cercanas (5736-5636 cal ANE), caracterizado por la talla lítica, sin cerámica (Gassiot et al., 2019).

### ***Fase 8. Neolítico antiguo (7 – 6,4 ka cal BP)***

La primera fase de ocupación reiterada del sitio se denomina fase 8 y se localiza inicialmente en el interior del abrigo, en torno a una estructura de combustión (A-8B1), fechada entre 4826 y 4602 cal ANE (Figuras 3.8, 6.5 y 8.4).

Posteriormente, se define un segundo momento de ocupación, algo más reciente, fechado entre 4681 y 4369 cal ANE, en el que parece que la ocupación se traslada a la terraza exterior. En la vertical de la cornisa se situó otra estructura de combustión (A-8B2) fechada entre 4616 y 4450 cal ANE (Figura 3.10 y 8.4). En fechados similares a los del hogar A-8B2, se habilita una gran estructura de combustión (A-8A4), localizada en la terraza inferior Este (Figuras 3.10 y 8.4). La estructura medía aproximadamente 3 x 2 m y se localizaba sobre una zona acondicionada y cerrada con un pequeño muro de 1.4 m de longitud. El paquete de sedimentario que la rellenaba tenía unos 25-30 cm de potencia y estaba compuesto por carbón, cenizas y limos, con clastos y presencia escasa de materiales arqueológicos amortizados, como industria lítica microlaminar o fragmentos de recipientes cerámicos. A partir de la serie de las 4 fechas obtenidas de la estructura, parece que esta pudo ser reutilizada durante algo más de 100 años (Tabla 14.3) (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015).

A diferencia de la anterior fase, en este nivel si aparece material cerámico neolítico (Gassiot et al., 2015), así como industrias líticas microlaminares, especialmente realizadas en sílex de procedencia exógena al Pirineo axial, mayormente de la vertiente norte del Valle del Ebro (Mazzucco et al., 2019). Son ocupaciones que asociamos con un neolítico antiguo final.

Es importante remarcar, a este punto, que de toda el área de estudio (PNAESM) el único yacimiento conocido con ocupaciones, significativas, del V milenio cal ANE (7-6 ka cal BP) es la Cova del Sardo.

### ***Fase 7. Neolítico medio/final (6,2 – 5,3 ka cal BP)***

La fase 7 se define como un continuo de ocupaciones del espacio interior de abrigo y, muy raramente, de la terraza exterior, comprendidas muy probablemente entre el 4229 y el 3375 cal ANE (6,2 – 5,3 ka cal BP) (Figuras 3.9, 6.4 y 8.3). La dinámica de las ocupaciones del sitio en este periodo parece ser recurrente, dada la importante amortización de pequeños fragmentos de fauna consumida en los hogares, realizados en cubetas y localizados en el interior este del abrigo (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015; Mazzucco et al., 2019). En esta fase se documentan continuos acondicionamientos del espacio de hábitat,

siendo difícil la localización de hogares poco estructurados que van cambiando continuamente de localización. Únicamente, el hogar en cubeta A-7B2 fue claramente individualizado y fechado entre 3791 y 3652 cal ANE.

El material arqueológico y la cronología absoluta de la fase nos remiten a un neolítico medio y final (Gassiot et al., 2015; Mazzucco et al., 2019), periodo en el que también se ha documentado una ocupación del Abric de les Obagues de Ratera (4047-3961 cal ANE) (Tabla 14.1).

Un solo yacimiento del PNAESM presenta una datación de este periodo: el Abric de les Obagues de Ratera (4047-3961 cal ANE), aunque de escasa entidad arqueológica.

### ***Fase 6. Neolítico final (5,3 – 5 ka cal BP)***

La fase 6 se corresponde con una única ocupación del sitio que situamos a finales del IV milenio, entre 3371 y 3029 cal ANE. Esta ocupación se estructura principalmente en el exterior del abrigo, bajo una estructura o techumbre de madera y material vegetal, que resultó quemada, conservándose una serie de listones de madera de pino carbonizados, documentados en la terraza exterior éste del abrigo (Figuras 6.3 y 8.2). Bajo esta estructura fueron hallados materiales líticos y cerámicos, tipológicamente del Neolítico final, asociados al suelo de la cabaña, así como escasos fragmentos cerámicos de recipientes de mayor tamaño que los de las fases anteriores (Figuras 3.8, 6.3 y 8.2) (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015). Destaca, de este nivel, el hallazgo de una punta de proyectil de sílex sobre plaqueta procedente del sur de Francia, lo cual apunta a la existencia de contactos o redes de movilidad que podrían incluir también la vertiente norte de los Pirineos (Mazzucco et al., 2019).

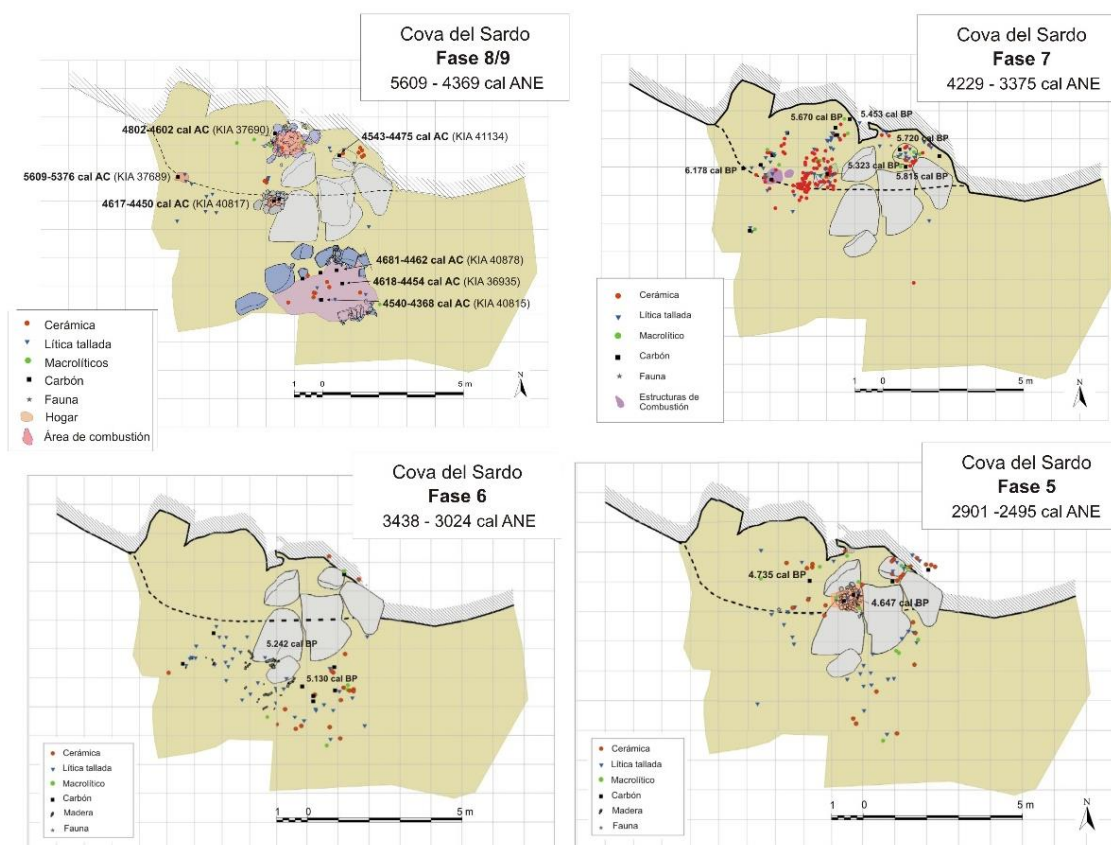
También habría que señalar que en este mismo episodio han sido datados, en fechas plenamente coincidentes, ocupaciones en la Cova del Sardo II (3337 – 3024 cal ANE), situada a 40 m de distancia y en el Abric de l'Estany de la Coveta I (3337-3017 cal ANE), y en fechas algo más recientes el Abric de les Obagues de Ratera (3085-2904 cal ANE) y el Despoblat deth Tuc del Redon (3099-2917 cal ANE) (Tablas 14.1 y 14.3).

Podríamos afirmar, a tenor los datos, que se trata de un momento de intensificación en la frecuentación de abrigos en zonas de alta montaña del Pirineo axial central (Gassiot et al., 2017 y 2019).

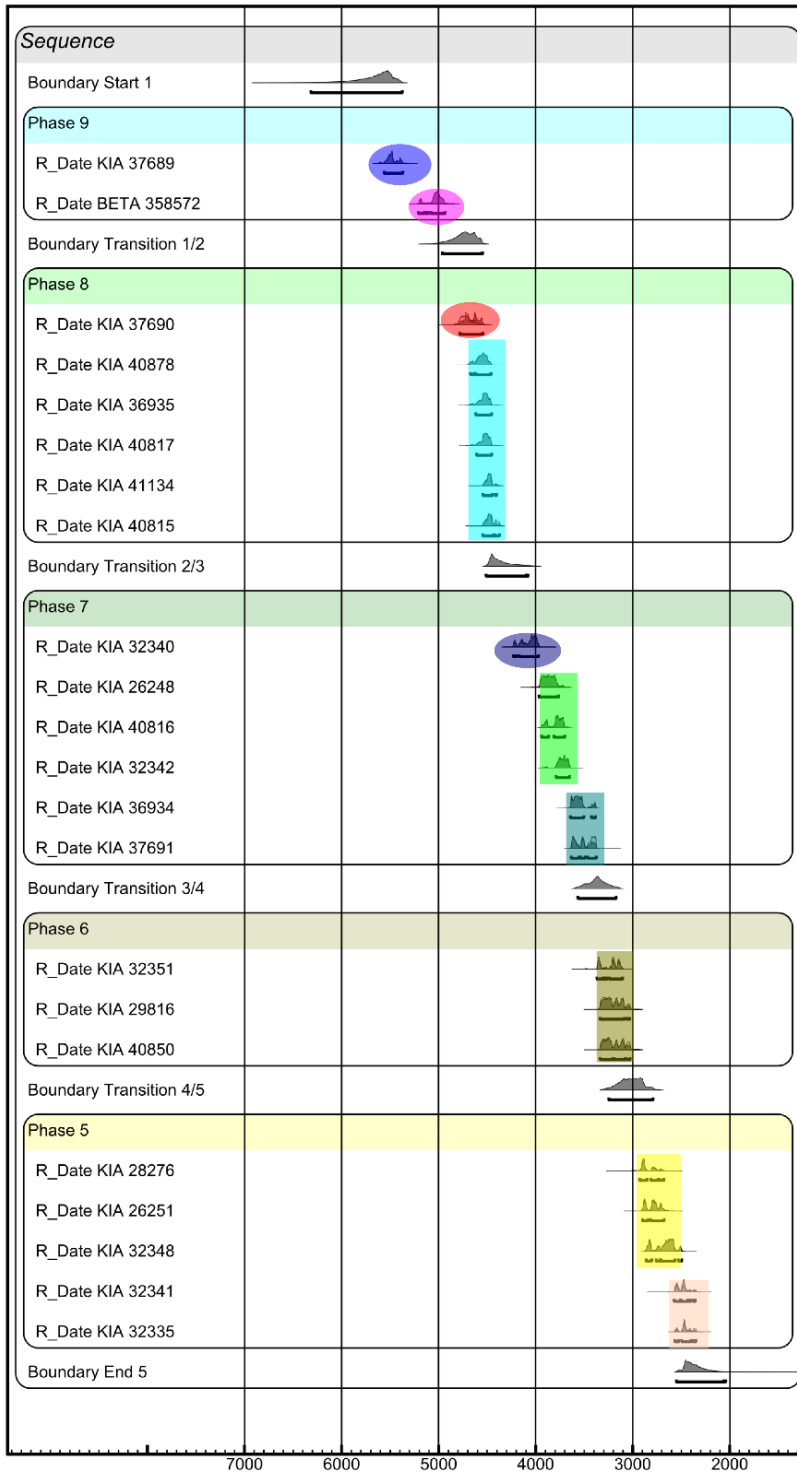
### Fase 5. Calcolítico (4,9 – 4,5 ka cal BP)

La fase 5 es la última ocupación prehistórica del sitio, que podemos situar en la primera mitad del III milenio cal ANE, concretamente en 2901 - 2495 cal ANE (4,9 – 4,5 ka cal BP). Las ocupaciones de esta última fase se focalizan nuevamente en el interior del abrigo, en la zona oriental, en torno a un hogar que es reutilizado durante un lapso de tiempo (A-5B1), y, sobre todo, bajo la cornisa (Figuras 3.8, 6.2 y 8.2) (Gassiot, 2011).

En este periodo (4,9 – 4,5 ka cal BP), continúa de la ocupación de abrigos situados en las inmediaciones del fondo del valle de Sant Nicolau: Abric de les Covetes (2880-2628 cal ANE), Cova de Sarradé (2566-2346 cal ANE); y en los valles más cercanos: Abric del Portarró (3007-2694 cal ANE), Abric de les Obagues de Ratera (2876-2628 cal ANE), Abric del Lac Major de Saboredó (2832-2461 cal ANE) y Coma d'Espós (2886-2666 cal ANE) (Tabla 14.1).



**Figura 3.8. Plantas de las 4 fases principales de ocupación prehistórica de la Cova del Sardo.** Se muestra la distribución espacial de materiales arqueológicos de cada una de las fases de ocupación prehistóricas de la Cova del Sardo. (a) Neolítico antiguo (7,5-6,4 ka cal BP), (b) Neolítico medio/final (6,2 – 5,5 ka cal BP), (c) Neolítico final (5,3-5 ka cal BP), (d) Calcolítico (4,9-4,5 ka cal BP). Para una explicación más detallada consultar el apartado 6.1 (Figuras 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5)



**Figura 3.9. Secuencia de ocupación del curso medio del valle de Sant Nicolau en el Holoceno medio.** Salida gráfica secuenciada por fases, con las curvas de distribución calibradas a 2 sigma, de los 22 fechados radiocarbónicos de la Tabla 14.3, realizada con el programa OxCal 4.3, a partir de la curva de calibración terrestre IntCal13 (Reimer et al., 2013).

### 3.3.2.4 ESTUDIOS ARQUEOBOTÁNICOS DE LA COVA DEL SARDO

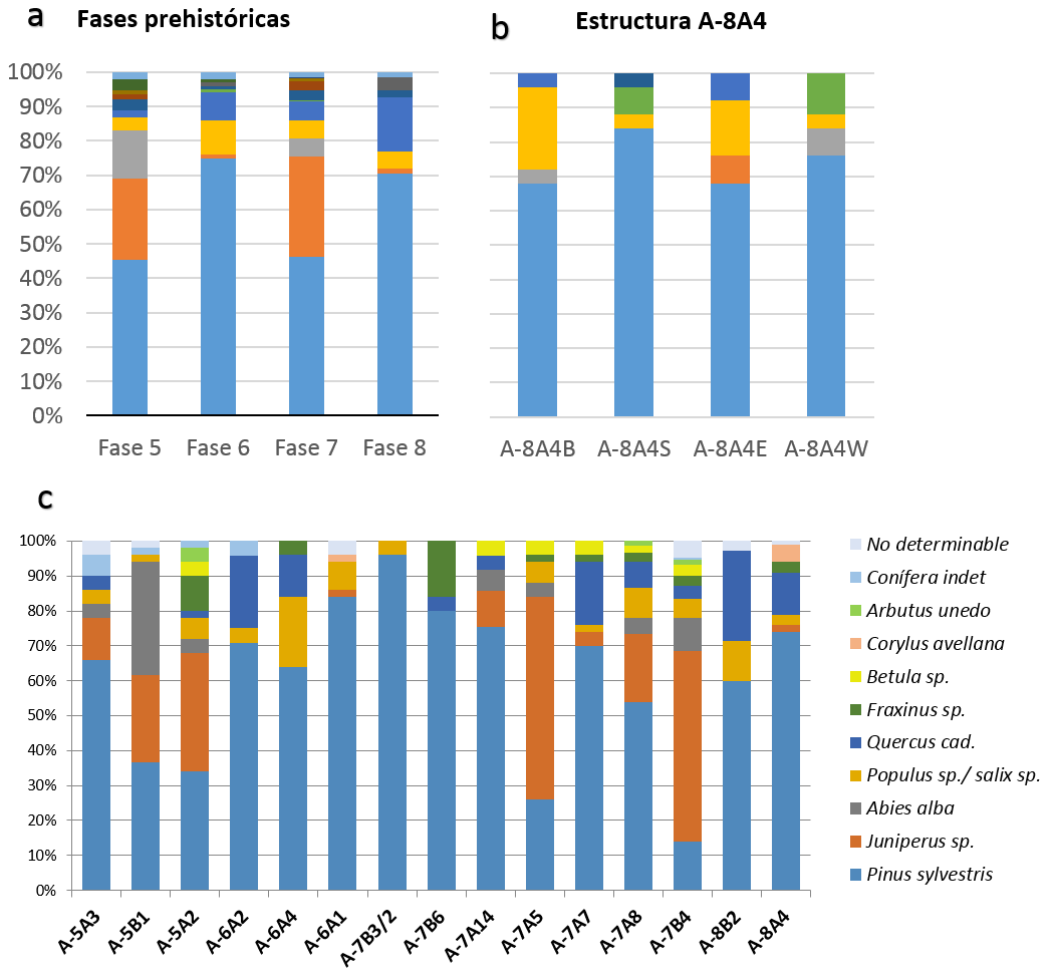
---

La Cova del Sardo ha sido objeto de diversos estudios arqueobotánicos, que han incluido el estudio polínico, de carbones, macrorestos vegetales y semillas, que detallaremos a continuación (Gassiot et al., 2012). Los resultados detallados de los estudios arqueobotánicos publicados de la Cova del Sardo (Gassiot et al., 2012; Obea y Rodríguez-Antón, 2016; Antolín et al., 2018) serán incorporados a la discusión de los resultados e interpretación de esta tesis.

De los resultados del estudio antracológico y carpológico, podemos inferir una elevada correspondencia entre la distribución taxonómica documentada y los diferentes niveles arqueológicos de ocupación de la Cova del Sardo (Figura 3.11) (Obea y Rodríguez-Antón, 2016). Lo que nos ofrece información tanto sobre las prácticas sociales como sobre la distribución de las especies vegetales de plantas leñosas en el entorno del abrigo.

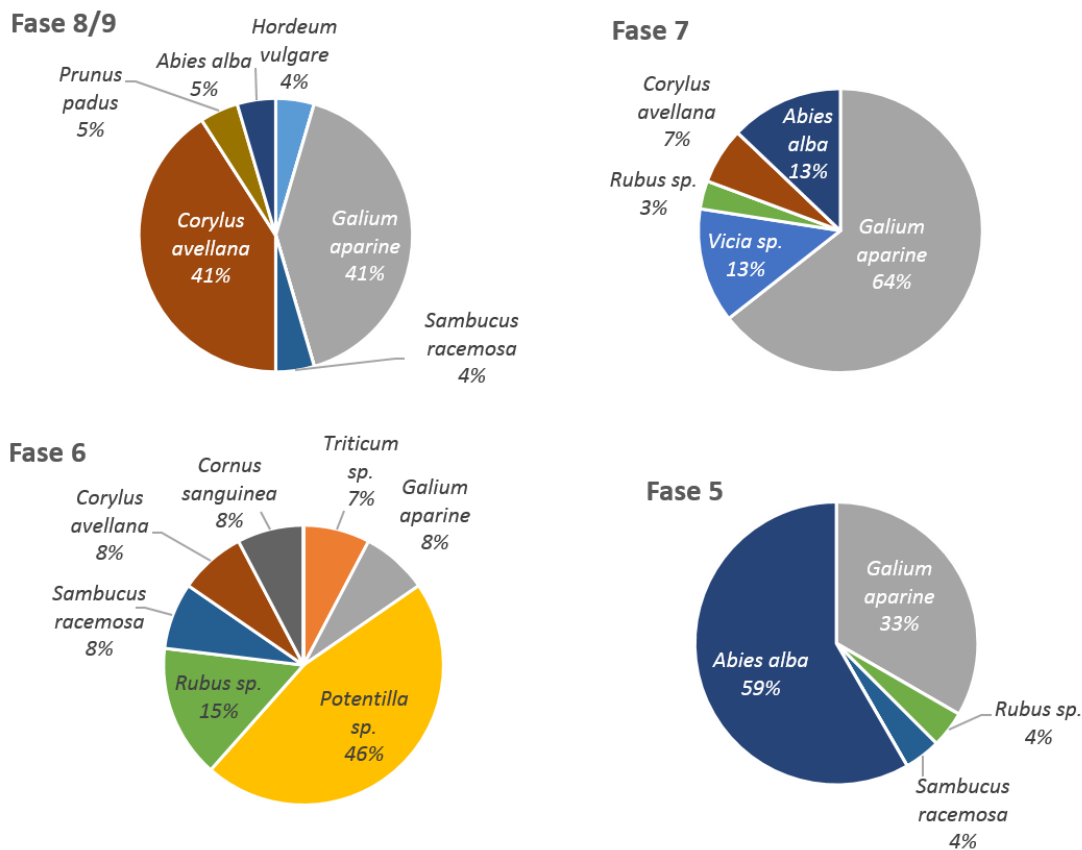
Los resultados han sido interpretados como el producto de una recogida oportunista de la madera usada como combustible, coherente con un cuadro de distribución de las especies de leñosas en el entorno más cercano al yacimiento. Esta imagen podría reflejar tanto modificaciones antrópicas como climáticas en la distribución de las especies de plantas leñosas documentadas en el yacimiento (Obea y Rodríguez-Antón, 2016; Gassiot et al., 2019).





**Figura 3.10. Diagramas de porcentajes de taxones identificados en las UE discutidas de la Cova del Sardo, a partir del conteo y determinación de restos antracológicos.** Analista: Laura Obea (según Obea y Rodríguez-Antón 2016, Figura 4, pg. 120).

Además, se han determinado macrorestos vegetales y semillas carbonizadas de los niveles prehistóricos de la Cova del Sardo. Los resultados confirmarían el consumo de cereales domésticos (*Triticum* y *Hordeum*) así como una modificación en las especies vegetales procesadas en el sitio a lo largo del tiempo (Figura 3.12) (Gassiot et al., 2012; Gassiot et al., 2015; Antolín et al., 2017).



Fase	Hordeum vulgare	Triticum sp.	Galium aparine	Potentilla sp.	Vicia sp.	Rubus sp.	Sambucus racemosa	Corylus avellana	Cornus sanguinea	Prunus padus	Abies alba
8/9	1		9				1	9		1	1
7			20		2	1		2			4
6		1	1	6		2	1	1	1		
5			8			1	1				14

**Figura 3.11. Diagramas de porcentajes de taxones identificados en las fases prehistóricas de la Cova del Sardo, a partir del conteo y determinación de macrorestos vegetales y semillas (Tabla). Analista: Ferrán Antolín (Gasiot et al., 2012: síntesis de la Tabla 1, pg. 39).**

Habría que destacar, además, la aparente secuencia de uso largo o recurrente de algunas estructuras de combustión, como 8A4, que presenta dos niveles claramente diferenciados. En el superior, algo más reciente, se documenta la diversificación de las caducifolias (*Fraxinus*, *Corylus*, *Populus* / *Salix*) y el descenso en el uso de la madera de roble al 4% (Figura 3.11). Esta diversificación de algunas caducifolias oportunistas, como *Corylus avellana*, podría haber sido favorecida por un primer impacto antrópico en el entorno de la Cova del Sardo. De hecho, hay que destacar que del conjunto de macrorestos vegetales determinados de la fase 8 del Sardo, el 41 % son pericarpios de avellana (Figura 3.12) (Gasiot et al., 2012). El otro taxón favorecido por la antropización del entorno podría ser

*Galium aparine*, que representa otro 41 %, y que es una hierba ruderal, típica de lugares antropizados. También ha sido documentado un fragmento de endocarpio de cereza (*Prunus padus*). Un taxón singularmente interesante documentado en el nivel 8 sería la cebada doméstica (*Hordeum vulgare*, var. *nudum*). Un único resto de inflorescencia de cebada desnuda ha sido documentado en este nivel (Figura 3.11), lo que, como mínimo, nos permite asegurar el consumo de cebada por las comunidades neolíticas que ocupan el Valle de Sant Nicolau en el V milenio cal ANE (Gassiot et al., 2012; Antolín et al., 2017).

En los Alpes meridionales occidentales franceses, en Isère, en un pequeño abrigo, l'Aulp-du-Seuil, localizado a 1720 m snm, también se documentan porcentajes similares de restos carpológicos de *Triticum durum/aestivum/turgidum* en niveles del Neolítico antiguo, equivalentes a la fase 8 del Sardo (Martin et al., 2012).

Evidentemente, la presencia de cereales domésticos (*Triticum*, *Hordeum*) en abrigos de alta montaña durante el Neolítico nos invita a formularnos hipótesis sobre su producción y consumo en zonas próximas a estos yacimientos (Gassiot et al., 2012 y 2015; Antolín et al., 2015 y 2018).

De cara cuantificar la magnitud del impacto humano en el entorno del yacimiento, se tratará de evaluar si, en definitiva, era una deforestación menor, localizada alrededor del abrigo, o, por el contrario, si afectaba también al área circundante. Trataremos de inferir, por lo tanto, cuál era la estrategia de modificación ambiental desarrollada por las sociedades neolíticas en este valle de alta montaña, y cuál fue su duración en el tiempo.

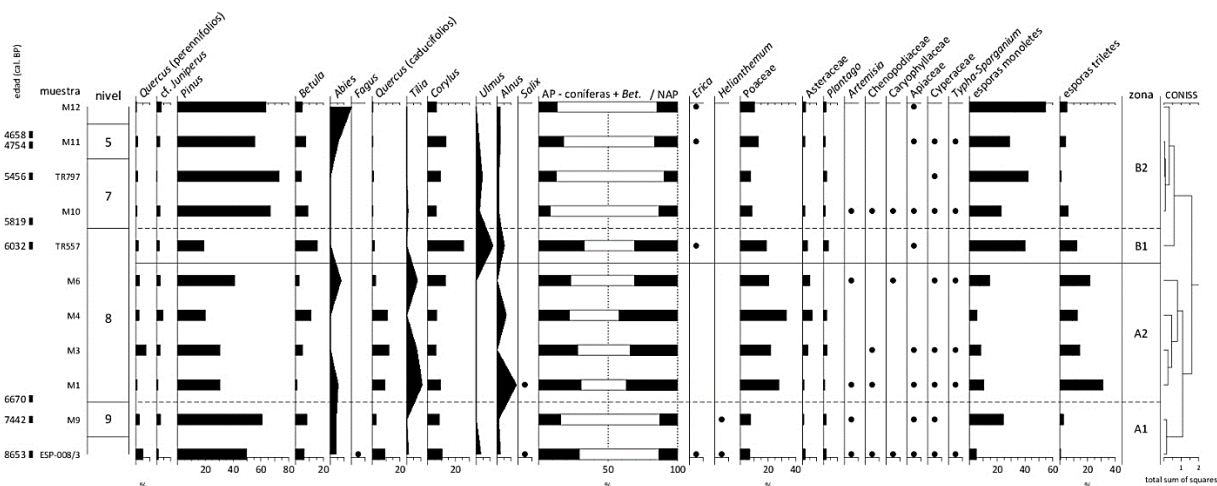
### **3.3.2.5 ESTUDIOS POLÍNICOS DEL VALLE DE SANT NICOLAU**

---

Han sido analizadas 10 muestras procedentes de los niveles prehistóricos de ocupación de la Cova del Sardo, de las cuales 6 proceden de las mismas unidades estratigráficas que algunas muestras de fitolitos que han sido estudiadas en esta tesis (Tabla 14.4). Las muestras cubren la práctica totalidad de las ocupaciones del Holoceno medio, fechadas entre 7563 y 4495 cal ANE (7,5 y 4,5 ka cal BP) (Tabla 14.2).

Además, ha sido analizada una muestra procedente de una fase de ocupación fechada en 7001-6574 cal ANE (9 - 8,5 ka cal BP), del Abric del Estany de la Coveta I (2465 m snm), con

la intención de evaluar los datos polínicos del piso alpino y subalpino superior en el Holoceno inferior final (Gassiot et al., 2012) (Tablas 14.1 y 14. 4).



**Figura 3.12. Diagrama polínico de la Cova del Sardo de Boí y el Abric de l'Estany de la Coveta I.** En el diagrama se muestran los porcentajes de los principales taxones documentados en las 11 muestras analizadas. Además, en el centro de la gráfica se indica la relación porcentual entre el porcentaje polínico de las especies arbóreas (Betuláceas y Coníferas), frente a las no arbóreas (Poáceas y Ciperáceas). Analista: Francesc Burjachs (según Gassiot et al., 2012).

En general, los datos polínicos procedentes de la Cova del Sardo han sido interpretados como indicios de impacto antrópico en el paisaje durante el V milenio cal ANE, recuperándose un paisaje, aparentemente, menos impactado en el entorno del abrigo en las ocupaciones más recientes, del III y IV milenio (Gassiot et al., 2012; Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

No obstante, si comparamos los resultados polínicos de la Cova del Sardo, con la secuencia polínica del Estany Redó de Aigüestortes (Figura 2.25(b)), vemos que podrían haber habido diferentes momentos de cambio en el paisaje vegetal del valle a lo largo del Holoceno medio. Concretamente, se observan alteraciones significativas en 3 momentos: 7ka, 5,7 ka y 4,9 ka cal ANE (Catalan et al., 2001), que se corresponderían con 3 periodos de ocupación de la Cova del Sardo (fase 8/9, fase 7 y fase 5). De hecho, en esta secuencia polínica lacustre, seguramente el momento de mayor apertura del paisaje durante el Holoceno medio se produce durante la fase 7 de ocupación de la Cova del Sardo, en torno a 5,8 - 5,6 ka cal BP,

cuando el porcentaje de *Pinus* se sitúa en un mínimo (alrededor del 50%) y el de *Poaceae* en un máximo (cercano al 10%), de manera continuada.

Si observamos los resultados del estudio polínico de la Cova del Sardo vemos que las 5 muestras procedentes de la fase 8, fechadas en el intervalo 6,8 - 6 ka cal BP, muestran porcentajes de poáceas superiores al 20%, mientras en el resto de la serie se sitúan en torno al 10%. Paralelamente, el polen de *Pinus sylvestris* / *mugo ssp. uncinata*, que es siempre ampliamente predominante en los estudios polínicos lacustres del valle, situándose habitualmente en 60% - 80% (Catalan et al., 2001 y 2013, Valero-Garcés et al., 2017), en estas 5 muestras decae significativamente, a favor de dicotiledóneas caducifolias (*Betula*, *Quercus* y *Corylus*), que aumentan su presencia (Gassiot et al., 2012). Este hecho, normalmente, se explica en el contexto del valle como una respuesta “natural” de la vegetación a los incendios. Éstos afectan más a las coníferas, que son plantas de crecimiento lento, de manera que las dicotiledóneas caducifolias suelen colonizar los espacios alterados o abiertos por el fuego, con cierta rapidez.

Si observamos los datos polínicos del Estany Redó d’Aigüestortes vemos que a lo largo del V milenio cal ANE el porcentaje de *Pinus* varía, con un mínimo en 6,2 ka cal ANE, mientras las caducifolias se mantienen en porcentajes muy significativos: *Corylus* (15%-10%), *Quercus caducifolia* (5-10%), *Betula* (5%-2%) (Catalan et al., 2001). Estos datos relativos al polen de las principales plantas arbóreas son bastante coherentes entre los dos muestreos polínicos comparados (Cova del Sardo y Estany Redó) (Figura 3.13), apuntando a un paisaje en el piso subalpino del valle de Sant Nicolau dominado por *Pinus*, pero con abundantes caducifolias, especialmente, en el fondo del valle (Gassiot et al., 2012).

Si analizamos los datos polínicos del Estany Redó d’Aigüestortes, situado a 2105 m snm, en la cabecera del valle, podrían estar apuntando también a una apertura relativamente significativa del paisaje en torno a 7 ka cal ANE. El porcentaje de Ericáceas pasa de 0 a 1%. Parece un dato poco relevante, pero es un porcentaje importante, si tenemos en cuenta que el porcentaje promedio de la serie es de 0,26%, y que actualmente que el paisaje está moderadamente impactado, se sitúa en 1,25%, siendo el máximo histórico un 2%. La abundancia de ericáceas, que pueden formar brezales, ocupando espacios de bosque abierto o clareado, es un buen indicador de antropización del paisaje vegetal en el piso subalpino (Ninot et al., 2017b).

En cualquier caso, de cara a evaluar una posible apertura permanente del paisaje habría que observar el porcentaje de poáceas, que son la familia más característica de las praderas antrópicas, ya sean de uso ganadero como agrícola. En este caso, los datos polínicos

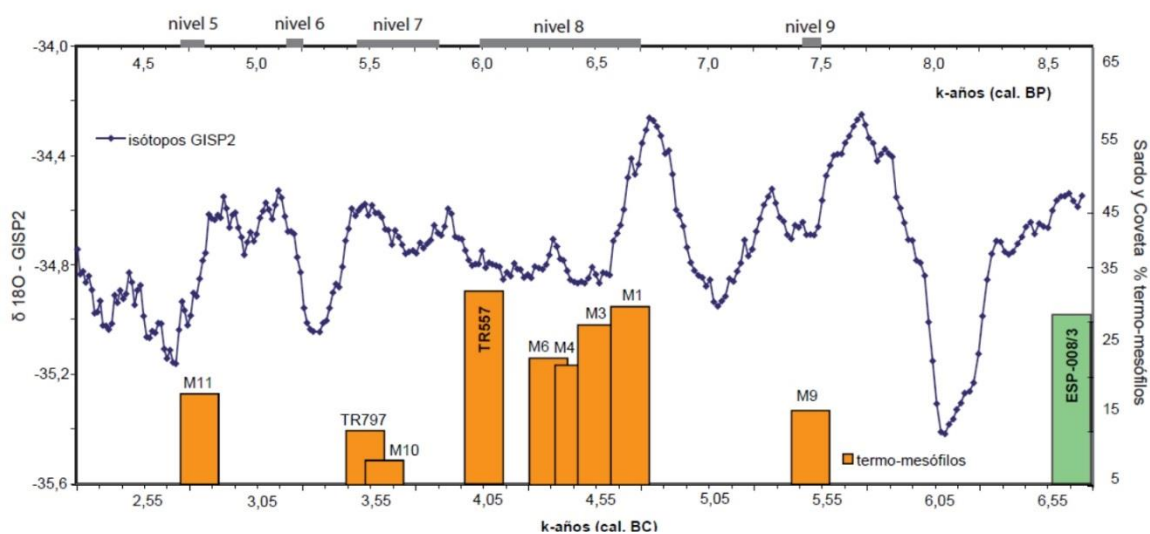
lacustres señalan un ligero repunte, pasando del 3% al 5,5%, acompañado de un aumento en las asteráceas. Ambos indicadores polínicos señalan a una débil señal de aumento de la extensión de las praderas, no una deforestación generalizada.

Si lo comparamos con los resultados de algunas muestras polínicas de la Cova del Sardo, como M3 o M4, procedentes de la terraza inferior (UE A-8A5 y A-8A6), los valores polínicos apuntarían claramente a una apertura de claros, con porcentajes de poáceas superiores al 20%, acompañado de un aumento significativo de *Asteraceae* y *Plantago*. Si tenemos en cuenta que porcentaje polínico promedio de la familia *Poaceae* en el valle durante el Holoceno medio, según el registro del Estany Redó, se sitúa en un 4%; un porcentaje de un 20% es muy indicativo de la presencia de praderas en el piso subalpino.

La explicación más sugerente para estos datos es una cierta deforestación sostenida del fondo del curso medio del valle o, como mínimo, una apertura del entorno forestal del sitio durante la fase 8 de ocupación del yacimiento (Gassiot et al., 2012; Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

Otro resultado relevante del análisis polínico de la Cova del Sardo sería un elevado número y porcentaje de taxones termo-mesófilos en el V milenio cal ANE, en relación con el registro actual documentado en las muestras polínicas de Forcall de Sant Esperit (Figura 3.12).

Entre las especies mesófilas más significativas estaría el roble (*Quercus caducifolia*), que sería característico del piso montano, no del subalpino, en la actualidad. Sin embargo, ha sido documentado en el estudio antracológico, presentando porcentajes de hasta el 25% del combustible en algunas estructuras de combustión de la fase 8 (8B2, 8A4-base). Justamente, su concentración polínica es coherente para dichas muestras (M3 y M4) (Tabla 14.4 y Figura 3.13), junto con otros taxones de plantas dicotiledóneas leñosas, termo-mesófilas (*Alnus*, *Tilia*, *Corylus*). Esta distribución de especies nos estaría señalando a unas condiciones ambientales atemperadas, características del Holoceno Medio (8 – 5,3 ka cal BP) en la zona (Figura 2.23(a)).



**Figura 3.13. Porcentaje de polen de especies termo-mesófilas documentada en el análisis polínico de la Cova del Sardo.** En el diagrama se comparan la variación en el porcentaje de especies termo-mesófilas en relación con la curva isotópica GISP2 (según Gassiot et al., 2012).

### 3.3.2.6 ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN

En general, el uso del asentamiento en torno a la Cova del Sardo se asocia con la gestión ganadera de todas las especies domésticas típicas del Neolítico antiguo (cabras, ovejas, bóvidos y cerdos), que aparecerían representadas en actividades de consumo (Gassiot et al., 2015, Antolín et al., 2018; Tarifa et al., 2018). Algunas actividades de caza y recolección local también han sido documentadas, a partir del análisis tecno-funcional del utillaje lítico (Mazzucco et al., 2019), o del análisis carpológico (Gassiot et al., 2012, Antolín et al., 2018).

La práctica de la agricultura no ha sido documentada *in situ* o en el entorno inmediato del yacimiento, pero sí el consumo de cereales domésticos. Concretamente *Hordeum vulgare* cf. *var. nudum* en la fase 8 y *Triticum aestivum/durum/turgidum* en la fase 6 (Antolín et al., 2018). El análisis funcional de las herramientas líticas también apunta a la reutilización de láminas que en otros momentos del ciclo productivo eran empleadas en tareas de siega (Mazzucco, 2018; Mazzucco et al., 2019).

En conclusión, a partir del estudio arqueológico integral del yacimiento y de su entorno, se infiere una relativa recurrencia en la ocupación del sitio (Gassiot et al., 2015, Gassiot 2016, Mazzucco et al., 2019), dentro de una gestión posiblemente estacional del valle, integrado en un sistema socioeconómico de carácter regional (Mazzucco et al., 2016 y 2018), que incluye la práctica de la ganadería, la agricultura y la recolección de plantas, características del sistema de producción del Neolítico (Gassiot et al, 2012 y 2015; Mazzucco et al., 2016, 2018 y 2019; Antolín et al., 2018). De los estudios realizados no se deduce una especialización productiva concreta en este yacimiento de alta montaña.

Los resultados detallados del estudio arqueológico, y, especialmente, los datos arqueobotánicos serán incorporados a la discusión de los resultados de esta tesis, integrando las diferentes aproximaciones metodológicas a la explicación arqueológica de los contextos de hábitat, producción y consumo, así como del impacto humano en el entorno de la Cova del Sardo.



## 4. FITOLITOS

---

### *Una aproximación metodológica, desde la arqueología*

Se describen los fitolitos, su sistema de clasificación y nuestra aproximación metodológica, desde la arqueología.

Los fitolitos son un microresto biológico habitualmente presente en los sedimentos formados en contextos geológicos con cobertura vegetal, que está siendo empleado en diferentes líneas de investigación científicas, como la paleoecología la arqueología o la geobotánica, desde hace más de 50 años (Twiss, 1992; Rosen, 1994; Piperno, 2006; Albert y Weiner, 2001; Barboni y Bremond, 2009; Zurro, 2011; Albert y Portillo, 2014; Strömberg et al., 2018; Rashid et al., 2019).

No obstante, debemos reivindicar que el estudio de los fitolitos desde una perspectiva eminentemente arqueológica, pero enfocada en la detección de la antropización del paisaje en contextos de alta montaña, es una línea de trabajo escasamente explorada hasta la fecha.

Aunque han sido publicados, recientemente, algunos trabajos científicos, desde enfoques, esencialmente, ambientalistas, sobre la presencia de fitolitos en contextos sedimentarios o pedológicos, en zonas de media o de alta montaña de la región eurosiberiana. Estas investigaciones se realizaron desde una perspectiva ecológica, que no considera el factor antrópico (Carnelli et al., 2004; An et al., 2015; Gavrillov et al., 2018; Li et al., 2018; Gao et al., 2018c).

En esta tesis, por el contrario, presentaremos el análisis de fitolitos en la alta montaña, como un indicador biológico sedimentario de las actividades humanas que modifican el medio ambiente. Describiremos la aproximación metodológica al estudio de los conjuntos de fitolitos existentes en los depósitos sedimentarios y su potencial como herramienta para la reconstrucción de la paleovegetación y de la interacción entre el geosistema y la acción humana en el territorio. Y para ello, utilizaremos una aproximación metodológica arqueológica, que nos permita integrar el análisis de contextos de hábitat con su entorno, en el pasado.

La innovación principal de este trabajo de investigación es la aplicación del análisis de fitolitos en contextos subalpinos, desde una perspectiva esencialmente arqueológica, enfocada al estudio del impacto humano en el paisaje durante la prehistoria.

El diseño de nuestro programa de investigación se basa en la potencial integración comparada de los resultados del análisis de fitolitos, procedente de diferentes tipos de depósitos sedimentarios, con otros indicadores paleoambientales (polen, diatomeas, carbones sedimentarios, materia orgánica, etc.), obtenidos de los mismos depósitos sedimentarios (Figuras 5.12 y 5.14). Esta comparativa nos servirá para interpretar los resultados, validando, falsando o complementando la información ecológica y social, desprendida del análisis de fitolitos.

## **4.1 EL ESTUDIO DE LOS FITOLITOS**

---

El estudio de los fitolitos en sedimentos presenta una problemática específica que debe ser abordada en profundidad y en toda su complejidad, a nivel teórico, metodológico y práctico, de cara a justificar el uso que haremos de estos microrestos biológicos, como indicadores ecológicos y sociales, desde la arqueología (Albert y Portillo, 2014; Ryan, 2014; Rashid et al., 2019).

En las siguientes páginas describiremos, sintéticamente, qué son los fitolitos, porqué se pueden encontrar en los sedimentos y cómo abordaremos desde la arqueología su estudio en esta tesis.

El estudio de los fitolitos comienza a dotarse de una metodología sistemática de análisis y de caracterización morfológica en los años 70 y 80, del siglo XX (Twiss et al., 1969, Powers-Jones et al., 1987; Pearsal 1989). Desde entonces, comienza a verse como una herramienta útil para la reconstrucción de actividades productivas y de cambios en el paisaje, en una doble aplicación científica: arqueológica y paleoambiental (Powers-Jones et al., 1987; Piperno, 1988 y 2006; Pearsal y Piperno, 1993). Será entonces cuando comience a apreciarse su potencialidad tanto en arqueología, para la reconstrucción de diferentes actividades productivas como la agricultura o la ganadería, la paleodieta, o la gestión de las

plantas (Zurro, 2006; Ryan, 2014; Albert y Portillo, 2014; Rashid et al., 2019); como en paleoecología, como herramienta de aproximación para la reconstrucción paleoambiental, de paleopaisajes y paleoclimas (Carnelli, 2002; Delhon et al., 2003; Bremond, 2004; Piperno, 2006; Strömberg et al., 2018). A partir del nuevo siglo la disciplina experimentará un creciente interés en el ámbito académico (Hart, 2016), gracias al desarrollo de nuevas líneas de investigación científica, como la morfometría (Ball et al., 2016) o la tafonomía (Albert et al., 2006; Cabanes et al., 2011; Madella y Lancelotti, 2012), así como un primer sistema de clasificación universal sistemático de morfotipos de fitolitos, denominado *Internation Code for Phytolith Nomenclature* (ICPN 1.0 y ICPN 2.0) (Madella et al., 2005; ICPN 2.0., Neumann et al., 2019). De modo que los análisis de fitolitos han sido empleados en las últimas décadas en diferentes programas de investigación, ya sea específicamente arqueológicos (Albert, 2000; Weisskopf, 2010; Zurro 2010), como explícitamente paleoecológicos (Carnelli, 2002; Delhon et al., 2003; Cordova, 2013; Ball et al., 2016a; Gao et al., 2018), así como en estudios sobre los propios fitolitos, a nivel morfológico (Honaine et al., 2009; Jattisha y Sabui, 2012; Novello y Barboni, 2015; Stevanato et al., 2019).

Para un mayor detalle sobre la historiografía de los estudios sobre fitolitos y su desarrollo como herramienta científica, se pueden consultar las siguientes fuentes (Twiss et al., 1969; Piperno, 1988 y 2006; Rapp y Hill, 1992; Pearsal y Piperno, 1993; Rosen, 1994; Albert y Weiner, 2001; Albert et al., 2003; 2006 y 2018; Zurro, 2006; Madella y Zurro, 2007; Albert y Cabanes, 2008; Barboni y Bremond, 2009; Katz et al., 2010; Strömberg y McInerney, 2011; Madella y Lancelotti, 2012; Madella et al., 2013; Albert y Portillo, 2014; Cabanes y Shahack-Gross, 2015; An et al., 2015; Ball et al., 2016a y 2016b; Strömber et al., 2018; Gao et al., 2018c; Rashid et al., 2019; ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).

Gracias a la correlación existente entre los conjuntos de fitolitos presentes en los suelos y el paisaje vegetal que los produce (Piperno 1988, Pearsal 1989), desde el principio de la disciplina se observó la potencialidad de este indicador para analizar los procesos de antropización del entorno y la transformación de las plantas por la acción humana (Albert y Portillo 2014; Rashid et al., 2019). Sin embargo, los programas científicos y metodológicos capaces de integrar ambos puntos de vista o enfoques en la investigación, el arqueológico y el paleoambiental, realmente escasean en Europa occidental (Delhon et al., 2009), aunque sí están siendo desarrollados en otras regiones (Albert et al., 2018, Esteban et al., 2017b; Gao et al., 2018c).

## 4.2 FITOLITOS

---

### *Formación y definición*

Los fitolitos son microrestos de sílice formados en las plantas. Su tamaño puede oscilar entre 2000 - 2  $\mu\text{m}$  (Piperno, 20006; Strömberg et al., 2018).

Las plantas en vida absorben la sílice (Si) del suelo en forma de ácido monosilícico ( $\text{H}_4\text{O}_4\text{Si}$ ), así como otros minerales presentes en el suelo, junto con el agua. Este ácido monosilícico se deposita en diferentes partes de la planta, principalmente en el tejido epidérmico. A medida que la célula muere, la sílice pasa a rellenar esta célula/s a medida que estas mueren, en forma de dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), parcialmente hidratado. Mediante un proceso de polimerización la sílice primero se gelatiniza, que es cuando adopta la morfología de las células y/o estructura celular y finalmente se silicifica. Dependiendo de las condiciones, esta silicificación puede tener lugar en toda la célula, en las paredes celulares, los espacios intercelulares o silicificar toda una estructura celular compuesta por diferentes celulares. El producto final de estas células o estructuras celulares silicificadas es lo que se conoce como fitolitos (Pearsal y Pinerno, 1993).

Todas las plantas, en condiciones normales, pueden absorber ácido monosilícico ( $\text{H}_4\text{O}_4\text{Si}$ ) del suelo y silicificar parte de sus células, aunque la cantidad de fitolitos que producen no es en ningún caso una constante, ya que puede depender no sólo de la variabilidad taxonómica de cada especie vegetal, sino también de las condiciones ambientales, como el tipo de suelo y la cantidad de sílice disponible, el estrés hídrico o térmico, u otras variables (Piperno, 2006; Zurro, 2006; Strömberg et al., 2018).

La sílice que absorbe la planta también se deposita en los espacios intercelulares, generándose formas atípicas, no morfotípicas de restos de sílice. Estas mineralizaciones habitualmente no aportan información taxonómica sobre las plantas, ya que son irregulares y parciales, y no permiten identificar las partes anatómicas donde se formaron. De modo que podríamos considerarlas "*ruido de fondo*" en los conjuntos de fitolitos fósiles o sedimentarios, por lo que no siempre son contabilizadas o cuantificadas (Zurro, 2006; Rashid et al., 2019). Sin embargo, nosotros si hemos contabilizado todos aquellos

microrrestos de sílice susceptibles de haber formados en las plantas en tanto que en las muestras sedimentarias estudiadas habitualmente los fitolitos aparecen alterados, fracturados, erosionados o en un estado de disolución parcial. Por tanto, hemos contabilizado este tipo de los microrrestos como *indeterminados*. No obstante, los fitolitos indeterminados no han sido incluídos en el análisis morfológico, pero su número se ha utilizado a efectos de estimar la concentración de fitolitos por gramo de sedimento y el índice de alteración tafonómica y disolución de cada muestra.

### 4.3 PROCESOS POSTDEPOSICIONALES

---

Desde el momento que la planta muere, o bien pierde hojas, semillas o frutos, estas partes muertas de la planta se depositan en el suelo, se ven sometidas a procesos de necrólisis, descomposición de sus tejidos orgánicos y desagregación de los fitolitos (Albert et al., 2006; Madella y Lancelotti, 2012; Rashid et al., 2019). Entre que se produce la muerte y descomposición de la planta, hasta que los fitolitos se acaban incorporando al sedimento, tiene lugar un proceso denominado bioestratinomía, que implica la descomposición del tejido vegetal y la incorporación de los fitolitos al suelo. Una vez que los microrestos se depositan en un sedimento, los procesos postdeposicionales continúan dentro del propio suelo. La acción del agua, las raíces de las plantas, los micromamíferos, procesos de hielo/deshielo, gelifración, solifluxión, iluviación y transporte, pueden alterar la composición de los conjuntos originales de fitolitos de un suelo (Cabanes et al., 2011; Madella y Lancelotti, 2012; Strömberg et al., 2018).

El conjunto de procesos geológicos de formación de los depósitos sedimentarios (pedogénesis) puede erosionar los fitolitos (procesos de meteorización), transportarlos verticalmente (percolación) y fracturarlos (Figura 4.1) (Albert et al., 2006; Madella y Lancelotti, 2012). El PH alcalino, los procesos de oxidación o la colmatación del suelo, son fenómenos que pueden transportar, disolver o alterar los conjuntos de fitolitos. Según sean las características del suelo, los fitolitos también pueden filtrarse o mezclarse en diferentes horizontes o estratos indiferenciadamente, por percolación (Strömberg et al., 2018).

La meteorización y disolución de los fitolitos es un proceso que afecta de forma diferente a cada morfotipo, lo que puede alterar la distribución estadística de un conjunto de fitolitos sedimentario, en relación con el conjunto formativo original (Delhon et al., 2003; Bremond et al., 2004). De hecho, estos procesos de disolución o pérdida de fitolitos en los conjuntos sedimentados, parecen afectar de forma diferencial a diversos morfotipos, en función de las condiciones del depósito sedimentario (Cabanés et al., 2011; Cabanés y Shahack-Gross, 2015; Strömberg et al., 2018).

Otro factor a tener en cuenta en los muestreos de fitolitos, especialmente en contextos sedimentarios no estrictamente arqueológicos, es el tipo de suelo y el PH del mismo. Los fitolitos, al contrario que el polen y las esporas, suelen soportar bien las condiciones de acidez en el suelo, así como los procesos de oxidación, incluso con un PH 3 - 4. Por el contrario, sufren procesos de disolución en condiciones alcalinas, por encima de un PH 8 (Strömberg et al., 2008).

En cualquier caso, antes de abordar el estudio y la interpretación de los conjuntos de fitolitos a partir del análisis cuantitativo de sus morfotipos, es necesario conocer la concentración de fitolitos en cada muestra y su estado de preservación (disolución, transporte, fragmentación y erosión). En definitiva, al abordar el estudio de cualquier conjunto de fitolitos procedentes de un suelo, paleosuelo, depósito sedimentario, o estrato arqueológico, es absolutamente imprescindible conocer de forma detallada los procesos de formación del sedimento que estamos estudiando: la pedogénesis del suelo (Hollyday, 1992; Beverly et al., 2018) o la estratigrafía del depósito arqueológico (Harris, 1979; Butzer, 1982).

Las características del nivel de procedencia de la muestra, el tipo de horizonte, la composición del sedimento, su micromorfología y los eventos erosivos o deposicionales que han podido operar en su conformación actual, deben ser justamente evaluadas en el estudio. Es necesario reconstruir la historia de la formación del depósito sedimentario y todos los procesos implicados en su génesis. Sin este conocimiento previo no será posible contextualizar debidamente el conjunto de fitolitos hallado y entender su origen (Strömberg et al., 2018; Madella y Lancelotti, 2012). Sin esta información no podremos contextualizar debidamente los resultados del análisis de fitolitos, ni calibrar el sesgo del conjunto observable, dada la conservación diferencial de morfotipos en función de las condiciones fisicoquímicas de los suelos o la edad de la muestra (Cabanés et al., 2011, Strömberg et al., 2018).

## 4.4 LOS CONJUNTOS DE FITOLITOS SEDIMENTARIOS

---

El proceso de cuantificación de los fitolitos en una muestra de sedimento, implica su observación, conteo y clasificación en morfotipos (Piperno, 1988; Zurro, 2006; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019),

El conjunto de fitolitos presente en un sedimento, es el resultado de la producción, deposición e incorporación al depósito sedimentario de microrestos procedentes de las plantas a lo largo de un tiempo determinado y en unas condiciones, inicialmente, desconocidas (Piperno, 2006; Zurro, 2006; Albert y Portillo, 2014; Rashid et al., 2019). Cuando se analizan los fitolitos de una muestra de sedimento, siempre hay que tener en cuenta, para su posterior interpretación, que en la conformación de todo conjunto de fitolitos han podido intervenir diversos factores sociales, ecológicos y postdeposicionales.

Existen procesos postdeposicionales que han definido qué fitolitos se han podido conservar y en qué proporción, en ese depósito sedimentario, y cuál es la correlación entre éstos biorestos y la vegetación preexistente (Albert y Weiner, 2001; Albert et al., 2006, Cabanes et al., 2011, Madella y Lancelotti 2012, Cabenes y Shahack-Gross, 2015; Strömberg et al., 2018).

Es importante conocer el periodo de formación del depósito (Beberly et al., 2018), pues en una misma muestra podemos tener un conjunto de fitolitos formado en un único proceso de corta duración, como suele suceder en los depósitos arqueológicos (Albert y Weiner, 2001), o bien un gran palimpsesto formados en centenares o miles de años (Strömberg et al., 2018).

El conjunto de fitolitos sedimentario es la unidad de análisis principal (Piperno, 2006; Zurro, 2010), y una interpretación afinada del significado de ese conjunto debe tener presentes todas las variables implicadas en su conformación (formación del suelo, alteraciones postdeposicionales, sesgo en la muestra, duración del proceso de acumulación, etc.). Además, de la geodinámica y geobotánica del medio ambiente (French, 2003; Strömberg et al., 2018).

También hay que tener en cuenta que las plantas producen varios morfotipos distintos de fitolitos en las distintas partes anatómicas de la planta (inflorescencia, tallo, hojas y raíces), o incluso en la misma parte anatómica (Twiss et al., 1969; Piperno, 1988; Rall y Mulholland, 1992). De manera una misma especie de planta produce, en el caso de las poáceas, por ejemplo, no menos de 7 u 8 morfotipos de fitolitos diferentes (Albert y Weiner, 2001; Piperno, 2006; Delhon et al., 2008). Esa es la característica que denominamos multiplicidad: cada planta produce varios morfotipos (Piperno, 2006; Strömberg et al., 2018).

Además, la mayoría de las plantas de una misma familia, o subfamilia, suele producir los mismos morfotipos, en ocasiones en diferente proporción, tamaño o frecuencia (Albert y Weiner, 2001; Carnelli et al., 2004; Cordova, 2013; Novello y Barboni, 2015; Esteban et al., 2017a; Gao et al., 2018a; Lisztes-Szabó et al., 2019). A esta propiedad la denominamos redundancia.

De manera, que es necesario un conocimiento geobotánico de los contextos ecológicos y de la distribución de las formaciones vegetales (fitosociología) en el territorio (Rivas-Marínez, 2005), así como de las colecciones de referencia de fitolitos para cada ecorregión, y en cada caso de estudio, antes de poder asignar, *a priori*, un morfotipo a un grupo taxonómico u otro. Éste, finalmente, se basa en análisis morfométricos y estadísticos, y en base a las colecciones de referencia (Albert y Weiner, 2001).

Una colección de referencia es un conjunto de fitolitos extraído en condiciones de laboratorio directamente de las distintas partes anatómicas de cada planta, seleccionada previamente y clasificada a nivel taxonómico preciso. Este procedimiento nos permite conocer qué fitolitos produce cada grupo taxonómico o cada especie (Albert, 2000; Carnelli, 2002; Stevanato et al., 2019; Lisztes-Szabó et al., 2019). Estos fitolitos extraídos directamente de las plantas, pueden conservar conexiones anatómicas que suelen perderse en el proceso de incorporación de los fitolitos al suelo (Albert, et al., 2006; Madella y Lancelotti, 2012).

Otro factor que debemos tener presente es la productividad de fitolitos de los distintos grupos de plantas, así como su mejor o peor conservación sedimentaria (Carnelli, 2002; Strömberg et al., 2018). No todas las plantas presentan producciones de fitolitos similares, ya que algunos grupos taxonómicos proporcionalmente son buenos productores, como las monocotiledóneas (Bremond et al., 2008) o las palmáceas (Albert et al., 2018) y otros malos productores, como las dicotiledóneas (Lisztes-Szabó et al., 2019) o las coníferas (An, 2016), particularmente las plantas leñosas, no tanto las hojas y frutos (Albert y Weiner, 2011; Strömberg et al., 2018).



En resumen, las gramíneas (plantas de la familia *Poaceae*) son grandes productoras de fitolitos, en relación con su masa total, alcanzando la sílice biogénica entre el 6 y 1 % del contenido de la planta en vida (Albert, 2000; Carnelli, 2002). En todo caso la producción de fitolitos por parte de las poáceas también puede variar en función del clima y de las especies dominantes, siendo generalmente mayor en climas húmedos, subtropicales o templados (Piperno 2006; Albert et al., 2006), y menor en climas boreales (Strömberg 2018). A su vez, las poáceas son las plantas mejor conocidas a nivel microbotánico, ya que al ser de especial utilidad económica para las sociedades han sido estudiadas en mayor detalle, especialmente las especies cultivadas (Pearsal, 1989; Rosen, 1994; Piperno, 2006; Portillo, 2006; Barboni y Bremond, 2009; Ball et al., 2016b). Por su parte, las ciperáceas también presentan elevados índices de producción de fitolitos, e igualmente su estructura silíceo y su producción de determinados tipos de fitolitos han sido estudiadas en detalle (Ollendorff, 1992; Piperno, 2006; Honaine et al., 2009; Stevanato et al., 2019).

Por el contrario, las dicotiledóneas, así como las coníferas (clase *Pinophyta*) son plantas frecuentemente leñosas, cuya producción de fitolitos es entre 16 y 20 veces inferior a la de las monocotiledóneas. Si tenemos en cuenta la baja frecuencia de fitolitos en la madera. Ya que éstos suelen encontrarse en hojas y frutos (Albert, 2000; Albert y Weiner, 2001; Carnelli et al., 2001). Asimismo, los escasos tipos de fitolitos asociados a las plantas dicotiledóneas suelen ser poco diagnósticos a nivel de familia o subfamilia. Es más, la distinción entre fitolitos producidos por dicotiledóneas o por coníferas ha sido planteada a partir de diversas colecciones de referencia de plantas (Carnelli et al., 2001 y 2004; An 2016; Lisztes-Szabó et al., 2019), pero presenta serias dificultades, a nivel interpretativo (Delhon et al. 2003; Bremond et al., 2004; Strömberg 2018).

Una de las aproximaciones metodológicas que han tenido más éxito para poder discriminar a nivel de especie ha sido la morfometría. La aplicación de los estudios morfométricos ha sido especialmente eficaz para mejorar nuestro conocimiento sobre las primeras prácticas agrícolas ya que ha permitido diferenciar entre especies silvestres y domesticadas, y dentro de éstas entre diferentes especies cultivadas (Portillo, 2006; Ball et al., 2016b).

## 4.5 LA CLASIFICACIÓN DE LOS FITOLITOS

---

La manera en que la comunidad científica, representada en el *International Committee for Phytolith Nomenclature* (ICPN), ha desarrollado el sistema de clasificación universal de fitolitos se basa en un orden jerárquico de nomenclatura, según el cual los fitolitos deben nombrarse, en primer lugar, en base a su taxonomía (si se conoce), en segundo lugar, según su anatomía (si se conoce) y finalmente a partir de sus características morfológicas (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019). Por tanto, se tiene en cuenta su origen anatómico en las plantas y se apunta a su recurrencia taxonómica, basada en un conocimiento *a priori* de las floras a nivel geobotánico regional, basado en las diversas colecciones de referencia de fitolitos publicadas hasta la fecha (para una referencia sistemática actualizada, véase Strömberg et al., 2018: 265).

A diferencia de otros restos microbotánicos, como el polen (Moore et al., 1991, Mander y Punyasena 2018) o las diatomeas (Mann 1989, Pla-Rabés y Catalan 2018), para los que existen, desde hace años, colecciones de referencia para las diferentes ecorregiones, así como nomenclaturas taxonómicas linneanas; en el caso de los fitolitos, a día de hoy aún carecemos de un sistema de clasificación binominal diagnóstico, universalmente reconocido.

De cara a solventar la cuestión, el ICPN ha puesto a disposición de la comunidad científica un sistema universal de clasificación y nomenclatura binominal para todos los fitolitos, que hasta el momento describe 14 categorías principales (primer nombre) y 11 subtipos (segunda parte del nombre o adjetivo). El propio ICPN 2.0 permite su ampliación en función de criterios taxonómicos, anatómicos y morfológicos, siguiendo una clara normativa en su nomenclatura (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019). En esta tesis doctoral seguiremos las normas de clasificación del ICPN 2.0, empleando preferentemente (siempre que existan) los tipos y subtipos que ya han sido descritos en este trabajo de referencia (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019). En aquellos casos en que hemos debido incorporar otros subtipos, para poder clasificar mejor algunos morfotipos, hemos empleado los descriptores previstos en el ICPN 2.0, partiendo de su descripción y uso referenciado en la bibliografía consultada más

actualizada (Piperno, 2006; An et al., 2015; Esteban et al., 2017a; Albert et al., 2018; Strömberg et al., 2018; Gao et al., 2018a; Stevanatto et al., 2019).

Una vez resuelto el que sin duda ha sido el “nudo gordiano” del análisis de fitolitos, es decir, su clasificación en una lista definitiva de morfotipos universalmente reconocidos (Tabla 4.1) (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019), ha sido abordado al segundo gran reto metodológico: la interpretación taxonómica de los resultados analíticos de los conjuntos de fitolitos sedimentarios (Tabla 4.2). Dicho, en otros términos: ¿qué significan los resultados del análisis de un conjunto de fitolitos sedimentario en relación a la vegetación?

Para poder abordar estas cuestiones, en primer lugar, debemos poder atribuir cada morfotipo de fitolito a un determinado valor taxonómico, ya sea un clado, una familia, una subfamilia, un género o, en el mejor de los casos, a una especie concreta de planta. En muchos casos, la atribución se limita a los niveles cladísticos superiores, alcanzando la distinción: monocotiledónea / dicotiledónea y la interpretación planta herbácea / leñosa. Aunque para poder llegar a esta interpretación es necesario un conocimiento florístico del contexto y de los resultados de las colecciones de referencia existentes para este tipo de medio ambiente.

Dentro de las plantas herbáceas disponemos de una serie de fitolitos encuadrados dentro de la categoría *Grass silica short cell phytoliths* (GSSCP) (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019), pertenecientes, por definición, a la familia de las poáceas, (Piperno, 2006). Entre las GSSCP es posible, en muchos casos, poder llegar a identificar la subfamilia productora de los diversos tipos de fitolitos dentro de una determinada zona geobotánica, a partir del estudio fitosociológico de las asociaciones florísticas características. Incluso en algunos casos de estudio muy particulares, si existen buenas colecciones de referencia, se puede llegar a conocer la especie o especies productoras de un determinado morfotipo en un contexto arqueológico o etnoarqueológico (Rosen, 1994; Portillo et al., 2006; Tsartsidou et al., 2008; Ball et al., 2016a).

En suma, el análisis de un conjunto de fitolitos procedente de un depósito sedimentario es una muestra que debe ser interpretada en términos ecológicos y sociales, de cara a establecer una interpretación rigurosa, basada siempre en la clasificación taxonómica y anatómica de los fitolitos identificados en ese conjunto.

Posteriormente, se puede realizar un estudio cuantitativo a cada conjunto o a una serie de muestras, ponerlo en relación con datos de referencia de fitolitos procedentes de colecciones de plantas, u otros trabajos (Albert y Weiner, 2001). Pero el punto de partida

del análisis de los conjuntos de fitolitos sedimentarios es siempre la determinación morfológica de cada fitolito y su asignación a un sistema de clasificación, previamente definido (Tabla 6.1) (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).

## **4.6 MORFOTIPOS DE FITOLITOS EMPLEADOS EN ESTA TESIS**

---

### ***Definición anatómica y morfológica***

En esta tesis seguiremos, con las ampliaciones de subtipos aquí descritas, el sistema universal de nomenclatura de fitolitos fijado en el *International Code for Phytolith Nomenclature - ICPN 2.0* (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).

A continuación, pasaremos a enumerar las categorías principales de fitolitos que hemos empleado en esta tesis, describiendo sistemáticamente sus características morfológicas y anatómicas más relevantes.

Discutimos, también, su atribución taxonómica más probable para la ecorregión alpina europea, teniendo en cuenta los estudios de referencia a nivel regional (Albert, 2000; Albert y Weiner, 2001; Carnelli, 2002; Delhon et al., 2003; Bremond et al., 2004; Tsartsidou et al., 2007 y 2008; Lisztes-Szabó et al., 2019); y, especialmente, las especies de plantas características de los biomas de alta montaña, que hemos seleccionado para su análisis detallado a partir del estudio de la colección de referencia de fitolitos en plantas alpinas y subalpinas (Carnelli et al., 2004) (Tablas 5.1 y 5.2).

Tanto los 14 morfotipos identificados más los 4 subtipos se encuentran en la Tabla 4. Cada categoría ha sido nombrada aplicando las normas de nomenclatura (ICPN 2.0. Neumann et al., 2019), de modo que el nombre completo de cada categoría (o subtipo) de fitolito aparecerá siempre en versalitas igual que su acrónimo. Han sido empleadas un máximo de dos palabras (el nombre del morfotipo ya descrito en el ICPN 2.0) y cuando ha sido necesario un adjetivo descriptor (preferentemente el propuesto por el ICPN 2.0) para

identificar cada categoría. Cada morfotipo y subtipo se ha nombrado por su acrónimo utilizando las 3 primeras letras del nombre (Tabla 4.5).

Nombre completo	Acrónimo	Referencia
BLOCKY	BLO	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
BULLIFORM FLABELLATE	BUL_FL	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
POLYGONATE	POL	Bujan, 2013
TRACHEARY	TRA	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
SPHEROID	SPH	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
ACUTE	ACU	Albert, 2000
ACUTE BULBOSUS	ACU_BUL	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
ACUTE BASE	ACU_BAS	Albert, 2000
PAPILLATE	PAP	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
PAPILLATE CONICAL	PAP_CON	Stevanato, et al., 2019
ELONGATE ENTIRE	ELO_ENT	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
ELONGATE SINUATE	ELO_SIN	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
ELONGATE DENTATE / DENDRITIC	ELO_DET	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
SADDLE	SAD	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
CROSS	CRO	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
BILOBATE	BIL	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
CRENATE	CRE	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
TRAPEZOID	TRA	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019
RONDEL	RON	ICPN 2.0, Neumann et al., 2019

**Tabla 4.1. Lista de 19 tipos de fitolitos identificados en esta tesis.** En la tabla se muestran los nombres originales y acrónimos de los 19 morfotipos utilizados en este trabajo, descritos según la norma del ICPN 2.0, Neumann et al., (2019).

## **BLOCKY (BLO)**

Incluye una serie de fitolitos masivos y muy compactos. Su tamaño más común oscila entre 200 y 20  $\mu\text{m}$ .

Aunque morfológicamente pueden distinguirse en varios subtipos: BLOCKY PARALLELEPIPEDAL (*Block ridged*, según Carnelli 2002) y BLOCKY POLYHEDRAL (*Polihedral cell*, según Carnelli 2002), su distinción no ha sido posible en todos los casos, por lo que los hemos presentado agrupados en un único morfotipo: BLOCKY (Figura 4.1) (según ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Las BLOCKY suelen encontrarse en las cortezas de plantas leñosas dicotiledóneas (Albert y Weiner, 2001; Carnelli, 2002; Lisztes-Szabó et al., 2019). A partir del análisis de las colecciones de referencia para la zona bioclimática de nuestra área de estudio hemos asociado las BLOCKY, a nivel taxonómico, principalmente, con plantas dicotiledóneas, aunque también pueden encontrarse en pequeñas cantidades en monocotiledóneas (Carnelli et al., 2004; Tsartsidou et al., 2007 y 2008; Lisztes-Szabó et al., 2019).

Por lo tanto, en esta tesis, a nivel de interpretación, les hemos asignado, en conjunto, un valor taxonómico equivalente a *Dicotyledoneae / Pinophyta*, salvo en el caso de las BLOCKY POLYGONAL. Hemos distinguido BLOCKY POLYGONAL del resto de subtipos de BLOCKY a nivel interpretativo, dado que es producida, abundantemente, por plantas dicotiledóneas de la familia de las ericáceas (*Ericaceae*) (Carnelli et al., 2004 y Buján 2013) (Figura 4.1, Tabla 4.2), aunque en porcentajes menores, también por otras plantas familias de dicotiledóneas, como *Betulaceae (Corylus)*, *Fagaceae (Fagus)* o *Rosaceae (Sorbus)* (Tsartsidou et al., 2007; Lisztes-Szabó et al., 2019); todas ellas presentes en nuestro caso de estudio. De modo que les hemos asignado una atribución taxonómica equivalente a *Dicotyledoneae / cf. Ericaceae*.

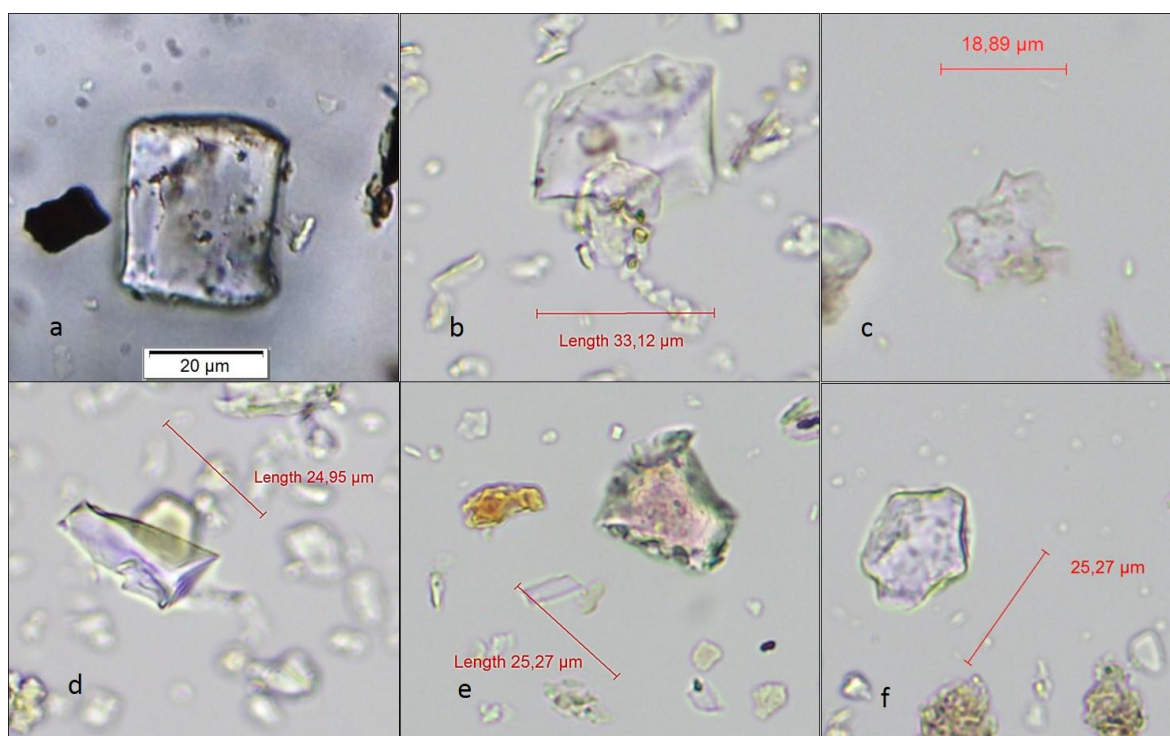
## **POLYGONAL (POL)**

Se trata de estructuras multicelulares epidérmicas descritas en la bibliografía como *Jigsaw* (Piperno, 2006). Según trabajos de referencia realizados tanto en zonas bioclimáticas eurosiberianas atlánticas como mediterráneas de la Península Ibérica, las POLYGONAL multicell (Figura 4.1) son fitolitos característicos de la familia de las ericáceas (Buján, 2013), aunque también puede presentar frecuencias importantes en las betuláceas (Lisztes-Szabó et al., 2019), por lo que podría ser diagnóstica de ambas familias de dicotiledóneas.

A partir de la colección de referencia, observamos que, efectivamente, el morfotipo POLYGONAL presenta porcentajes elevados (8 - 37%) en las 5 especies más comunes de ericáceas descritas para las montañas alpinas europeas, documentadas en nuestro caso de estudio (Ninot et al., 2017b).

No obstante, las POLYGONAL también aparecen representadas en la producción de fitolitos de otras leñosas dicotiledóneas, como las betuláceas (3,6%) (Tabla 5.2), por lo que su adscripción a las ericáceas, como es habitual en el análisis e interpretación de los conjuntos de fitolitos debemos estimarla en términos cuantitativos. Ya que en otros trabajos de referencia su producción asciende al 22%, en especies como *Corylus avellana* (Lisztes-Szabó et al., 2019), común en nuestra zona de estudio (Carrillo y Ninot, 1992).

En consecuencia, en esta tesis asociamos el morfotipo POLYGONAL (*multicell*) particularmente con las plantas dicotiledóneas, especialmente de las familias *Ericaceae* y *Betulaceae*, que son las más comunes en nuestra zona de estudio.



**Figura 4.1. Microfotografías de fitolitos de los morfotipos BLOCKY, BULLIFORM FLABELLATE y POLYGONAL.** La microfotografía (a) ha sido realizada con un microscopio Leica DM2500 a 400 aumentos. El resto de microfotografías han sido realizadas con un microscopio Olympus B83 a 400 aumentos. (a) BLOCKY PARALLELEPIPEDAL; (b,d) BLOCKY POLYHEDRAL; (c) POLYGONAL; (e, f) BULLIFORM FLABELLATE.

## **BULLIFORM FLABELATTE (BUL\_FLA)**

Se caracterizan por una forma cuneiforme, con dos líneas de contorno cóncavas, en forma de cuña. Son fitolitos grandes y masivos que miden entre 30 y 200  $\mu\text{m}$ .

Son un tipo de célula masiva, característica de las hojas de plantas monocotiledóneas, particularmente comunes en las familias *Cyperaceae* y *Poaceae*.

Hay diversos estudios de morfometría que permiten asignar algunas BULLIFORM FLABELATTE con ciertas familias o incluso especies. Sin embargo, en nuestro caso de estudio son poco frecuentes y no han sido distinguidas entre las dos principales familias que las producen (Gao et al., 2018a).

## **TRACHEARY (TRA)**

Son silicificaciones de células o tejidos vasculares o conductores. Se trata de silicificaciones, habitualmente incompletas, de canales o vasos de las plantas vasculares. Sus tamaños y formas son muy variables (Figura 4.2).

El morfotipo TRACHEARY (Figura 4.2) ha sido subdividido en 3 categorías TRACHEARY ANNULATE, TRACHEARY PITTED y TRACHEARY BORDERED (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).

No obstante, en esta tesis las hemos agrupado en una única categoría general, TRACHEARY.

La silicificación de las traqueidas es más frecuente en las plantas leñosas que en las herbáceas, y en las coníferas y dicotiledóneas respecto a las monocotiledóneas, por lo que son un morfotipo muy característico en las hojas de plantas dicotiledóneas, coníferas, aunque algunos tipos también son producidos por algunas monocotiledóneas (Piperno 2006; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

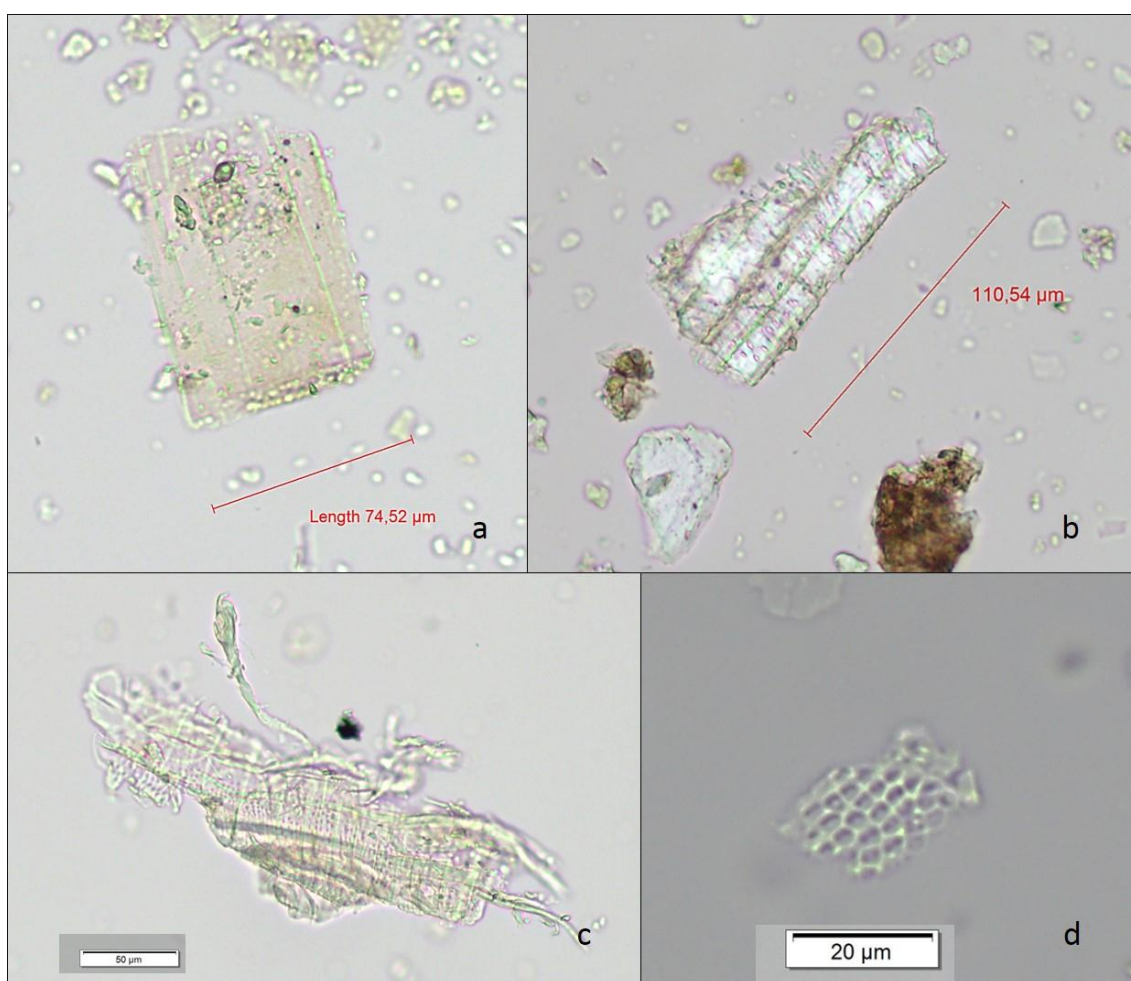
TRACHEARY PITTED han sido descritas en varias colecciones de referencia (Carnelli, 2002; An, 2016; Gao et al., 2018b) y se suelen asociar con plantas leñosas de clase *Pinophyta*, usualmente, coníferas (Stömberg et al., 2018) (Figura 4.2).

A partir de las muestras de fitolitos extraídos de las plantas de referencia (Tabla 5.1) (Carnelli et al., 2004) podemos afirmar que el morfotipo TRACHEARY PITTED, denominado: *Blocky polyhedrons transfusión cells often pitted* (según Carnelli 2002), es característico de la



familia *Pinaceae*, particularmente de las hojas o agujas de coníferas. Su producción supone el 36 % de los fitolitos en *Pinus mugo* y el 18% en *Abies alba* (Tabla 5.2).

La diferenciación entre plantas leñosas coníferas (*Pinophyta*) y caducifolias (*Dicotyledoneae*), teóricamente sería posible a partir de estos dos subtipos de (TRACHEARY PITTED Y TRACHEARY BORDERED), según las colecciones de referencia extraídas de las plantas recolectadas a tal fin en condiciones de laboratorio (Carnelli et al., 2004, An 2016). Pero su preservación en los conjuntos de fitolitos que hemos observado, es extremadamente rara.



**Figura 4.2. Microfotografías de diversas estructuras vegetales silicificadas y multicell.** (a), ELONGATE ENTIRE (*Multicell*), (b) TRACHERY PITTED. (c, d) Estructuras vegetales de sílice no determinadas.

## SPHEROID (SPH)

Se trata de células de sílice de forma esférica, globular o ligeramente elipsoidal, de pequeño tamaño: entre 3 y 30  $\mu\text{m}$  (Figura 4.3).

Han sido diferenciadas en 3 categorías: SPHEROID ECHINATE; SPHEROID PSILATE y SPHEROID ORNATE (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

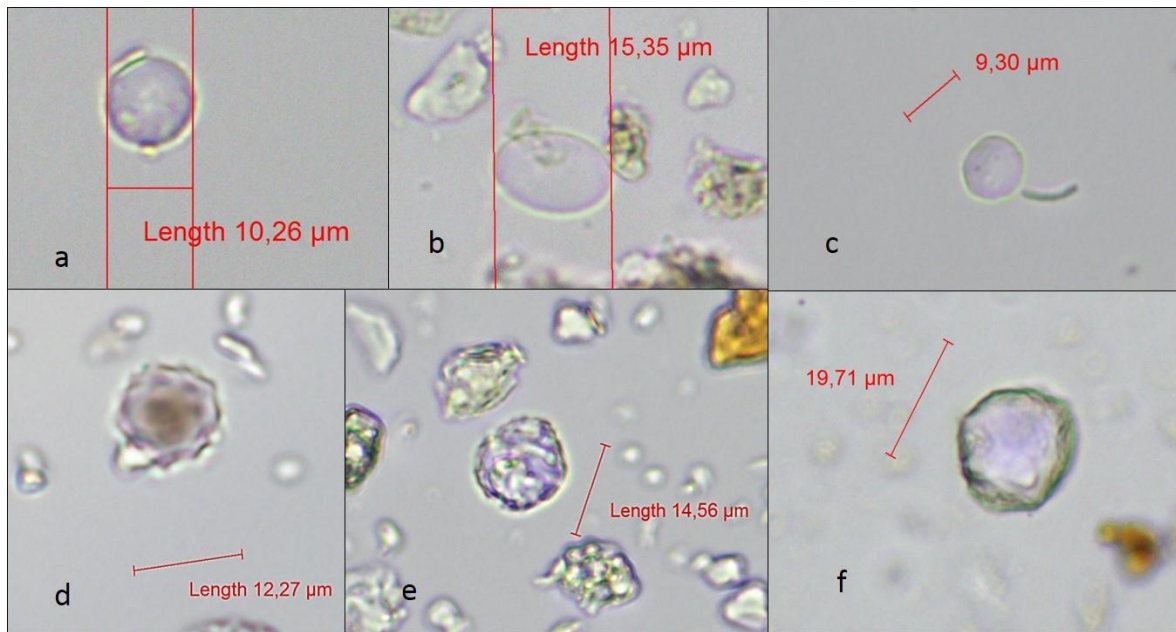
Pero en nuestro caso de estudio, la distinción de diferentes subtipos de SPHEROID no ha sido operativa, por lo que aparecen agrupadas en un único morfotipo.

Las SPHEROID son un morfotipo indiscutiblemente asociado, en floras mediterráneas, con la producción de fitolitos en el tronco y corteza de plantas leñosas, especialmente dicotiledóneas, pero también son producidas por las coníferas (Albert, 2000; Albert y Weiner 2001; Delhon, 2001; Delhon et al., 2003; Carnelli et al., 2004; Bremond et al., 2004; Tsartsidou et al., 2007 y 2018; Lisztes-Szabó et al., 2019).

Se ha propuesto la posibilidad de diferenciar entre coníferas y dicotiledóneas a partir de este morfotipo, mediante la cuantificación de un subtipo denominado, *spherical with sockets*, característico de las coníferas (según Delhon, 2001 y Delhon et al., 2003). No obstante, esta categoría ha sido cuestionada por otros autores (Bremond et al., 2004). En nuestro caso de estudio, resulta muy difícil distinguir entre una SPHEROID ORNATE y el subtipo en discusión, ya que las características de conservación diferencial, erosión o alteración frecuente en los fitolitos, hacen poco operativa la diferenciación. Ambos subtipos, SPHEROID PSILATE y SPHEROID ORNATE, han sido identificados en la colección de referencia en las hojas y cortezas de *Abies alba* y *Pinus mugo*, las dos coníferas más comunes a nuestro caso de estudio (Tablas 5.1 y 5.2). Esta producción ha sido confirmada en nuevas colecciones de referencia para ambas especies en Europa, por lo que sería una información consolidada (Lisztes-Szabó, 2019).

Con los datos de referencia actualmente disponibles no podemos asociar ninguno de los subtipos con una clase u otra, por lo que, en este trabajo, todas las SPHEROID han sido atribuidas indiferenciadamente al grupo *Dicotyledoneae / Pinophyta*, en un único morfotipo.

Además, hemos podido documentar que la diferenciación de las SPHEROID en los dos subtipos propuestos, SPHEROID PSILATE y SPHEROID ORNATE, puede deberse tanto al estado de silicificación inicial del cuerpo celular, como a procesos postdeposicionales de disolución, por lo que, a nivel de interpretación, en nuestro caso de estudio, son realmente equivalentes (Figura 4.3).



**Figura 4.3 Microfotografías de fitolitos del tipo SPHEROID.** Las microfotografías han sido realizadas a 600 aumentos con un microscopio Olympus B83. (a,b,c) SPHEROID PSILATE: muestras procedentes del estrato A1 del Forcall de Sant Esperit - AS 2, datadas en 858-988 cal DNE. (e,f) SPHEROID ORANTE; (d), SPHEROID ECHINATE: muestras fechadas en el Holoceno medio (5,2 - 7,2 ka cal BP). En este caso podemos observar que las SPHEROID más antiguas parecen estar más erosionadas o disueltas que las más recientes.

## ACUTE (ACU)

Las ACUTE son células epidérmicas, también denominadas en la bibliografía pelos (*Hair cells*) (ICPN 1.0, Madella et al., 2005). Su tamaño puede oscilar entre 25 y 150 µm (Figura 4.4).

Son de difícil asignación taxonómica, ya que puede ser producidos tanto por plantas monocotiledónas como dicotiledóneas, por lo que su valor taxonómico es muy limitado (Albert, 2000; Carnelli, 2002)

Si tenemos en cuenta las especies de plantas que hemos seleccionado de la colección de referencia de fitolitos en plantas analizada (Carnelli et al., 2004) (Tabla 5.2), apreciamos que los porcentajes del tipo ACUTE (Figura 4.4) podrían alcanzar índices significativos en dos de las especies dominantes de ericáceas de nuestra zona de estudio: *Rhododendron ferrugineum* (9,7%) y *Calluna vulgaris* (6,7%), así como en otras dicotiledóneas. No obstante, la imposibilidad de diferenciar entre subtipos de ACUTE característicos de las

dicotiledóneas de otros típicos de las monocotiledóneas, a partir de las colecciones de referencia, aporta poco valor diagnóstico a este morfotipo. La presencia de este ACUTE, genérico de pelos y grandes tricomas, en las monocotiledóneas de la subfamilia *Pooideae*, discutidas en este trabajo es ligeramente inferior en las especies *Nardus stricta* (3,7%) o *Poa alpina* (3,1%), aunque podría situarse en porcentajes muy significativos, entre 6% y 12%, en el género *Festuca* (Tabla 5.2).

Dada la mayor productividad de fitolitos de las monocotiledóneas, respecto a las dicotiledóneas (Strömberg et al., 2018), y de las praderas de herbáceas respecto a los brezales de ericáceas (Carnelli 2002), es evidente que no podemos asociar este morfotipo a ningún grupo taxonómico en particular. No obstante, el porcentaje elevado del morfotipo ACUTE podría ser indicativo de paisajes abiertos o deforestados, tanto de ericáceas como de diversas herbáceas, grupos taxonómicos donde este morfotipo aparece más representado, siendo muy raro en las plantas arbóreas, consideradas en el estudio.

### **ACUTE BASE (ACU\_BAS)**

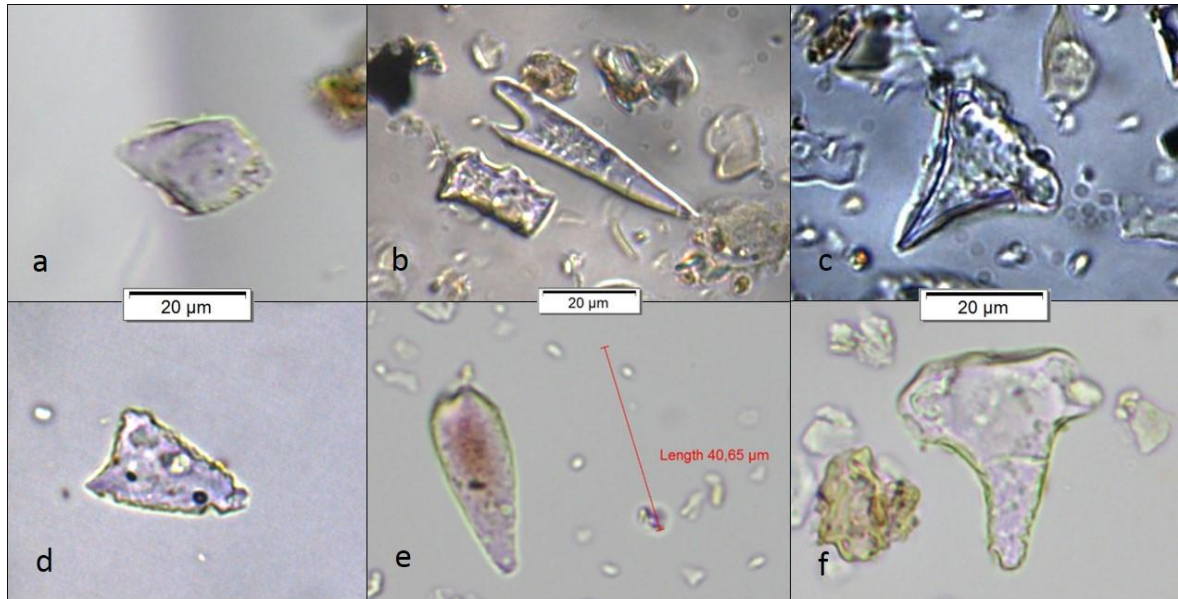
ACUTE BASE: bases de pelos (*Hair base*) (ICPN 1.0., Madella et al., 2005), cuyo tamaño suele oscilar entre 15 y 50  $\mu\text{m}$  (Albert, 2000).

Las ACUTE BASE HAN podido ser asociadas, de forma indiscutible a las plantas dicotiledóneas (Albert, 2000), por lo que su presencia en las muestras estudiadas sería indicativa, probablemente, de las familias de dicotiledóneas dominantes en nuestra zona de estudio, *Ericaceae* y *Betulaceae*, principalmente.

### **ACUTE BULBOSUS (ACU\_BUL)**

ACUTE BULBOSUS: frecuentemente denominados tricomas, cuyo tamaño suele oscilar entre 25 y 5  $\mu\text{m}$  (Albert, 2000; Carnelli, 2002) (Figura 4.4)

Las ACUTE BULBOSUS son características de las familias *Poaceae* y *Cyperaceae* (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).



**Figura 4.4. Microfotografías de diversos tipos de fitolitos de la categoría ACUTE.** (a,d) ACUTE; (b,c,e,f) ACUTE BULBOSUS. Las microfotografías han sido realizadas a 600 aumentos con un microscopio Olympus B83.

### **PAPILLATE (PAP)**

Se trata de un morfotipo conformado por una base amplia, de 8-25 µm, de diámetro, pero acabado en una protuberancia apuntada, de 3-8 µm, de altura, situada en la zona central de la estructura (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019)

Se caracteriza por mostrar una superficie irregular en su base, de pequeño tamaño (10 - 20 µm) y una protuberancia central característica, terminada en punta, de 3-6 µm de altura respecto a la base (Piperno, 2006; Ball et al., 2016a; Babot et al., 2017; ICPN 2.0., Neumann et al., 2019) (Figura 4.5).

El tipo PAPILLATE es típico de las inflorescencias de gramíneas, por lo que lo hemos atribuido taxonómicamente a las *Poaceae* (Piperno, 2006; Portillo, 2006; Babot et al., 2017).

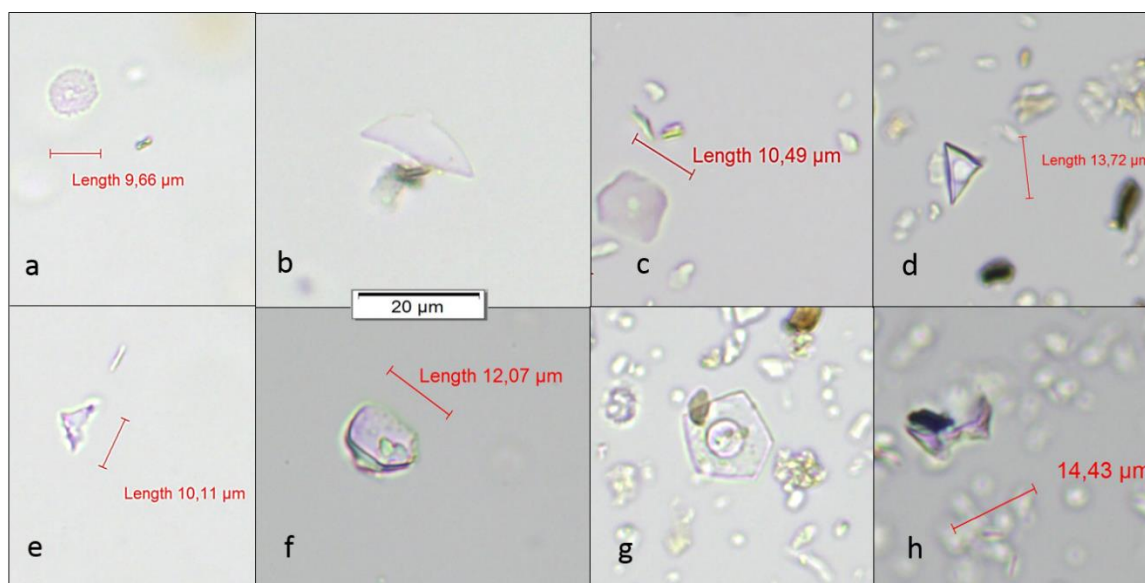
### **PAPILLATE CONICAL (PAP\_CON)**

**PAPILLATE CONICAL:** Se caracteriza por una base ovalada o hexagonal, algo más regularizada, que puede presentar pequeñas bulbosidades. La protuberancia se localiza siempre en el centro, presentando una forma más o menos cónica. Su tamaño suele oscilar entre 8 y 25

$\mu\text{m}$  en la base y 3-8  $\mu\text{m}$  de altura del cono, siendo generalmente, algo mayores que el tipo de PAPILLATE, antes descrito (Ollendorf, 1992; Piperno, 2006; Honaine et al, 2009; Stevanato et al., 2019) (Figura 4.5).

Por su parte, PAPILLATE CONICAL, es un fitolito producido por plantas de la familia *Cyperaceae* (Ollendorf, 1992; Piperno, 2006; Honaine et al, 2009; Stevanato et al., 2019).

Se ha documentado su frecuencia entre las ciperáceas subalpinas analizadas en la colección de referencia el género *Carex* (80 - 50%), común en nuestra zona de estudio (Tabla 5.2). Se trata, por tanto, e indiscutiblemente, del morfotipo dominante y diagnóstico de la familia *Cyperaceae*. Aunque su conservación diferencial en depósitos sedimentarios suele ser poco frecuente (Albert, et al., 2018).



**Figura 4.5 Microfotografías de PAPILLATE, PAPILLATE CONICAL y RONDEL.** Las microfotografías han sido realizadas a 400 aumentos con un microscopio Olympus B83.

### **ELONGATE ENTIRE (ELO\_ENT)**

ELONGATE ENTIRE se caracterizan por presentar una forma alargada delimitada por dos líneas de contorno claramente paralelas. Se trata de un tipo de fitolitos alargado, a veces de sección triangular o rectangular (no trapezoidal) y otras de sección cilíndrica. Sus tamaños son

extremadamente variables, desde 10-20  $\mu\text{m}$  de largo, hasta 100-400  $\mu\text{m}$  (ICPN 2.0., Neumann et al., 2019) (Figura 4.6).

Se trata de un morfotipo extraordinariamente frecuente y resiliente en los depósitos sedimentarios que presentamos en este trabajo.

En general, su valor diagnóstico es bajo, pudiendo ser producidos por plantas monocotiledóneas y coníferas (Carnelli et al., 2001 y 2004; An et al., 2016). En asociación con otros factores ha sido interpretado como marcador de ciperáceas, respecto a las poáceas (Albert et al., 2018).

### **ELONGATE SINUATE (ELO\_SIN)**

El morfotipo ELONGATE SINUATE (ELO\_SIN) se define como una célula larga de tamaño muy variable (20 - 200  $\mu\text{m}$ ), compacta y de base triangular o rectangular. No debe confundirse con el morfotipo CRENATE, de base trapezoidal y generalmente más pequeño (20-60  $\mu\text{m}$  de largo) (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019) (Figuras 4.6 y 4.8).

Las ELONGATE SINUATE son fitolitos producidos de la epidermis de las hojas e inflorescencias de plantas monocotiledóneas de las familias *Poaceae* y *Cyperaceae* (Rosen, 1994; Portillo, 2006; Piperno, 2006; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

### **ELONGATE DENTATE / DENDRITIC (ELO\_DET)**

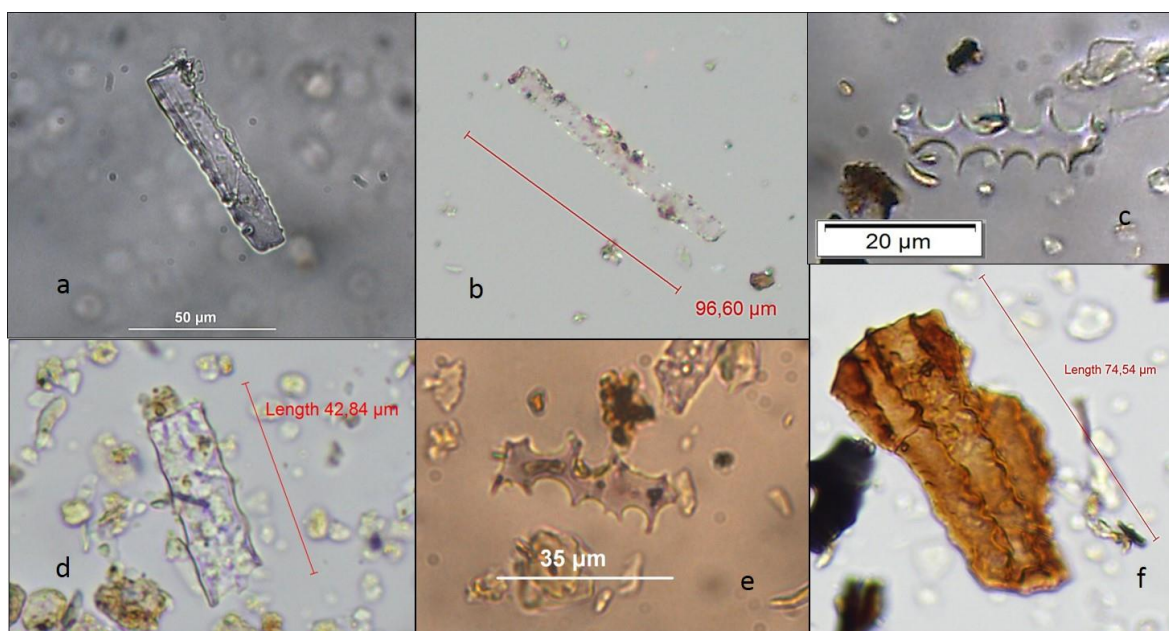
Células largas de entre 20 y 250  $\mu\text{m}$  de longitud, de sección normalmente plana, triangular o rectangular, que presentan al menos una de sus dos caras con una serie continuada y regular de dientes de sierra de tamaño y formas variables (Figura 4.6) (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Son características de las inflorescencias de las plantas gramíneas, por lo que las hemos asignado a la familia *Poaceae*.

Las ELONGATE DENDRITIC son una variedad de dentadas, multidentadas o ramificadas. De sección normalmente plana, triangular o rectangular, presentan al menos una de sus dos caras con una serie continuada dentada con ramificaciones. Su tamaño es muy variable, entre 15 y 120  $\mu\text{m}$  de longitud (Rosen, 1994; Portillo, 2006; Ball et al., 2016a; Babot et al., 2017).

A partir de diversos estudios morfométricos y de colecciones de referencia, las ELONGATE DENTATE y se pueden llegar a atribuir a determinadas subfamilias, o en algunos contextos, incluso se han llegado a determinar las especies productoras en plantas domésticas (Portillo, 2006; Ball et al., 2016a; Babot et al., 2017). Las ELONGATE DENDRITIC son muy comunes en las inflorescencias de los cereales, pero su asociación directa con cereales domésticos, como cualquier asociación diagnóstica en conjuntos de fitolitos sedimentarios debe superar un determinado umbral cuantitativo y basarse en resultados morfométricos (Albert et al., 2003; Bremond et al., 2008).

En esta tesis hemos considerado un solo grupo a nivel clasificatorio ELONGATE DENTATE / DENDRITIC (ELO\_DEN).



**Figura 4.6. Microfotografías de diferentes tipos de ELONGATE.** Las microfotografías han sido realizadas a 400 aumentos con un microscopio Olympus B83. (b) ELONGATE ENTIRE; (a, c) ELONGATE DENTATE; (d, f) ELONGATE SINUATE; (e) ELONGATE DENDRITIC; (f) MULTICELL ELONGATE SINUATE.

### ***Grass silica short cell phytoliths (GSSCP)***

Las células cortas (*Grass silica short cell phytoliths* - GSSCP) (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019), tienen en común que son células epidérmicas compactas formadas únicamente por la familia *Poaceae*.



Suelen presentar formas más regularizadas que otros fitolitos y tamaños que suelen oscilar entre 8  $\mu\text{m}$  y 40  $\mu\text{m}$  (Figuras 4.7 y 4.8) (Bremond y Barboni, 2009; Cordoba, 2013; Ball et al., 2016b; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019)

Todos los morfotipos de células cortas, se dividen en dos grandes grupos a nivel geobotánico:

A) Clado *C<sub>3</sub>BOB* que son dominantes en los bioclimas templados y continentales

B) Clado *C<sub>4</sub>PACMAD*, más comunes en biomas áridos, tropicales o subtropicales.

Aunque en nuestro caso de estudio, dada la geobotánica del piso bioclimático subalpino, son dominantes las poáceas de la subfamilia *Pooideae*, especialmente de los géneros *Festuca*, *Nardus* y *Poa*; no hemos descartado, *a priori*, ninguno de los tipos característicos de las GSSCP, ya que, podrían ser indicativos de plantas secundarias, domesticas o ruderales, o incluso cultivadas.

Dentro de las células cortas se distinguen diferentes morfotipos:

### **SADDLE (SAD)**

Son pequeñas células (8  $\mu\text{m}$  - 20  $\mu\text{m}$ ), muy compactas, con forma de silla de montar (Piperno, 2006; Jattisha y Sabu, 2012; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Son producidas abundantemente por la subfamilia *Chloridoideae* (Piperno, 2006; Barboni y Bremond, 2009; Jattisha y Sabu, 2012).

Les hemos asignado el valor taxonómico *C<sub>4</sub>PACMAD* / cf. *Chloridoideae*.

### **CROSS (CRO)**

Se trata de pequeñas células de entre (8 y 35  $\mu\text{m}$ ), habitualmente de base más o menos rectangular, conformada por 3 o 4 lóbulos (Piperno, 2006; ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Han sido descritas en diversas familias tanto del clado *C<sub>4</sub>-PACMAD*, especialmente en la subfamilia *Panicoideae* (Piperno, 2006).

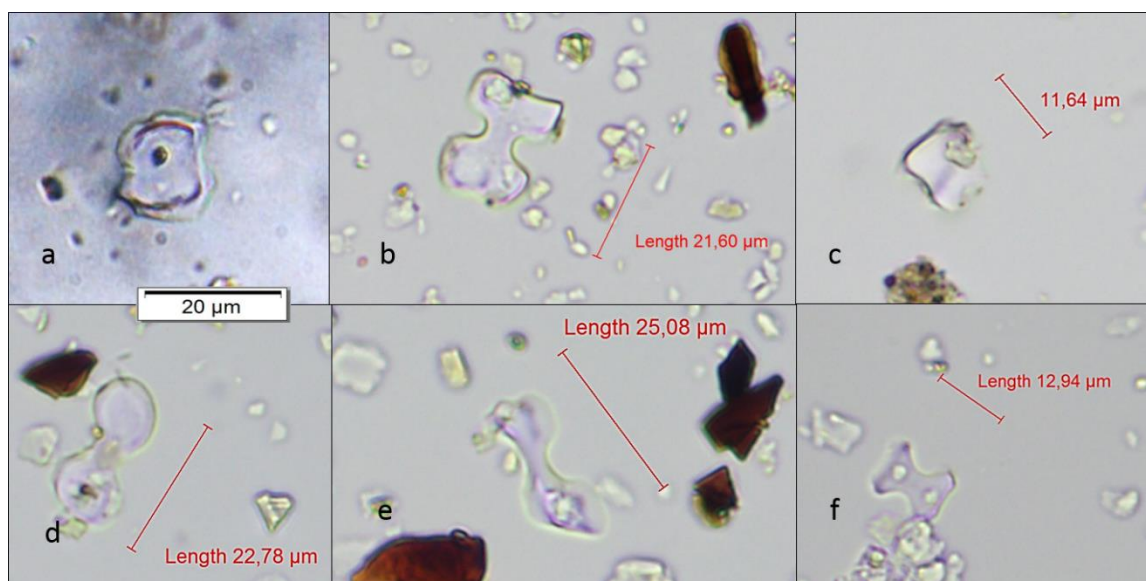
Les hemos asignado el valor taxonómico *C<sub>4</sub>PACMAD* / cf. *Panicoideae*.

## BILOBATE (BIL)

Son GSSCP caracterizadas por presentar dos lóbulos bien definidos, más o menos simétricos, y habitualmente una base trapezoidal. Su tamaño varía entre 8 y 25  $\mu\text{m}$  (Piperno 2006, ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Las BILOBATE podrían ser producidas por diversas subfamilias de poáceas (Lu y Liu, 2003b; Piperno 2006), principalmente panicoides, aunque también se observan en plantas de la subfamilia *Pooideae*. Algunos tipos parecen ser muy comunes en la tribu *Stipeae*, de la subfamilia *Pooideae* (Fredlund y Tieszen, 1994), así como en la familia *Arundinoideae* (Albert, 2000; Bremond y Barboni 2009, Cordoba 2013, ICPN 2.0., Neumann et al., 2019).

A efectos interpretativos hemos clasificado las BILOBATE en una categoría en discusión (*Poaceae* /  $C_3$ -BOP), ya que no tenemos suficiente información de referencia en la zona de estudio como para saber si las plantas productoras de este morfotipo son del género *Arundo*, *Stipa* u alguna otra *Poaceae*. Pero en los trabajos de referencia para el piso bioclimático subalpino, han sido identificadas con la subfamilia *Pooideae* (An et al., 2015), ya que las *Panicoidae* no son características de la vegetación subalpina (Fillat et al., 2008).



**Figura 4.7. Microfotografías de BILOBATE.** Las microfotografías han sido realizadas a 400 aumentos con un microscopio Olympus B83. (a,c) SADDLE; (b, d, e, f) BILOBATE.

Por último, destacamos tres morfotipos que son muy frecuentes en las muestras de nuestro caso de estudio y que hemos asociado con plantas herbáceas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae*:

### **CRENATE (CRE)**

Las CRENATE son un tipo de célula alargada sinuada o polilobulada de base trapezoidal. Son fitolitos de tamaño intermedio o pequeño. Suelen medir entre 5 y 15 µm de ancho, por 20-60 µm de largo. Además, suelen acabar en alguno de sus dos extremos o en ambos con un lóbulo, a diferencia de las ELONGATE SINUATE (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

No debe ser confundida con otros morfotipos de fitolitos con los que comparten algunas semejanzas, como POLYLOBATE o ELONGATE SINUATE. Generalmente son de menor tamaño que las ELONGATE SINUATE (50 y 200 µm). Algo más complejo sería distinguirlas de las POLYLOBATE, con las que pueden compartir tamaño y forma, salvo por su sección trapezoidal característica.

El morfotipo CRENATE es característico de la subfamilia *Pooideae* (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019). De hecho, este morfotipo ha sido propuesto como marcador de las zonas de prado en medios de montaña mediterránea (Bremond et al., 2004). Su asignación taxonómica ha sido C<sub>3</sub>-BOP / cf. *Pooideae*.

### **TRAPEZOID (TRZ)**

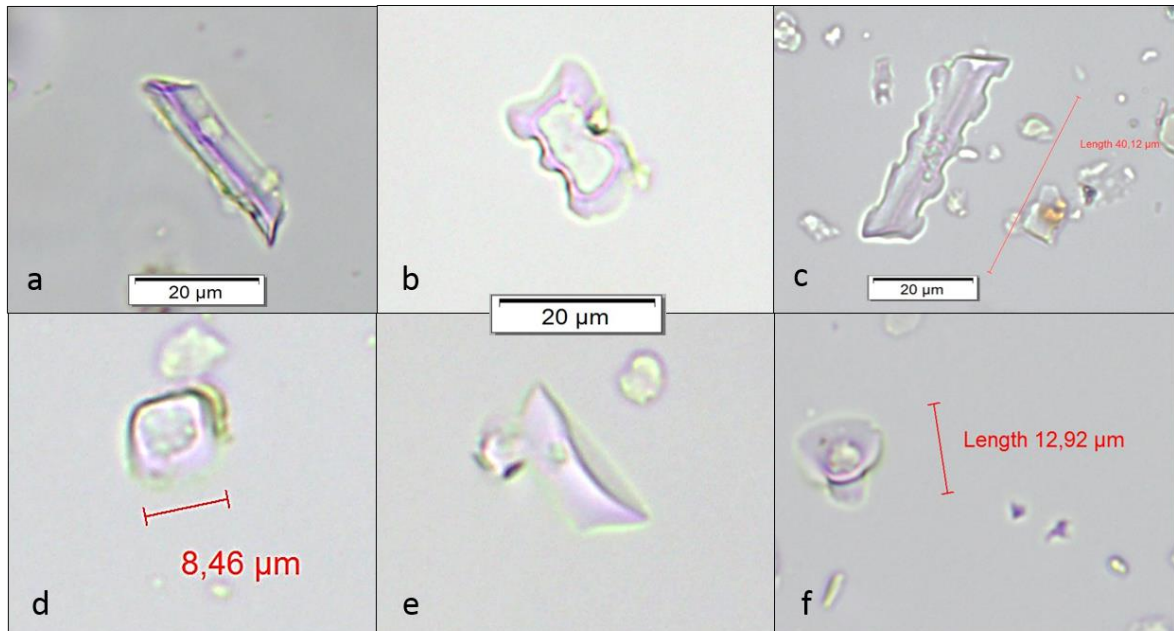
Se trata de un morfotipo básicamente de base cuadrada o rectangular y forma trapezoidal, definido por un mínimo de dos líneas de contorno paralelas, no sinuosas ni ovaladas. Su tamaño es muy variable, en función de si es de base rectangular o alargada, oscilando, generalmente, entre 8 µm y 40 µm, aunque puedan alcanzar hasta 70 µm, o incluso 80 µm de largo (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

Son característicos de la subfamilia *Pooideae*, aunque pueden aparecer, en escasa proporción en otras poáceas. En este trabajo les hemos atribuido el valor taxonómico C<sub>3</sub>BOP / cf. *Pooideae*.

## RONDEL (RON)

Se trata de una célula de pequeño tamaño (5 – 20  $\mu\text{m}$ ), de base circular, ovalada o piramidal y sección trapezoidal o carenada (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019). Aunque, puede adoptar formas bastante variadas, por lo que en nuestro sistema de clasificación las hemos agrupado en 5 distintos subtipos.

En nuestro caso de estudio, hemos interpretado el morfotipo RONDEL en valor taxonómico C<sub>3</sub>-BOP / cf. *Pooideae*. Esta atribución taxonómica se justifica en el estudio de la flora y de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas (Carnelli, et al., 2004) (Tabla 5.2).



**Figura 4.8. Microfotografías de TRAPEZOID, CRENATE Y RONDEL.** Microfotografías realizadas con un microscopio Olympus B83 a 400 aumentos. Diversos fitolitos taxonómicamente asociados con plantas herbáceas de patrón fotosintético C<sub>3</sub> de la subfamilia *Pooideae*. (a) TRAPEZOID; (b, c) CRENATE, (d, e, f) RONDEL.

## 4.7 RELACIÓN ENTRE PLANTAS Y FITOLITOS

---

En resumen, en medio ambientes subalpinos, un morfotipo (SPHEROID) es diagnóstico de plantas coníferas y dicotiledóneas, frecuentemente leñosas (familias: *Pinaceae*, *Cupressaceae*, *Betulaceae* y *Ericaceae*). Mientras, otros 3: CRENATE, TRAPEZOID Y RONDEL serían diagnósticos de las gramíneas de la subfamilia  $C_3$  *Pooideae*, plantas herbáceas típicas de zonas de pradera (Tablas 5.2 y 4.2).

Otros morfotipos menos diagnósticos, pero que indiscutiblemente podemos asociar a plantas gramíneas serían PAPILLATE, Y ELONGATE DENTATE/DENDRITIC. Por su parte ELONGATE SINUATE y BULLBORM FLABELLATE pueden ser producidos por distintas plantas monocotiledóneas de las familias  $C_3$  *Poaceae* y *Cyperaceae* (Tablas 5.2 y 6.6).

Un morfotipo: PAPILLATE CONICAL, es diagnóstico de la familia *Cyperaceae*.

Hay otros morfotipos que hemos tenido en cuenta en esta tesis y que no aparecen en la colección de referencia revisada (Carnelli et al., 2001 y 2004) (Tabla 5.2), pero si en nuestro trabajo: BILOBATE, SADDLE, POLYLOBATE y CROSS. Todos ellos producidos por plantas gramíneas (*Poaceae*).

Los tipos ACUTE y ELONGATE ENTIRE, *a priori*, no podemos asignarlos un valor taxonómico, muy concreto, aunque ambos podrían ser un buen marcador de plantas monocotiledóneas no necesariamente gramíneas (Alber et al., 2018).

El síntesis, del análisis de los resultados extraídos de la colección de referencia de fitolitos en plantas alpinas (Carnelli et al., 2004), podemos concluir que las formaciones vegetales dominadas por las plantas leñosas (*Pinaceae*, *Cupressaceae*, *Betulaceae* y *Ericaceae*) ya sean bosques subalpinos o landas de ericáceas, deberían producir un rastro en forma de fitolitos diferenciable respecto a las formaciones vegetales dominadas por monocotiledóneas (*Poaceae* y *Cyperaceae*), que son características de espacios deforestados, praderas y pastizales (Tablas 5.1 y 5.2). Teóricamente, estos dos tipos de asociaciones vegetales, deberían generar registros sedimentarios de fitolitos distintos.

En todo caso, debemos tener presente que hay problemas postdeposicionales en la conservación de la mayoría de los morfotipos característicos de las plantas coníferas y dicotiledóneas, respecto a los morfotipos típicos de las poáceas y ciperáceas, que hacen que

las leñosas tiendan a resultar infrarrepresentadas en los conjuntos de fitolitos sedimentarios (Delhon et al., 2003; Cabanes y Shahack-Gross 2015; Strömberg et al., 2018, Gao et al., 2018c).

De modo que no podemos establecer una proporción correlativa lineal a nivel cuantitativo entre porcentajes de morfotipos diagnósticos de plantas leñosas frente a herbáceas, ya que las monocotiledóneas presentan una producción de fitolitos notablemente mayor (entre un 20% y un 12% superior) (Albert y Weiner, 2001).

Nombre completo	Acrónimo	Atribución taxonómica
BLOCKY	BLO	<i>Monocotyledoneae / Dicotyledoneae</i>
BULLIFORM FLABELLATE	BUL_FL	<i>Poaceae / Cyperaceae</i>
POLYGONATE	POL	<i>Dicotyledoneae / cf. Ericaceae</i>
TRACHEARY	TRA	<i>Monocotyledoneae / Dicotyledoneae</i>
SPHEROID	SPH	<i>Dicotyledoneae / Pinophyta</i>
ACUTE	ACU	<i>Monocotyledoneae / Dicotyledoneae</i>
ACUTE BULBOSUS	ACU_BUL	<i>Poaceae</i>
ACUTE BASE	ACU_BAS	<i>Dicotyledoneae / cf. Ericaceae</i>
PAPILLATE	PAP	<i>Poaceae</i>
PAPILLATE CONICAL	PAP_CON	<i>Cyperaceae</i>
ELONGATE ENTIRE	ELO_ENT	<i>Monocotyledoneae / Pinophyta</i>
ELONGATE SINUATE	ELO_SIN	<i>Poaceae / Cyperaceae</i>
ELONGATE DENTATE / DENDRITIC	ELO_DET	<i>Poaceae</i>
SADDLE	SAD	<i>C<sub>4</sub>PACMAD / cf. Chloridoideae</i>
CROSS	CRO	<i>C<sub>4</sub>PACMAD / cf. Panicoideae</i>
BILOBATE	BIL	<i>Poaceae / cf. C<sub>3</sub>BOP</i>
CRENATE	CRE	<i>C<sub>3</sub>BOP / cf. Pooideae</i>
TRAPEZOID	TRZ	<i>C<sub>3</sub>BOP / cf. Pooideae</i>
RONDEL	RON	<i>C<sub>3</sub>BOP / cf. Pooideae</i>

**Tabla 4.2** Tabla de correspondencia entre los morfotipos y su atribución taxonómica más probable. En la tabla se muestran los 19 morfotipos y subtipos empleados en el sistema de clasificación utilizado en esta tesis. En la columna de la derecha asignamos un valor taxonómico aproximado a cada tipo de fitolitos descrito, a nivel de *clado, familia, subfamilia o género*. Esta atribución es aplicable en la región geobotánica eurosiberiana.

## 5. DISEÑO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

---

### *Estudio bioarqueológico de los sedimentos*

Describe la metodología de análisis arqueológico y paleoambiental aplicada en la investigación, basada en el estudio e interpretación de los depósitos sedimentarios, desde un enfoque bioarqueológico.

En el presente capítulo se explica el programa de muestreo de este trabajo de investigación doctoral. Detallaremos los trabajos de campo y la metodología aplicada a la toma de muestras sedimentarias que hemos realizado en la ejecución del programa de investigación, que incluye no solamente los análisis de fitolitos, sino el estudio bioarqueológico integral de los depósitos sedimentarios.

Hemos tenido en cuenta la necesidad de incorporar al análisis de los depósitos sedimentarios, el estudio de los diferentes microrestos biológicos presentes en los sedimentos, como los carbones y otros macrorestos vegetales (semillas, hojas, etc).

El estudio multidisciplinar integral de los depósitos sedimentarios nos permitirá no solamente contextualizar e interpretar mejor el alcance de los resultados del análisis de fitolitos, sino poder validar los resultados obtenidos, al disponer de variables independientes con las que cotejar nuestros resultados.

En el diseño de nuestro programa de investigación hemos tenido presente la necesidad de muestrear cada perfil y cada yacimiento arqueológico de forma diferenciada, en función de sus características geológicas y sedimentológicas, pero recuperando siempre las muestras sedimentarias de forma sistemática y análoga en todos los sitios (Buxó y Piqué, 2003), lo que nos ha permitido la posterior contextualización y comprensión de cada depósito sedimentarios estudiado.

Las analíticas complementarias realizadas incluyen la datación C14 de los contextos sedimentarios estudiados, y la integración de los resultados del análisis de fitolitos, junto a otros biorestos, como carbones, semillas, polen y diatomeas.

## 5.1 LA COMPOSICIÓN BIOLÓGICA DE LOS SEDIMENTOS

---

Breve introducción a los diversos tipos de microrestos biológicos que podemos encontrar habitualmente en los sedimentos y que pueden aportar información paleoambiental.

Si la geoarqueología es un enfoque que busca integrar el análisis arqueológico de las ocupaciones humanas en el territorio, mediante la comprensión del impacto humano en los procesos sedimentarios y ecológicos, la bioarqueología es una serie de metodologías arqueológicas que estudian los restos biológicos asociados a la acción humana en el pasado.

Naturalmente ambos enfoques son complementarios y propios de una arqueología integral, que estudia la vida humana en el pasado, la sociedad y su ecología (Butzer, 1982). En última instancia, la bioarqueología, como metodología, puede incorporar los estudios geoarqueológicos, arqueobotánicos y arqueofaunísticos, dentro del estudio arqueológico integral de la vida humana en el pasado (Binford, 2001).

Entre los organismos vivos que producen biorestos que se pueden localizar en los sedimentos, tenemos que contar animales, algas, hongos, bacterias y plantas (Catalan, 2015).

Por tanto, el conjunto de biorestos hallados en un sedimento, es un producto de un contexto ecológico determinado por un geosistema, dentro de unas condiciones climáticas y ambientales concretas. Toda variación en el conjunto de organismos vivos de un ecosistema en particular (biocenosis) será una respuesta al cambio ambiental; ya sea por alteraciones en la distribución de las formaciones vegetales, debidas a variaciones climáticas, o por el impacto de las actividades económicas humanas en el ecosistema. De modo que el objetivo metodológico principal del análisis multivariable de restos biológicos en depósitos sedimentarios será determinar el origen, las causas y la magnitud de los cambios ambientales en un medio geográfico concreto, a lo largo del tiempo.

Partiendo de la diversidad de disciplinas y métodos que se aplican en nuestro programa de investigación, el análisis de fitolitos se inscribe dentro del estudio de la composición biológica de los sedimentos; y particularmente para la arqueología, como un enfoque



metodológico que podríamos incluir dentro de la bioarqueología sedimentaria; donde abordamos el estudio de los microrestos biológicos sedimentarios.

### 5.1.1 MICRORESTOS BIOLÓGICOS EN SEDIMENTOS

---

Esencialmente, todo sedimento está compuesto por partículas minerales y otros agregados, de origen biológico (Rapp y Hill, 1998). Se pueden distinguir por su tamaño, entre macroscópicos (de más de 1 mm de longitud) y microscópicos que, tipológica y numéricamente, son la mayor parte.

Generalmente, los microrestos que hallamos en los sedimentos son o bien mineralizaciones de partes de la estructura de los organismos vivos, o bien elementos carbonizados (Buxó y Piqué, 2003), pudiendo conservarse también otros biorestos, producidos por los seres vivos (Catalan, 2015). El origen de los microrestos biológicos que se encuentran en los suelos se localiza siempre en los organismos vivos, capaces de producir algunas estructuras o partes orgánicas que pasan a ser inorgánicas tras la muerte del organismo mediante procesos de fosilización, o bien que ya eran inorgánicas desde su formación (como los fitolitos, las carcasas polínicas o las de algunas microalgas) (Croft et al., 2018). Estas partes inorgánicas de los seres vivos, no se descomponen fácilmente, sino que generalmente se incorporan al sustrato terrestre y finalmente a los suelos mediante procesos postdeposicionales (Piperno, 1988; Carnelli, 2002; Albert et al., 2006; Madella y Lancelotti 2012; Catalan 2015; Strömberg et al., 2018).

Entre los microrestos que producen las plantas y además que encontramos frecuentemente depositados en los sedimentos, sobre todo lacustres, destaca el polen; concretamente las *esporopoleninas de politerpeno*, que son las carcasas que contienen el material celular, altamente resistentes a la disolución (Burjachs et al., 2003; Mander y Punyasena, 2018). Las *esporas* de hongos también son biorestos indicativos de diversos tipos de plantas, así como otros microrestos no polínicos (Cugny, 2013; Gómez-González et al., 2009). Otros microrestos que aportan información paleoambiental son las carcasas silíceas de algunas microalgas acuáticas, como las diatomeas y crisofíceas (Mann, 1989; Pla y Catalan, 2005,

Catalan, 2015). Entre los microrestos que pueden conservarse en depósitos sedimentarios podemos también distinguir algunos de origen animal, como los esferolitos, que son pequeñas estructuras semiesféricas de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), de entre 3 y 30  $\mu\text{m}$ , producidas en el aparato digestivo de los rumiantes (Canti, 1998; Alonso-Eguíluz, 2012; Alonso-Eguíluz et al., 2017; Dunseth y Shahack-Gross, 2018).

Nuestro programa de muestreo se ha enfocado en la incorporación al estudio paleosedimentario de todos los microrestos biológicos susceptibles de aportar información, de modo que se han recuperado muestras pensadas para cada analítica. Para realizar los diferentes procesos de extracción de las muestras de sedimento originales se han utilizado diversos métodos físico-químicos, en función del tipo de bioresto microscópico que se vaya a estudiar: Diatomeas (Battarbee, 1986), Polen (Moore et al., 1991; Burjachs et al., 2003; Mander y Punyasena, 2018) o Fitolitos (Powers y Gilbertson, 1987; Madella et al., 1998; Katz et al., 2010).

En función del método elegido en cada caso, la muestra inicial mínima puede variar, desde unos 50 mg (Katz et al., 2010) hasta 10 g (Burjachs et al., 2003). El resultado en cada caso depende de las técnicas de procesamiento empleadas en el laboratorio, pero también de la concentración inicial de microrestos biológicos en el sedimento, determinada por procesos postdeposicionales del depósito sedimentario de origen (Albert et al., 2006; Madella y Lancelotti, 2012; Strömberg et al., 2018), que puede determinar el tipo de técnica preferible en cada caso (Katz et al., 2010; Calegari et al., 2013).

En nuestro programa de muestreo hemos tenido en cuenta estas necesidades, dejando a los diferentes especialistas capacidad de decisión sobre la estrategia de muestreo óptima en cada sitio, en función del tipo de contexto estudiado. En cualquier caso, los métodos de extracción antes descritos implican que finalmente son obtenidas láminas con diverso material microscópico (de tamaños observables que oscilan entre 500 y 1  $\mu\text{m}$ ), y que, en función del método de extracción y del objetivo metodológico del estudio, permiten seleccionar el bioresto que se quiere estudiar en cada caso: fitolitos, polen o diatomeas.

## 5.1.2 MACRORESTOS VEGETALES

---

Además del estudio de restos biológicos microscópicos, nuestro programa de investigación contempla la necesidad de analizar restos macroscópicos procedentes de los mismos estratos, como carbones o semillas carbonizadas y otros macrorestos vegetales (Buxó, y Piqué, 2003). Su recuperación sistemática ha sido programada en el diseño de la metodología de estudio de los depósitos sedimentarios, de modo que en cada intervención arqueológica hemos recuperado material macroscópico para su estudio.

Las muestras arqueológicas estudiadas proceden de contextos donde también se han realizado estudios carpológicos (Gassiot et al., 2012; Antolín et al., 2017) y antracológicos exhaustivos (Obea et al., 2011; Obea y Rodríguez-Antón, 2016), y que nos permiten complementar el análisis microscópico de fitolitos con el de macrorestos carbonizados. Esto es posible gracias a la aplicación de una metodología de muestreo sistemático (Buxó y Piqué, 2003).

## 5.2 ESTUDIO DE LA COLECCIÓN DE REFERENCIA DE FITOLITOS EN PLANTAS ALPINAS Y SUBALPINAS

---

*(Carnelli et al., 2001 y 2004)*

Se discute qué morfotipos son característicos de las especies de plantas seleccionadas de la colección de referencia, estudiada a nivel cuantitativo. Se proponen unas atribuciones taxonómicas, a partir de su producción de fitolitos, para las principales especies vegetales, características del bioclima subalpino.

A continuación, vamos a exponer el estudio cuantitativo, realizado sobre 16 especies de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas publicada por Carnelli et al., 2001 y 2004.

Al no disponer de una colección de referencia de fitolitos producidos por plantas de los Pirineos, hemos buscado la referencia más próxima en términos ecológicos y geobotánicos (Rivas-Martínez et al., 2011).

Esencialmente, hemos reinterpretado los resultados publicados (Carnelli et al., 2001 y 2004), en base a 14 morfotipos identificados, según el ICPN 2.0, Neuman et al., 2019. Con el objetivo de disponer de una referencia empírica comparable y adaptada al mismo sistema de clasificación morfológica de fitolitos que empleamos en esta tesis. De manera que podamos cuantificar o estimar la producción de fitolitos esperable en la flora típica de nuestra zona de estudio.

Al poder asociar especies concretas de plantas subalpinas con determinados morfotipos de fitolitos, podremos obtener información empírica sobre la productividad asociable a un tipo de vegetación u otro, en función de las especies de plantas dominantes en cada paisaje.

## 5.2.1 ESPECIES DE PLANTAS ESTUDIADAS

---

Debemos tener presente que las floras alpinas son básicamente reductos o refugios altitudinales de las extensas formaciones vegetales eurosiberianas de tipo boreal, que en el actual periodo interglaciar Holoceno, se han visto constreñidas climáticamente a las zonas de alta montaña, pero que durante los largos periodos glaciares son las formaciones vegetales dominantes en toda Eurasia (Carrión et al., 2000). Eso explica que los taxones endógenos sean generalmente anecdóticos a nivel local pero que podamos definir perfectamente una flora común a todas las áreas de alta montaña de la región eurosiberiana (Rivas-Martínez, 1987; Rivas-Martínez et al., 2011, Ninot et al., 2017b).

Dicha flora, estará marcada, fundamentalmente, por las especies adaptadas a climas templados y húmedos, siendo las familias dominantes principales las pináceas (*Pinus* y *Abies*) y betuláceas (*Betula*, *Corylus* y *Alnus*) entre las plantas arbóreas, y las cupresáceas (*Juniperus*) y ericáceas (*Rhododendron*, *Vaccinium*, *Arctostaphylos*,) entre las arbustivas leñosas (Rivas-Martínez, 1987; Rivas-Martínez et al., 2011, Ninot et al., 2017b). Mientras que en el caso de las plantas herbáceas, los dos grupos taxonómicos dominantes son las ciperáceas (*Carex*) y las poáceas, particularmente la subfamilia de las *Pooideae*, de patrón fotosintético C<sub>3</sub> y, especialmente, los géneros *Nardus*, *Poa* y *Festuca*, característicos de los bioclimas templados (Rivas-Martínez, 1987; Fillat et al., 2008).

De las 21 especies de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas estudiada (Carnelli et al., 2001 y 2004), hemos seleccionado aquellos 16 taxones (Tabla 5.1) que pensamos que son clave para los objetivos de esta investigación. Que no son de orden ecológico o geobotánico, sino arqueológico; ya que tratamos de poder distinguir entre paisajes potenciales y antrópicos.

Las especies seleccionadas pueden definir las principales asociaciones vegetales en el piso subalpino de todo el Pirineo axial central (Ninot et al., 2007 y 2017b).

Hemos considerado, en la selección de especies incorporadas a este trabajo de comparación, las plantas arbóreas, arbustivas y herbáceas más comunes de la zona de estudio (Tabla 5.1), dominantes actualmente en el valle de Sant Nicolau (Carrillo y Ninot, 1992; Soriano et al., 2003; Ninot et al., 2017b).

En los casos en que la especie alpina no coincide exactamente, hemos buscado el taxón más cercano en términos ecológicos.

División	Familia	Género	Especie alpina: Alpes occidentales	Altura (m)	Piso altitudinal	Especies ecológicamente análogas: Pirineos
<i>Pinophyta</i>	<b><i>Pinaceae</i></b>	<b><i>Pinus</i></b>	<i>Pinus mugo</i>	2050	Subalpino	<i>Pinus mugo</i> <i>subsp. uncinata</i>
<i>Pinophyta</i>	<b><i>Pinaceae</i></b>	<b><i>Abies</i></b>	<i>Abies alba</i>	2050	Subalpino	<i>Idem</i>
<i>Pinophyta</i>	<b><i>Cupressaceae</i></b>	<b><i>Juniperus</i></b>	<i>Juniperus communis</i>	1930	Subalpino	<i>Idem</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Betulaceae</i></b>	<b><i>Alnus</i></b>	<i>Alnus viridis</i>	2000	Subalpino	<i>Betula pendula</i> , <i>Corylus avellana</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Ericaceae</i></b>	<b><i>Rhododendron</i></b>	<i>Rhododendron</i> <i>ferrugineum</i>	2050	Subalpino	<i>Idem</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Ericaceae</i></b>	<b><i>Vaccinium</i></b>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1980	Subalpino	<i>Idem</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Ericaceae</i></b>	<b><i>Vaccinium</i></b>	<i>Vaccinium myrtillus</i>	2180	Subalpino	<i>Idem</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Ericaceae</i></b>	<b><i>Arctostaphylos</i></b>	<i>Arctostaphylos uva-</i> <i>ursi</i>	2420	Alpino	<i>Idem</i>
<i>Dicotyledoneae</i>	<b><i>Ericaceae</i></b>	<b><i>Calluna</i></b>	<i>Calluna vulgaris</i>	2420	Alpino	<i>Idem</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Cyperaceae</i></b>	<b><i>Carex</i></b>	<i>Carex sempervirens</i>	2300	Alpino	<i>Idem</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Cyperaceae</i></b>	<b><i>Carex</i></b>	<i>Carex curvula</i>	2470	Alpino	<i>Idem</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Poaceae</i></b>	<b><i>Nardus</i></b>	<i>Nardus stricta</i>	2300	Alpino	<i>Idem</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Poaceae</i></b>	<b><i>Poa</i></b>	<i>Poa alpina</i>	2795	Subnival	<i>Idem</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Poaceae</i></b>	<b><i>Festuca</i></b>	<i>Festuca melanopsis</i>	2090	Subalpino	<i>Festuca nigrescens</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Poaceae</i></b>	<b><i>Festuca</i></b>	<i>Festuca scabriculumis</i>	2300	Alpino	<i>Festuca airoides</i>
<i>Monocotyledoneae</i>	<b><i>Poaceae</i></b>	<b><i>Festuca</i></b>	<i>Festuca halleri</i>	2730	Alpino	<i>Festuca eskia</i>

**Tabla 5.1. Lista de 16 especies de plantas de referencia de los pisos alpino y subalpino.** En la tabla, se muestra la altura y el correspondiente piso altitudinal donde fueron recolectadas las plantas originales de la colección de referencia utilizada (Carnelli et al., 2001). En los casos donde la especie análoga a la flora pirenaica no es exactamente la misma que en la alpina, presentamos las especies ecológicamente equivalentes de la misma familia (en la columna de la derecha).

Los paisajes antrópicos se localizan generalmente en el piso subalpino y montano, “robando” terreno al bosque potencial, al que sustituyen (Ninot y Ferré, 2008). Este dato es importante, a la hora de justificar por qué hemos enfocado nuestro trabajo de investigación en el piso subalpino, y, especialmente en las zonas de fondo de valle.

Ya que el objetivo de nuestra investigación es la detección del impacto humano en el entorno de las áreas de ocupación y en el medio de alta montaña, en general. La búsqueda de ese impacto en el piso alpino, seguramente sería infructuosa con la metodología empleada, pues las formaciones vegetales potenciales son siempre paisajes abiertos, con o sin intervención humana.

Una primera aproximación a partir del análisis de fitolitos en suelos de alta montaña es documentar la concentración de fitolitos en los suelos. Las formaciones arbustivas dominadas por *Ericaceae* y *Juniperus* son las que presentan concentraciones de fitolitos menores en el suelo, entre 0,09 y 0,27 g/m<sup>2</sup>. Los bosques subalpinos presentan concentraciones aproximadamente situadas entre 0,85 y 1,09 g/m<sup>2</sup>, similares a las praderas alpinas (1,3 g/m<sup>2</sup>). Los pastos subalpinos de *Festuca* y *Nardus* son los suelos más ricos en fitolitos, entre 2,29 y 2,65 g/m<sup>2</sup> (Carnelli et al., 2001).

Por otra parte, la productividad de fitolitos decae a mayor altitud, en el piso altitudinal alpino (Carnelli, 2002; An et al., 2015).

Estos resultados son coherentes con la mayor producción de fitolitos de las poáceas de la subfamilia *Pooideae*, respecto a la baja producción de las dicotiledóneas. Un porcentaje elevado de fitolitos podría ser un primer indicador de pastos antrópicos. Por el contrario, una presencia muy escasa de fitolitos en un suelo podría ser una señal de una formación dominada por las ericáceas (Carnelli, 2002).

## **5.2.2 LA PRODUCCIÓN DE FITOLITOS POR ESPECIES**

---

Una primera aproximación a partir del análisis de fitolitos en suelos de alta montaña es documentar la concentración de fitolitos en los suelos. Las formaciones arbustivas dominadas por *Ericaceae* y *Juniperus* son las que presentan concentraciones de fitolitos menores en el suelo, entre 0,09 y 0,27 g/m<sup>2</sup>. Los bosques subalpinos presentan concentraciones aproximadamente situadas entre 0,85 y 1,09 g/m<sup>2</sup>, similares a las praderas alpinas (1,3 g/m<sup>2</sup>). Los pastos subalpinos de *Festuca* y *Nardus* son los suelos más ricos en fitolitos, entre 2,29 y 2,65 g/m<sup>2</sup> (Carnelli et al., 2001). Estos resultados son coherentes con la mayor producción de fitolitos de las poáceas de la subfamilia *Pooideae*, respecto a la baja producción de las dicotiledóneas. Un porcentaje elevado de fitolitos podría ser un primer indicador de pastos antrópicos. Por el contrario, una presencia muy escasa de fitolitos en un suelo podría ser una señal de una formación dominada por las ericáceas (Carnelli, 2002).

Por otra parte, la productividad de fitolitos decae a mayor altitud, en el piso altitudinal alpino (Carnelli, 2002; An et al., 2015).

Además de cuantificar la concentración de fitolitos en las muestras que han sido estudiadas en esta tesis, estudiaremos la distribución cuantitativa de los diversos morfotipos, obtenidos en cada muestra sedimentaria.

De cara a poder contextualizar debidamente nuestros resultados, serán de utilidad los resultados de referencia de las 16 especies seleccionadas (Tabla 5.1). Asumimos, naturalmente, que la producción de fitolitos de estas especies, en función de condiciones ambientales, climáticas, tipos de suelos o asociaciones florísticas de cada tipo de paisaje, pueden variar relativamente. No obstante, allí donde ha sido posible, hemos seleccionado más de una especie de la misma familia, de cara testar la variabilidad interna o la recurrencia en la producción de los diversos morfotipos de fitolitos analizados, para cada una de las 6 familias de plantas subalpinas seleccionadas (Tabla 5.1).

La Tabla 5.1 es el resultado de la suma de los porcentajes de los resultados totales (de las diversas partes anatómicas de las plantas cuantificadas) de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas (Carnelli et al., 2004). Los morfotipos han sido adaptados al sistema de clasificación y nomenclatura científica de fitolitos empleado en esta tesis (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019). Los morfotipos que no han sido descritos en esta tesis o en el ICPN 2.0, Neumann et al., 2019, no han sido valorados en esta tabla.

Si nos fijamos en la distribución de morfotipos por especies (Figuras 5.1 y 5.2) vemos que en todos los casos hay una correlación en la distribución de morfotipos a nivel taxonómico, dentro de las 6 familias de plantas referenciadas.

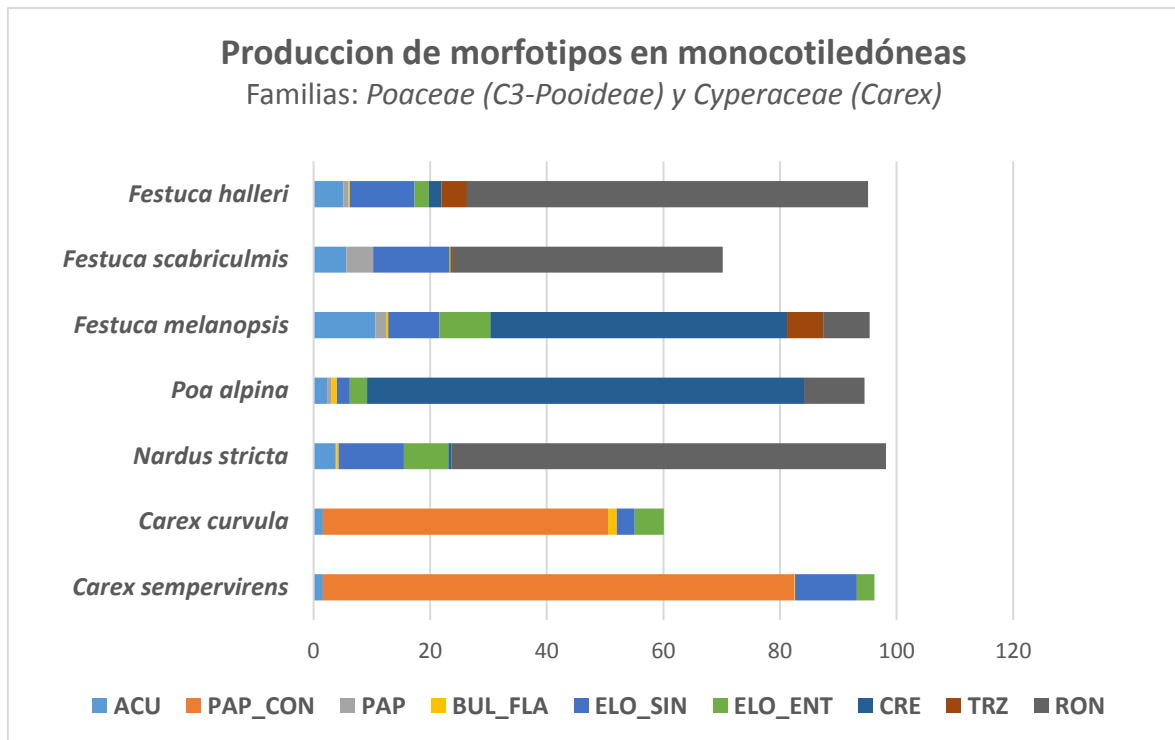
A partir de estos datos, podemos observar que cada especie de planta produce entre 5 y 8 morfotipos de fitolitos distintos, pero si observamos solo los recuadros marcados en verde, que señalan los porcentajes destacados, vemos que cada familia presenta algunos morfotipos característicos y otros poco frecuentes (Tabla 5.2).



Familia	Especie alpina	BLO	POL	TRA ANN	TRA PIT	TRA BOR	SPH	ACU	PAP CON	PAP	BUL FLA	ELO SIN	ELO ENT	CRE	TRZ	RON
Pinaceae	<i>Pinus mugo</i>	52,1		1,6	36		0,3						8,4			
Pinaceae	<i>Abies alba</i>	67,9		5,9	18,2		0,6	3,3								
Cupressaceae	<i>Juniperus comunis</i>	87,2														
Betulaceae	<i>Alnus viridis</i>	72,3	3,6	2,7			1,5	3,3					9,5			
Ericaceae	<i>Rhododendron ferrugineum</i>	44,5	14,6	10,3		6,4	0,6	9,7								
Ericaceae	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	29,7	37,1	0,8		2,4	1,9	3,3								
Ericaceae	<i>Vaccinium myrtillus</i>	62,9	14,4	0,8		1,4	0,2	1,8				0,4				
Ericaceae	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	77,4	8,4	0,4			0,2	1,5								
Ericaceae	<i>Calluna vulgaris</i>	46	12,9			6,2		6,7								
Cyperaceae	<i>Carex sempervirens</i>	1,4					0,2	1,6	80,8		0,2	10,6	3			
Cyperaceae	<i>Carex curvula</i>	24,7		0,4				1,6	48,9		1,5	3,1	5			
Poaceae	<i>Nardus stricta</i>	0,6						3,7		0,2	0,4	11,2	7,6	0,6		74,5
Poaceae	<i>Poa alpina</i>	0,8						2,3		0,8	0,9	2,2	3	74,9		10,4
Poaceae	<i>Festuca melanopsis</i>							10,6		1,8	0,4	8,8	8,7	50,9	6,2	8
Poaceae	<i>Festuca scabriculumis</i>							5,6		4,6		13,1	0,2		0,4	46,3
Poaceae	<i>Festuca halleri</i>	3,7						5,1		0,9	0,2	11,1	2,5	2,1	4,4	68,8

**Tabla 5.2. Porcentajes de producción los diversos morfotipos de fitolitos en las 16 especies revisadas.** Hemos destacado en fondo verde los porcentajes mayores y en rojo los marginales, sin filtrar los porcentajes mínimos. Los resultados expuestos han sido obtenidos de la suma de los resultados totales (de las diversas partes de las plantas) de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas (Carnelli et al., 2004), y adaptados al sistema de clasificación de fitolitos empleado en esta tesis (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019).

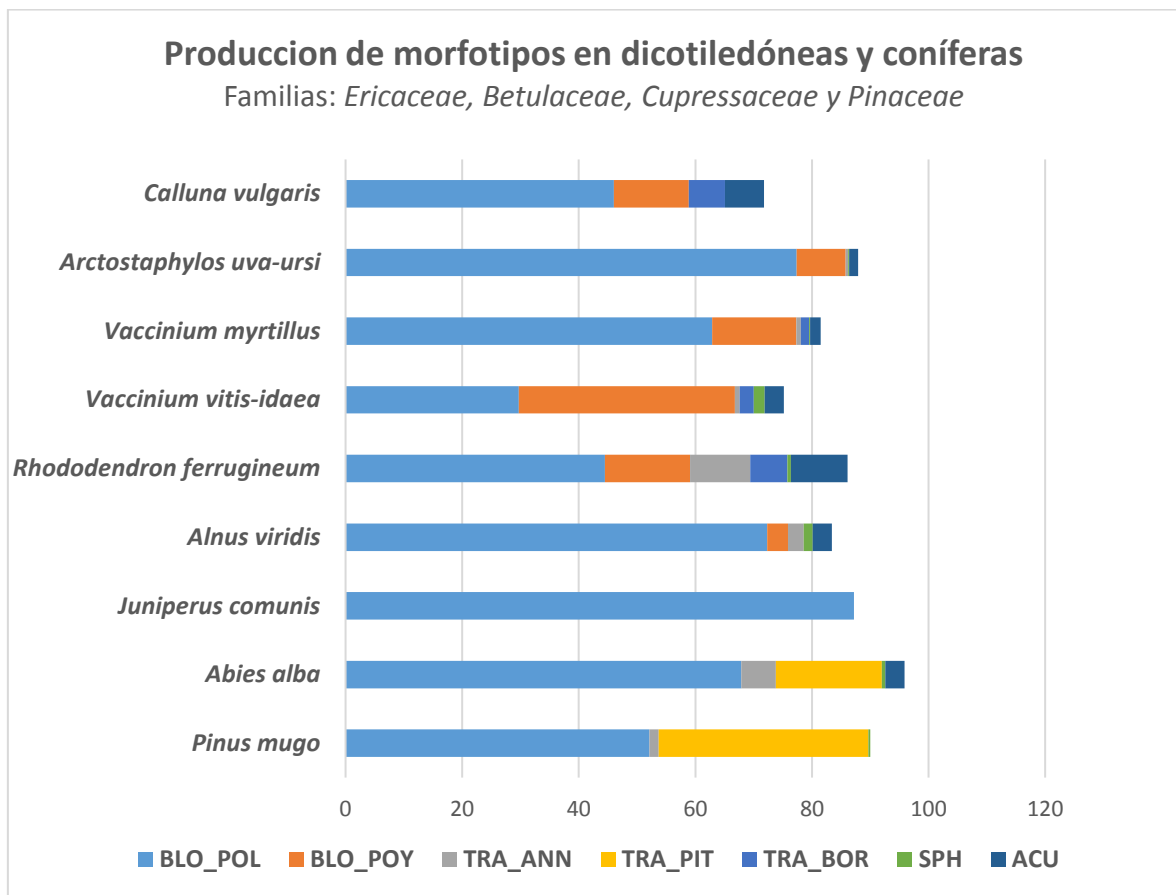
El género *Carex*, estaría definido nítidamente por el morfotipo característico de la familia de las ciperáceas (PAPILLATE CONICAL), de modo que este morfotipo podría emplearse perfectamente como marcador taxonómico del grupo de las cárices, al representar la mayoría de los fitolitos (50% - 80%) producidos por las dos especies de *Carex* analizadas. Otro resultado interesante sería la producción de BULLIFORM FLABELATE y ELONGATE SINUATE, documentada tanto en plantas monocotiledóneas de la familia *Poaceae* como *Cyperaceae*, en porcentajes similares (Tabla 5.2, Figura 5.1)



**Figura 5.1. Diagrama de frecuencias de morfotipos de fitolitos en plantas monocotiledóneas (*Pooideae* y *Cyperaceae*).** Se observa la relación en la producción de morfotipos de fitolitos por familias. Resultados extrapolados de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas según la Tabla 5.2 (Carnelli et al., 2004).

Los morfotipos PAPILLATE, CRENATE, TRAPEZOID y RONDEL únicamente parecen ser producidos por plantas de la familia *Poaceae*, lo que confirma su adscripción antes propuesta.

Otro hecho desatado del estudio de la colección de referencia es que podemos ver que los morfotipos característicos de las principales especies de la familia *C<sub>3</sub>Pooideae* serían tres: TRAPEZOID, CRENATE y RONDEL. Sus porcentajes pueden variar según las especies, pero las RONDEL representan hasta el 75% en la especie *Nardus stricta*, actualmente la herbácea predominante en nuestro caso de estudio. De éstos resultados se deduce que el morfotipo más comúnmente producido las *C<sub>3</sub>Pooideae* sería el tipo RONDEL. El segundo morfotipo diagnóstico de este taxón son las CRENATE, que en algunas de las especies de *Festuca* analizadas representa hasta el 50% del total de fitolitos, alcanzando el 75% en *Poa alpina* (Tabla 5.2, Figura 5.2).



**Figura 5.2. Diagrama de frecuencias de morfotipos en plantas dicotiledóneas y coníferas.** Se muestran las especies seleccionadas en la Tabla 5.2. Resultados extrapolados de la colección de referencia de plantas alpinas y subalpinas (Carnelli et al., 2004).

Respecto al grupo de las plantas dicotiledóneas y coníferas, vemos que hay muy pocos morfotipos diagnósticos que permitan afinar en la asignación de familias diferentes. Los morfotipos BLOCKY, TRACHEARY Y SPHEROID, son producidos por todas las plantas leñosas estudiadas, salvo *Juniperus* y *Calluna* (Tabla 5.2, Figura 5.2).

La familia *Ericaceae*, es aparentemente la única productora del morfotipo TRACHEARY BORDERED y la mayor productora del morfotipo BLOCKY POLYGONAL. No obstante, ambos morfotipos podrían ser producidos por otras dicotiledóneas, según otras colecciones de referencia (Albert y Weiner, 2001; Tsartsidou et al., 2008; Lisztes-Szabó et al., 2019), por lo

que su mayor producción por las plantas ericáceas es sólo una hipótesis a revisar en futuras colecciones de referencia.

En el caso del morfotipo TRACHEARY PITTED, parece que podría ser un excelente indicador de las coníferas en medios subalpinos, ya su producción sería exclusiva de la familia *Pinaceae*, (según Carnelli et al., 2004). No obstante, como todas las TRACHEARY, presenta serios problemas de conservación en los conjuntos de fitolitos sedimentarios (Tabla 5.2, Figura 5.2).

Por último, debemos remarcar que la colección de referencia estudiada, pone en evidencia la producción de dos morfotipos poco diagnósticos (ELONGATE ENTIRE y ACUTE), que parecen ser producidos en pequeñas cantidades por plantas de casi todas las familias estudiadas.

## **5.3 DISEÑO DEL MUESTREO SEDIMENTARIO**

---

### ***Excavaciones y sondeos arqueológicos***

Explicita el programa de muestreo y la metodología aplicada a los trabajos de campo, como parte de un programa de investigación más amplio, en el que se desarrolla esta tesis.

En este apartado se expone la metodología del trabajo de campo y las técnicas aplicadas en el muestreo sedimentario en cada uno de los contextos sedimentarios estudiados.

Se explica y se justifica la elección de los puntos de muestreo, mediante sondeos, en el entorno de los lugares de hábitat y en relación con los yacimientos arqueológicos excavados y analizados.

### **5.3.1 LOCALIZACIÓN DE LOS MUESTREOS SEDIMENTARIOS**

---

La localización de los sondeos fuera de los contextos arqueológicos, en el radio de acción más inmediato o próximo a los mismos, es una estrategia de muestreo orientada a comprender mejor las actuaciones de las sociedades prehistóricas en su entorno y la consecuente generación de paisajes sociales asociada a tales actividades productivas.

Se describe cada una de las localizaciones geográficas o sitios arqueológicos donde hemos tomado cada muestra estudiada y se justifican las razones científicas para su selección, en la ejecución de un muestreo óptimo que responde a los objetivos de la investigación, realizado a partir del análisis de los contextos arqueológicos disponibles y de los depósitos sedimentarios potenciales.

La confección del programa de muestreo no ha sido aleatoria. Nos hemos basado en aquellos yacimientos que han sido excavados en extensión con metodología arqueológica y que ofrecen una mejor resolución espacial en el desarrollo de las ocupaciones prehistóricas, así como secuencias largas de ocupación reiterada del espacio, que nos permiten analizar los cambios en la dinámica de las ocupaciones de los yacimientos y del territorio, particularmente durante el Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) (Tablas 14.1 y 14.2).

Otro criterio de selección de los yacimientos estudiados a sido la altura y la distancia entre ellos. Entre la Cova del Sardo y el Abric de les Obagues de Ratera se puede cubrir, prácticamente, desde la base del piso subalpino, hasta el límite superior del bosque. Lo que abre la posibilidad de interpretar distintas gestiones del medio, en función del paisaje y de la distribución de los recursos.

Los sondeos realizados tampoco han sido elegidos al azar. El Forcall de Sant Esperit – AS 2, ha sido elegido por situarse justo en el fondo del valle de Sant Nicolau, en una de las planicies aluviales más interesante a nivel geográfico, pues conecta con el Vall de Llacs. Además, se encuentra justo en el entorno inmediato de la Cova del Sardo y es la planicie más extensa de la zona.

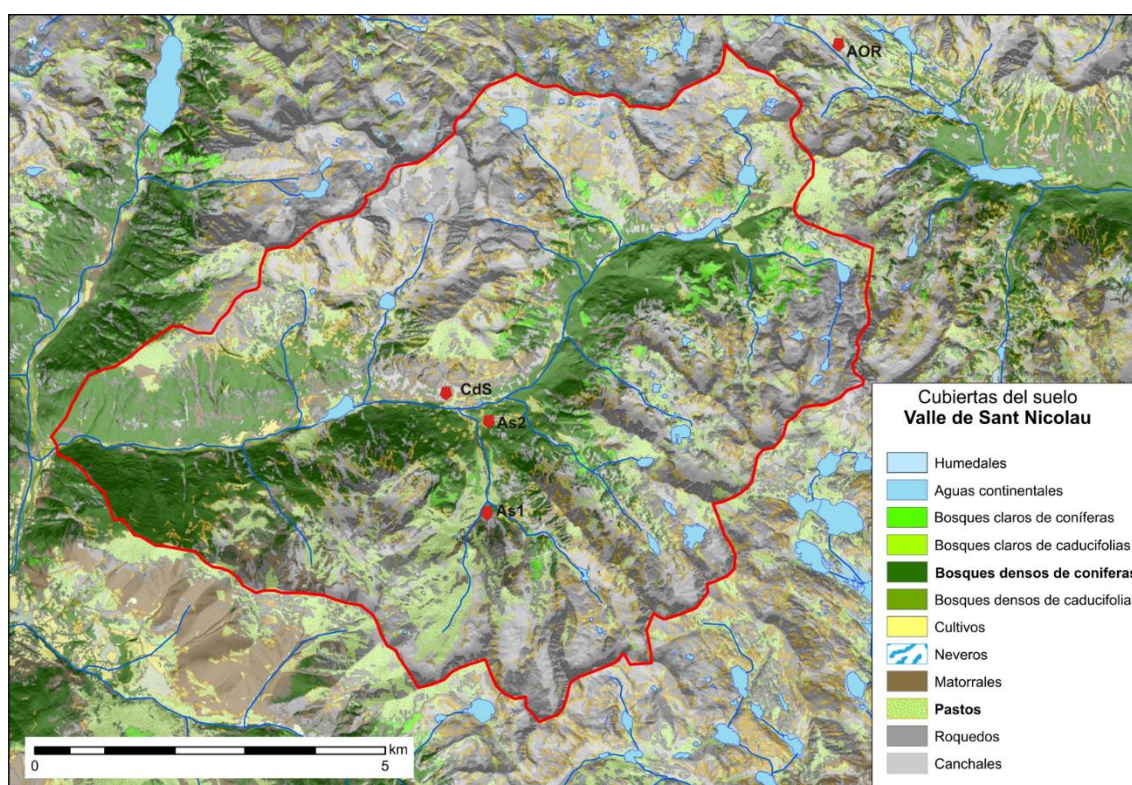
La Pleta d'Erdo – AS 1, por su parte, ha sido elegida para la realización del siguiente muestreo, dada su posición, en el *timberline* actual, y por la concentración de yacimientos y vestigios arqueológicos de diferentes periodos del Holoceno final que han sido documentados en la zona (Gassiot, 2016).

Con el fin de delimitar las relaciones existentes entre los espacios de hábitat y su entorno físico, trataremos de establecer relaciones de orden comparativo entre conjuntos de fitolitos hallados en contextos arqueológicos, con otros recuperados en sondeos realizados fuera de los yacimientos. Para establecer correlaciones entre ambos tipos de registros sedimentarios hemos empleado las dataciones C14 de los estratos muestreados, que, junto con la estratigrafía, nos permite comparar los conjuntos de fitolitos identificados en cada muestra estudiada

Evidentemente, las condiciones de formación de cada estrato u horizonte sedimentario delimitan una duración distinta de cada evento acumulativo, así como las condiciones en que éste se produjo. No es lo mismo un proceso de sedimentación lenta, de tipo edáfico, que uno aluvial.

Todos los muestreos de sedimento estudiados en este trabajo de investigación han sido realizados en contextos sedimentarios, ya sea en yacimientos arqueológicos situados en torno a abrigos rocosos, o bien en planicies aluviales, donde se forman suelos estratificados y de larga duración en el tiempo (Brown, 1997).

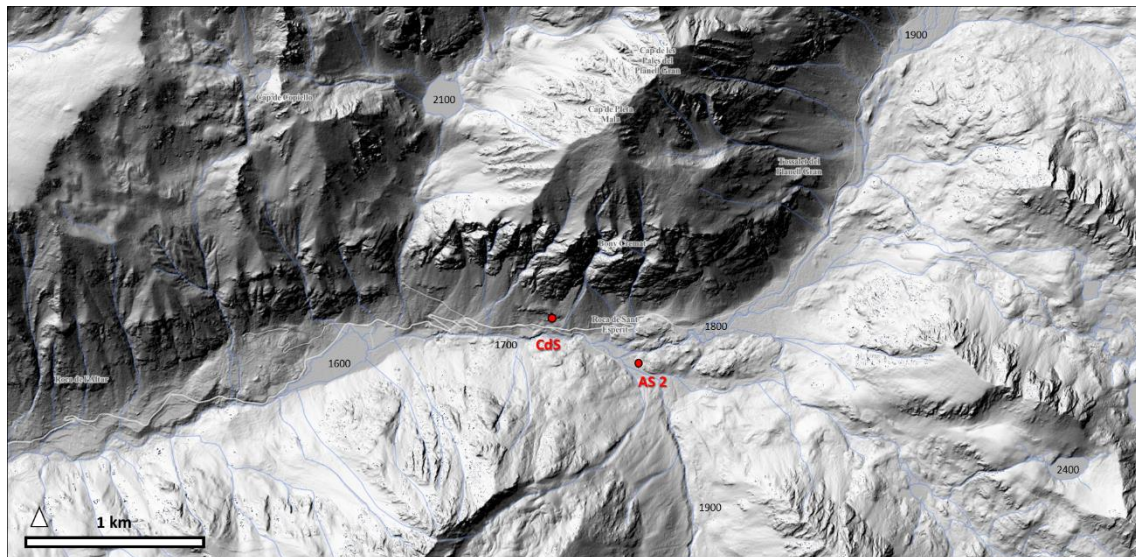
Un segundo elemento de decisión práctica y científica en la definición del muestreo sedimentario realizado ha sido la limitación del área estudiada a un tipo de contexto geológico concreto. Con la excepción de las muestras obtenidas en el sondeo de *Pleta d'Erdo* (AS 1), que es una cubeta de sobreexcavación glacial situada en una zona de contacto entre varios afloramientos de pizarras y calcáreas, con las granodioritas son dominantes en todo el valle (Martínez-Rius 2011).



**Figura 5.3. Mapa de la cobertura vegetal actual en el valle de Sant Nicolau, con la localización de los 4 muestreos discutidos (CdS, AOR, AS 1 y AS 2).** En la imagen se aprecia la superficie forestal, dominada por el bosque de coníferas subalpino. Destacan las zonas de pradera alpina y los extensos brezales de ericáceas, así como los roquedos donde no se desarrolla vegetación vascular (Mapa del *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya* - ICGC + Cobertura del suelo: CREAM).

Otro elemento unificador de nuestro caso de estudio es la localización altitudinal de las muestras en un único piso bioclimático, dentro del valle. Particularmente, hemos desarrollado nuestro trabajo de análisis en el piso bioclimático subalpino, que se desarrolla, *grosso modo*, entre los 1700 y los 2400 m de altitud, que es el piso altitudinal donde se concentran la mayor parte de sitios ocupados en la prehistoria, durante el Holoceno, en el PNAESM (Gassiot et al., 2016; Garcia-Casas, 2018).

Aunque, como veremos en adelante, los muestreos que ofrecen mayor resolución y resultados más interesantes a nivel prehistórico son los procedentes del fondo del valle (CdS y AS 2), hemos planteado la necesidad de comparar los datos obtenidos en el fondo del valle con aquellos procedentes del límite superior del bosque (AOR y AS 1) (Figura 5.3).

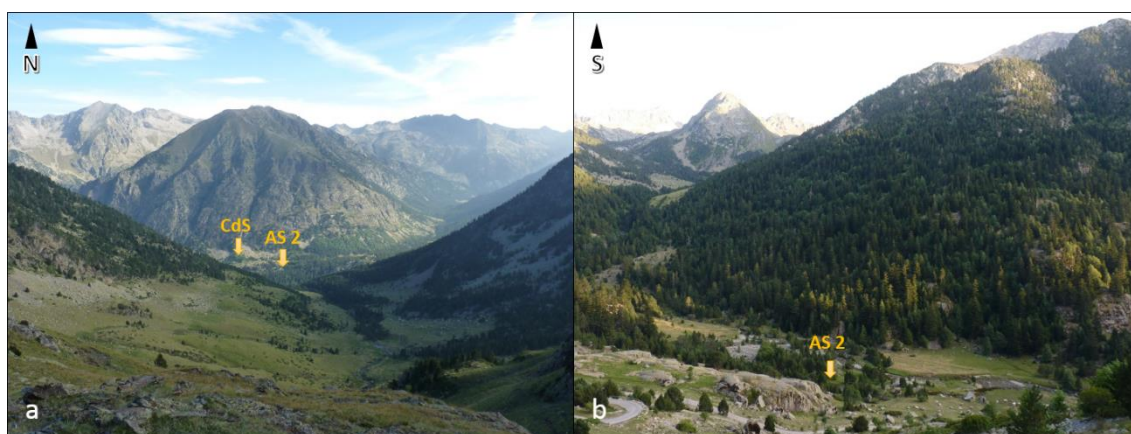


**Figura 5.4. Mapa topográfico de Aigüestortes, con la localización de CdS y AS 2.** Se observa la ubicación de la Cova del Sardo (CdS) (1790 m) y el perfil del Forcall de Sant Esperit - AS 2 (1771 m), que se localiza 563 m al SE del abrigo, ambos en el fondo del valle de Sant Nicolau.

Los dos depósitos sedimentarios principales que dan pie a este trabajo de investigación doctoral se localizan el curso medio del fondo del valle de Sant Nicolau, prácticamente a la misma altitud (1770 / 1775 m snm), en un contexto ecológico de fondo de valle alterado por la actividad humana, donde se desarrollan formaciones vegetales boscosas y algunos pastizales (Figura 5.5).



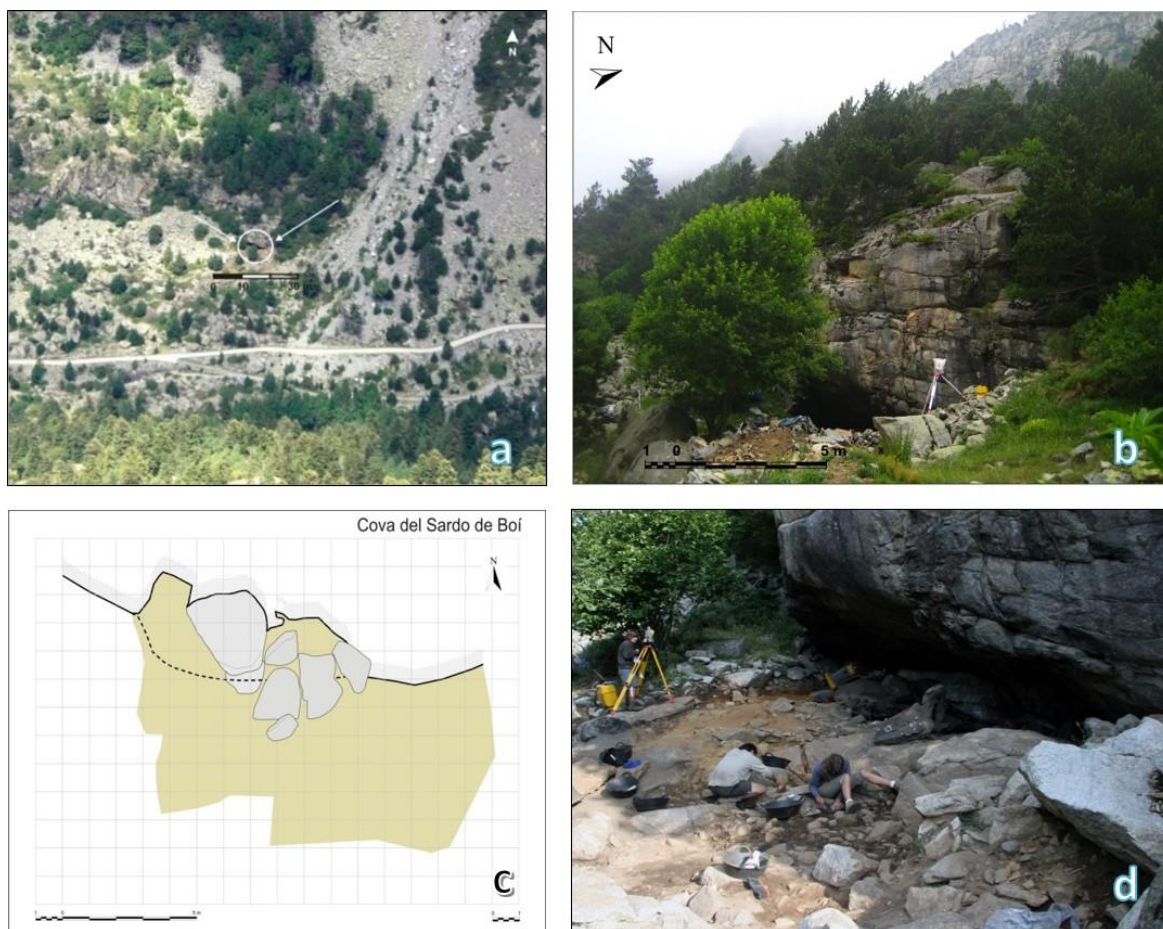
Se trata del yacimiento arqueológico de la Cova del Sardo (CdS) (1774 m snm) y el sondeo de Forcall de Sant Esperit (AS 2) (1771 m snm), situado a 563 m al SE del abrigo (Figura 5.4). Ambos se localizan en el piso bioclimático subalpino inferior, actualmente dominado por un bosque mixto boreoalpino de coníferas (*Pinus mugo ssp. uncinata*, *Pinus sylvestris*, *Abies alba*) y caducifolias (*Betula pendula*, *Corylus avellana*, *Sorbus acucuparia*); parcialmente degradado en el fondo de valle por pastizales subalpinos nitrófilos (*Carex sp.*, *Nardus stricta*, etc.) y abundantes ericáceas (*Rhododendron ferruginosa*, *Arctostaphylos uva-ursi*, etc.) y enebrales (*Juniperus communis ssp. Nana*), que forman un sotobosque relativamente abierto y transitable (Carrillo y Ninot, 1992) (Figura 5.5).



**Figura 5.5. Vista general del curso medio del valle de Sant Nicolau y Vall de Llacs.** (a) Localización de la Cova del Sardo (CdS) y el sondeo del Forcall de Sant Esperit (AS 2). Se observa el mantenimiento de zonas de pastizal subalpino en torno a los cursos fluviales en Vall de Llacs y Sant Esperit. (b) Localización del sondeo AS 2, al pie del Forcall de Sant Esperit, en la planicie aluvial donde convergen el río Sant Nicolau con los ríos de Llacs y Morrano.

El principal yacimiento arqueológico de nuestro caso de estudio, la Cova del Sardo, es un pequeño abrigo de 19 m<sup>2</sup> (Gassiot 2010) que se localiza en una pequeña terraza de unos 100 m<sup>2</sup>, bajo un saliente rocoso erosionado por la acción del antiguo glaciar de Sant Nicolau, y rellenada en el Holoceno por materiales procedentes de los conos de deyección del canal del Sant Esperit (Figura 5.6). El suelo es ácido (Ph: 4,5 – 5) y pedregoso, formado principalmente por granodioritas. Parte de la Cova del Sardo suele inundarse en primavera o en épocas lluviosas. El enclave se sitúa a unos 110 m de distancia y 55 m de altura por encima del río Sant Nicolau, y a 563 m lineales y 4 m de altura sobre el sondeo AS 2 (Figura

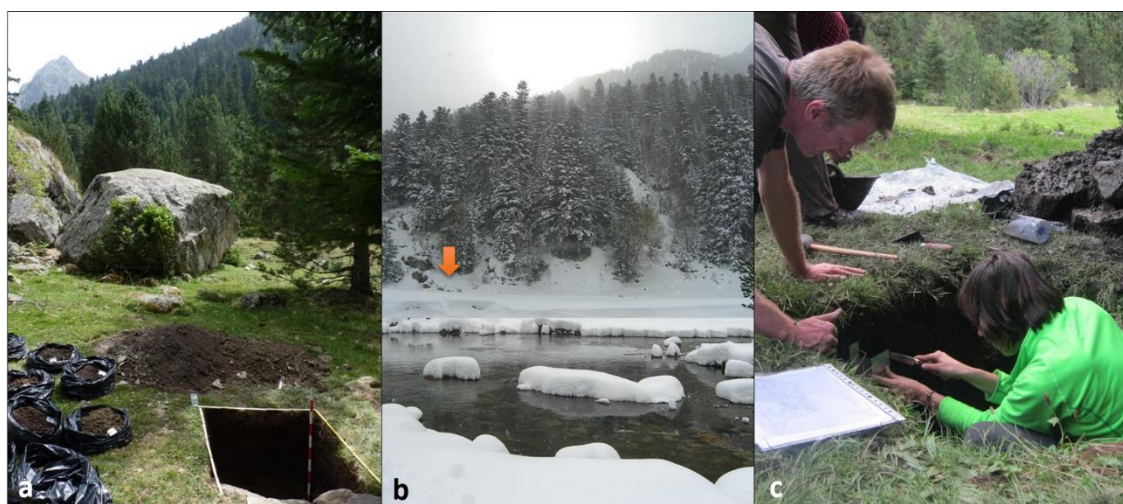
5.4). La vegetación dominante en el entorno del yacimiento es un bosque abierto de pino albar (*Pinus sylvestris*) con presencia de abetos (*Abies alba*), avellanos (*Corylus avellana*) y abedules (*Betula pendula*). Se trata de una zona de solana con escaso desarrollo del suelo, degradada por la acción antrópica a lo largo del tiempo, como señala la importante presencia de matorrales de ericáceas (*Rhododendrum*, *Vaccinium*, *Arctostaphylos*), rosáceas (*Rubus*) y enebrales (*Juniperus communis ssp. nana*), y el escaso desarrollo de los árboles, que aparecen dispersos (Figura 5.6).



**Figura 5.6. Cova del Sardo.** a) Localización del abrigo desde el Sur del valle. Las flechas indican la orientación de los conos de deyección laterales. b) Vista general del abrigo desde el Este. Se observa en primer plano un muro de cierre de la terraza del siglo IX. c) Planta de la superficie excavada del yacimiento (74 m<sup>2</sup>). La línea de puntos marca la vertical de la cornisa. d) La excavación de los niveles Neolíticos del yacimiento, en agosto de 2007.

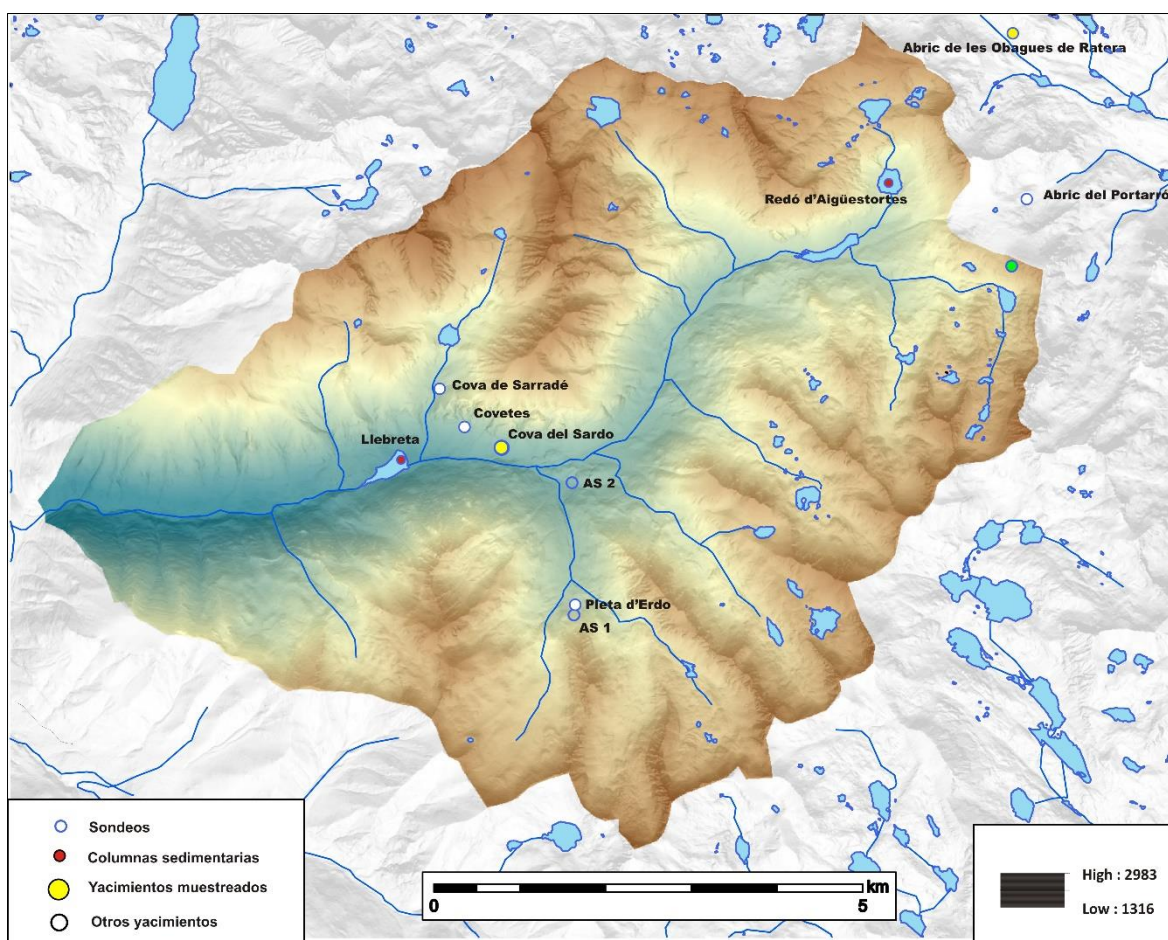
En un punto central del valle encontramos un saliente rocoso, flanqueado por el río Sant Nicolau al norte y el río de Llacs al sur, el Forcall de Sant Esperit. Al oeste del afloramiento rocoso se desarrolla una pequeña semiplanicie aluvial, Planes de Sant Esperit, donde convergen los arroyos de los valles de Murrano y Llacs con el Río Sant Nicolau; rodeada de afloramientos de granodioritas, muy erosionados por el antiguo glaciar, que conforman grandes superficies de rocas erosionadas (Figura 5.5(b)) (Martínez-Rius et al., 2011).

En torno a la planicie aluvial se localizan pequeñas terrazas fluviales holocénicas, lugar donde realizamos el muestreo de suelo AS 2, en una terraza elevada entre los dos ríos, justo al pie del Forcall de Sant Esperit (Figura 5.5). Actualmente, la vegetación del entorno se puede dividir entre una pradera subalpina ácida y relativamente nigrófila, compuesta por cervunales (*dom. Nardus stricta*) con cárices (*Carex sp.*) y diversas hierbas ruderales (*Chenopodium sp*, *Urtica sp*, etc.), que domina la planicie aluvial, y un bosque abierto de abetos (*Abies alba*) con pinos negros (*Pinus mugo ssp. uncinata*), abedules (*Betula pendula*) y rododendros (*Rhododendron ferruginea*), que domina el afloramiento rocoso. El sondeo AS 2 se localiza, actualmente, en un pastizal, pero al pie del bosque (Figura 5.7).



**Figura 5.7. Forcall de Sant Esperit – AS 2.** (a) Fotografía de agosto de 2012 cuando realizamos la primera toma de muestras sedimentarias de esta tesis. (b) Fotografía de noviembre de 2013, que señala la localización del muestreo de suelo AS 2, a la base del Forcall de Sant Esperit, en una terraza superior, entre el río de Llacs y el Sant Nicolau a 1771 m snm. (c) Fotografía de agosto de 2014, durante los trabajos de extracción de columnas y muestras del perfil para el análisis químico, sedimentario y micromorfológico.

Además de estos dos muestreos, también se incluyen dos muestreos más, complementarias, realizados en zonas más elevadas del valle, en torno al límite superior del bosque, en la transición entre el piso bioclimático subalpino superior y el alpino inferior, que se desarrolla entre 2200 y 2400 m, aproximadamente (Figuras 5.8, 5.9 y 5.10).

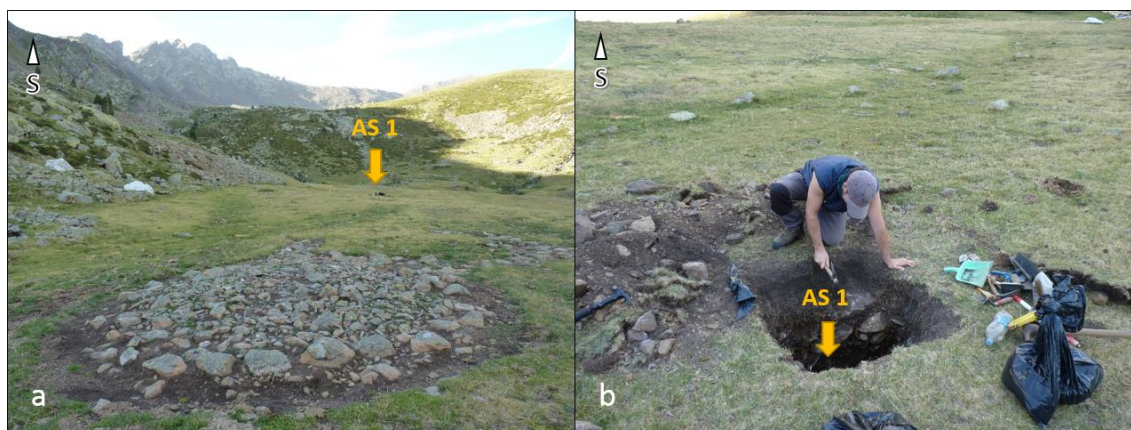


**Figura 5.8. Mapa topográfico del valle de Sant Nicolau, con la localización de los yacimientos estudiados, los sondeos realizados y las columnas sedimentarias discutidas.** En amarillo aparecen los dos yacimientos estudiados en esta tesis y en gris los dos sondeos. En blanco otros yacimientos prehistóricos discutidos. En rojo se marca la localización de los dos sondeos lacustres publicados.

El más próximo al área nuclear de nuestra investigación se localiza el sondeo de la Pleta d'Erdo - AS 1 (2255 m snm), situado a unos 41 m al sur del Túmulo de la Pleta d'Erdo, y a 2114 m al norte del sondeo de Forcall de Sant Esperit (AS 2), 484 metros más elevado; aproximadamente a 75 minutos de la Cova del Sardo (CdS) (Tabla 14.2).

El muestreo de suelo (AS 1) se localiza en la Pleta d'Erdo, una pequeña cubeta de sobreexcavación glacial de unos 30285 m<sup>2</sup> de superficie. El substrato dominante son esquistos y granodiaritas, aunque nos encontramos en una zona de contacto geológico, con presencia de algunas calcáreas y pizarras.

La zona actualmente es una planicie aluvial recorrida por el arroyo de Montanyó de Llacs, encontrándose deforestada y conformando una pradera de cervuno (*Nardus stricta*) y cárices (*Carex sp.*). En las zonas más rocosas y abruptas, donde no pastan los grandes rumiantes, encontramos vegetación abierta de leñosas formada por algunos pinos negros (*Pinus mugo ssp. uncinata*), rododendros (*Phododendron ferrugínea*) y enebros (*Juniperus communis*), principalmente, que conforman un paisaje de brezal de ericáceas, alrededor de la Pleta d'Erdo (Figura 5.9 (a)).



**Figura 5.9. Pleta d'Erdo,** (A) fotografía del túmulo en primer plano, con la localización del sondeo AS 1, realizado 41 m al norte de la estructura, a 2255 m snm, en la misma planicie aluvial, formada al rellenarse una cubeta de sobre excavación glacial a inicios del Holoceno. (b) Detalle de la excavación del sondeo y toma de muestras sedimentarias realizada en agosto de 2012.

El segundo yacimiento arqueológico incluido en este trabajo es el Abric de les Obagues de Ratera (AOR) (2312 m snm), que se localiza en las inmediaciones del Port de Ratera, a 1450 m al sureste de la divisoria de aguas de la Cordillera, en la cabecera del valle de Espot y a 7,6 km al noreste de la Cova del Sardo, a unas 5 horas a pie y 522 metros más elevado. Se trata de un pequeño abrigo localizado bajo un gran bloque errático en la base de una morrena rocosa, a unos 15 metros sobre un pequeño arroyo (Figura 5.10(b)).

Ambos sitios actualmente se encuentran en contextos ecológicos abiertos, en torno al límite superior del bosque, con presencia de Pino negro (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y Rododendro (*Rhododendron ferruginosa*), así como praderas alpinas higrófilas (*Carex sp.*, *Nardus stricta*, *Festuca eskia*, etc.) (Figura 5.10(a)).



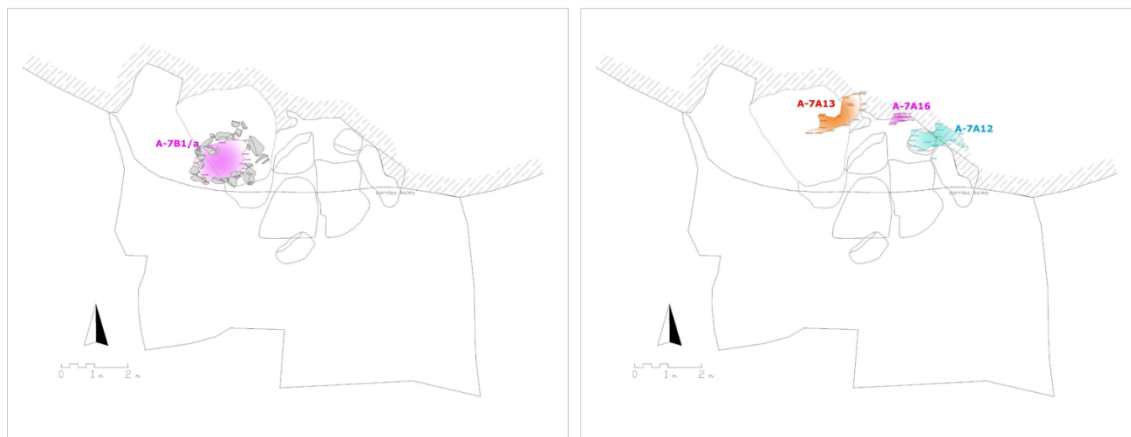
**Figura 5.10. Abric de les Obagues de Ratera.** A la izquierda, fotografía del entorno del. Se caracteriza por ser un medio abierto, con presencia de pino negro, rododendro y cárices, una asociación vegetal característica del estadio subalpino superior.

### 5.3.2 EL MUESTREO DE LOS ESPACIOS DE HÁBITAT

#### *Excavaciones arqueológicas*

Por su parte, los espacios de hábitat prehistóricos estudiados han sido muestreados siguiendo un protocolo sistemático de recogida de muestras sedimentarias, adaptado a las técnicas y métodos de excavación arqueológica en extensión. Por ejemplo, la Cova del Sardo de Boí, que es el principal yacimiento arqueológico estudiado en esta tesis doctoral, consta de 4 fases de ocupación prehistóricas que han sido excavadas en una extensión de 74 m<sup>2</sup> (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2014 y 2015). Cada unidad estratigráfica ha sido identificada según un sistema de nomenclatura sistemático, adaptado del procedimiento propuesto por Castro et al. (1999) que incluye la zona del yacimiento, el nivel cronológico, el tipo de estrato

(estructura o superficie) y la capa. Por ejemplo, el estrato A-8B4base, sería la base del relleno sedimentario de una estructura (B4), localizada en la zona A del yacimiento y perteneciente a la fase 8 (Figura 5.11).



**Figura 5.11. Alzamiento topográfico por UE, de la Cova del Sardo.** En la figura se observa como cada unidad estratigráfica (UE) que ha sido excavada en extensión, ha sido delimitada topográficamente. Por lo tanto, podemos reconstruir la procedencia estratigráfica y contextual exacta de cada muestra de sedimento estudiada en esta tesis y la localización de la UE de la que procede, así como las cotas de la misma.

Cada unidad estratigráfica (UE) ha sido descrita en una ficha detallada, delimitada topográficamente y muestreada para su datación por C14. Todos los elementos o materiales arqueológicos macroscópicos relevantes han sido coordinados y fotografiados *in situ*. Además, toda la información relevante ha sido reflejada en cuadernos de campo. Se han realizado dibujos, planimetrías y fotografías detalladas de cada elemento estructural (Figura 5.12) (Gassiot, 2011). De modo que podemos situar técnicamente cada muestra recogida en relación a toda la información arqueológica y topográfica de la exvación (Figura 5.12).



**Figura 5.12. Detalles de la excavación y toma de muestras de sedimento de la Cova del Sardo.** Toda la información referente a las muestras fue anotada, descrita y topografiada, en relación con sus UE de procedencia. En las fotografías, tomadas durante la excavación de la Cova del Sardo en agosto de 2006, se observa cómo fue recuperada y documentada cada muestra sedimentaria.

De cada UE fue recuperado al menos el 10 % del sedimento para su flotación y la obtención de macrorestos vegetales y carbones (Gassiot, 2011). Habiendo sido determinados taxonómicamente entre 30 y 150 carbones por unidad sedimentaria (Obea et al., 2011; Obea y Rodríguez-Antón, 2016) y entre 20 y 50 macrorestos vegetales carbonizados por nivel (Gassiot et al., 2012). Además, fueron analizadas 10 muestras polínicas, que incluyen toda la secuencia de ocupaciones del Holoceno medio (Gassiot et al., 2012).

Igualmente, fue tomada una muestra de sedimento para el análisis de fitolitos de cada UE, y en los casos de grandes estructuras, se tomaron muestras de las diferentes capas dentro de la misma estructura. De modo que existe una detallada información topográfica, contextual y fotográfica de cada UE, estando documentada sistemáticamente y contextualmente la procedencia de cada una de las muestras de sedimento que han sido analizadas en esta tesis



doctoral: un total de 24 muestras arqueológicas, procedentes de diferentes niveles y estructuras de ocupación prehistóricas de la Cova del Sardo.

Las 24 muestras seleccionadas para su estudio de los fitolitos han sido divididas entre el interior del abrigo (12 muestras) y la terraza exterior (12), así como entre las 3 fases cronológicas prehistóricas analizadas: Neolítico final/calcolítico (5), Neolítico medio (10) y Neolítico antiguo (9). Hemos muestreado diferentes tipos de contextos. Estructuras de combustión, zonas de frecuentación, áreas de consumo y procesamiento de productos, y también posibles fases de abandono o desocupación del sitio.

En definitiva, el objetivo del muestreo arqueológico es entender los registros sedimentarios en toda su complejidad, sin descartar ni seleccionar a priori un tipo de contextos concretos, sino incluirlos todos, para su estudio (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4).

Durante la excavación arqueológica del Abric de les Obagues de Ratera, el segundo yacimiento arqueológico que se incluye en esta tesis, el procedimiento metodológico de muestreo sedimentario seguido fue equivalente, recuperándose un total de 7 muestras sedimentarias para el análisis de fitolitos (Figura 6.).

Los criterios de selección de las muestras en el Abric de les Obagues de Ratera han sido idénticos, sin descartar ningún estrato o zona de la excavación, e incluyendo también la zona exterior e interior del abrigo (Figura 8.1).

### **5.3.3 EL MUESTREO DEL ENTORNO DE LAS ÁREAS DE OCUPACIÓN**

---

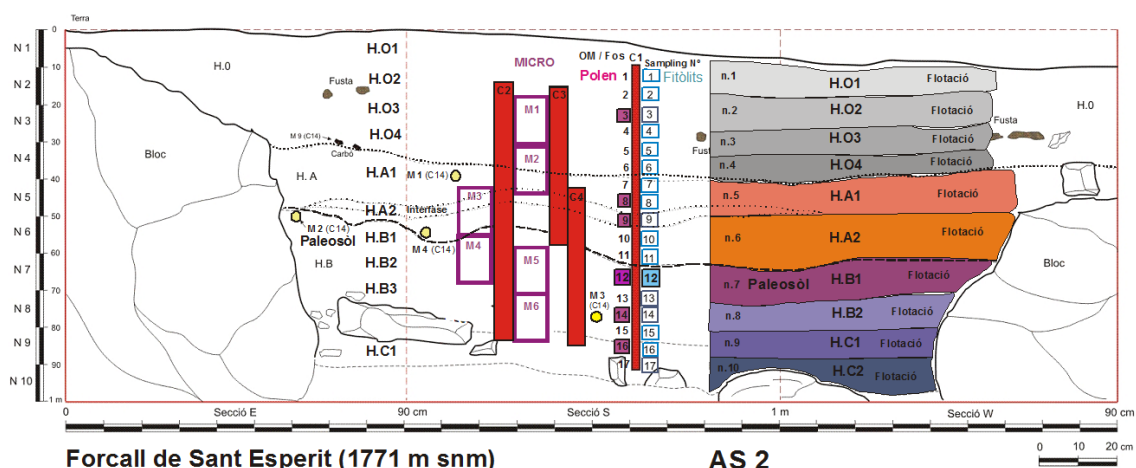
#### ***Sondeos paleosedimentarios***

Los diversos sondeos realizados en suelos, de los cuales hemos incluido 2 en esta tesis, han sido llevados a cabo siempre con una metodología sistemática que incluye la excavación de una cata de 1 m<sup>2</sup> hasta alcanzar, si es posible, la roca madre o la base geológica inorgánica

sobre la que se ha formado el suelo, que en los contextos de alta montaña muestreados ha sido hallada ente 85 cm y 1 m de profundidad (Gassiot et al., 2016).

Mientras se realiza la cata, se documentan detalladamente la edafología y las características de los sedimentos observados, tomándose muestras sistemáticas de todos los niveles. Son recogidos un mínimo de 11 L de sedimento cada 10 cm, dentro de cada estrato u horizonte stratigráfico, de los que posteriormente se realizará la flotación de 10 litros cúbicos para la extracción y análisis de carbones sedimentarios y otros macrorestos vegetales (Figura 5.11) (Cunill, 2010).

Nivel	Horizontes sedimentarios	Carbones	C-14 (ka cal BP)	Micro	Fitolitos	Polen	MO / Fósforo
H.O 1/2	Orgànic (húmic) = LL/ARC + CBO/FUSTA	n. 1, 2		M1	1,2,3	3b	S
H.O 3/4	Orgànic (húmic) = LL/ARC + CBO/FUSTA	n. 3, 4		M2	4,5,6		AS2-M1 / S2
H.A1	Orgànic = LL/ARC + GRA/CLA+CBO	n. 5	AIG 1 (1 - 0,8)	M2	7,8,9	8b,9b	AS2-M2
H.A2	Orgànic = LL/ARC + GRA/CLA+CBO	n. 6	AIG 2 (7,2 - 7)	M3	10, 11	11b	AS2-M3
H.B1	Paleosòl = LL/ARC + CLA+GRR	n. 7	AS 2 (7 - 6,9)	M4	12, 13	12b	AS2-M4
H.B2	Paleosòl = LL/ARC + CLA+GRR	n. 8	AIG 3 (8,6 - 8,4)	M5	14, 15	14b	AS2-M5
H.C	Inorgànica = LL/GRA + CLA	n. 9,10		M6	16, 17	16b	AS2-M6+re.p



**Figura 5.13. Muestreo paleosedimentario detallado de un perfil de suelo.** Ejemplo de la sistemática de muestreo y documentación de suelos realizada en el trabajo de campo. Cada cata realizada en esta tesis ha sido documentada con una metodología equivalente, recuperándose diversos tipos de muestras del suelo: macrorestos vegetales, sedimento, microrestos, muestras para C-14, muestras para micromorfología, fitolitos y polen.

Además, se toman muestras, al menos cada 5 cm, para el análisis de los microrestos biológicos (fitolitos, polen y otros), habitualmente por duplicado. Si las condiciones sedimentarias del suelo lo aconsejan, también se obtienen columnas y muestras del perfil

en cajas de aluminio para su estudio edafológico y micromorfológico, mediante láminas delgadas. Las columnas de los perfiles también sirven para la extracción, en condiciones de laboratorio, de muestras sedimentarias para análisis de microrestos biológicos, materia orgánica o análisis bioquímicos (Figura 5.14).



**Figura 5.14. Metodología sistemática de muestreo, aplicada a los sondeos paleosedimentarios.** El muestreo de sedimentos, en algunos casos, incluye la toma de muestras del perfil mediante molduras de aluminio, para la extracción de láminas delgadas o la toma de muestras en condiciones de laboratorio de las columnas de sedimentos lacustres o aluviales. En la imagen se puede observar la toma de muestras del perfil AS 2, realizada en agosto de 2014 en el Forcall de Sant Esperit.

El proceso de excavación de cada sondeo incluye un protocolo de intervención sistemático. Cada actuación se documenta detalladamente en un diario de campo, que incluye los detalles de la intervención, una síntesis de la estratigrafía del sondeo y la lista de las muestras sedimentarias recogidas, así como las características ambientales y geológicas del entorno de la localización y las coordenadas GPS del sitio donde se ha efectuado la cata.

La información sedimentaria es detallada sistemáticamente mediante el uso de fichas de campo que incluyen un dibujo esquemático de la localización geográfica y topográfica del sitio, una ficha con la descripción sedimentaria detallada de cada perfil, una descripción del uso actual del suelo, de la vegetación existente, de la geomorfología del terreno y de la geología del substrato.

Todo el proceso de toma de muestras queda sistemáticamente registrado por duplicado, en el cuaderno de campo y en fichas de muestreo. Cada actuación es documentada

fotográficamente de manera sistemática y las fotografías numeradas y descritas en fichas (Figura 5.15).

**Figura 5.15. Fichas de campo.** Toda la información de los muestreos es recogida sistemáticamente en el campo, junto a las muestras sedimentarias, mediante protocolos de actuación y fichas, que incluyen la descripción edafológica, el dibujo a escala de los perfiles y la localización precisa de cada muestra que será posteriormente analizada en el laboratorio. La geomorfología, geología, vegetación y tipo de suelo también son descritos sistemáticamente.

Finalmente, realizamos un dibujo detallado de los todos los perfiles de cada cata y reflejamos en cada sondeo de forma gráfica y a escala, donde, exactamente, han sido tomadas cada una de las muestras (*sedimentos, columnas, muestras para C14, etc.*) y a que unidad estratigráfica u horizonte sedimentario, pertenecen (Figura 5.13).

Toda la información gráfica es digitalizada y pasada a bases de datos, donde cada muestra ha sido nombrada, numerada y registrada (Figura 5.14).

### 5.3.3.1 RESULTADOS ARQUEOBOTÁNICOS

---

#### *Carbones, polen y materia orgánica*

El diseño de nuestra investigación, enfocado en el estudio de los sedimentos, ha incorporado una serie de enfoques metodológicos que buscan recuperar toda la información paleoambiental contenida en cada estrato u horizonte sedimentario (Figura 5.14).

Por lo tanto, hemos puesto en marcha a partir de nuestra sistemática recogida de datos y muestreo (Figura 5.15), el análisis de múltiples biorestos susceptibles de completar la información que puedan aportar por separado, de cara a su lectura e interpretación conjunta.

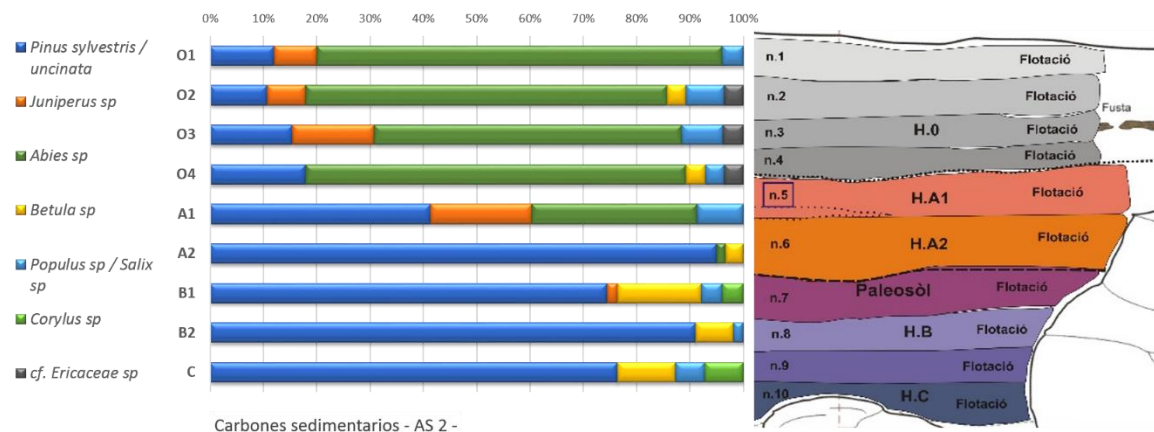
Las aproximaciones metodológicas arqueobotánicas que han sido empleadas en este programa de muestreo, realizado en el sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS2, incluyen, desde una perspectiva integrada (Piqué y Buxó, 2013):

- 1) El análisis de fitolitos.
- 2) El análisis de los carbones sedimentarios.
- 3) El análisis polínico.
- 4) El análisis de la materia orgánica.
- 5) El análisis bioquímico y pedosedimentario.

A continuación, pasamos a resumir sintéticamente los resultados que hemos obtenido de cada una de las aproximaciones metodológica integradas en el estudio pedosedimentario de AS 2 (Figura 5.13).

#### **Macrocarbones**

Han sido determinados 428 carbones sedimentarios, procedentes de 9 muestras taxonómicamente del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2 (Rodríguez-Antón et al., 2019). El muestreo se corresponde con los 5 horizontes sedimentarios descritos en el perfil de suelo (Figura 5.13).



**Figura 5.16. Diagrama taxonómico de carbones sedimentarios del Forcall de Sant Esperit – AS 2.** Se observan, claramente 2 tipos de composición forestal. Una asociada a los niveles O y A1, dominada por las coníferas (*Abies*, *Pinus* y *Juniperus*) y con presencia de ericáceas. Y la otra correspondiente con las fases B y C, con mayor presencia de caducifolias (*Betula*, *Corylus*). Analista: García-Álvarez (Rodríguez-Anton et al., 2019).

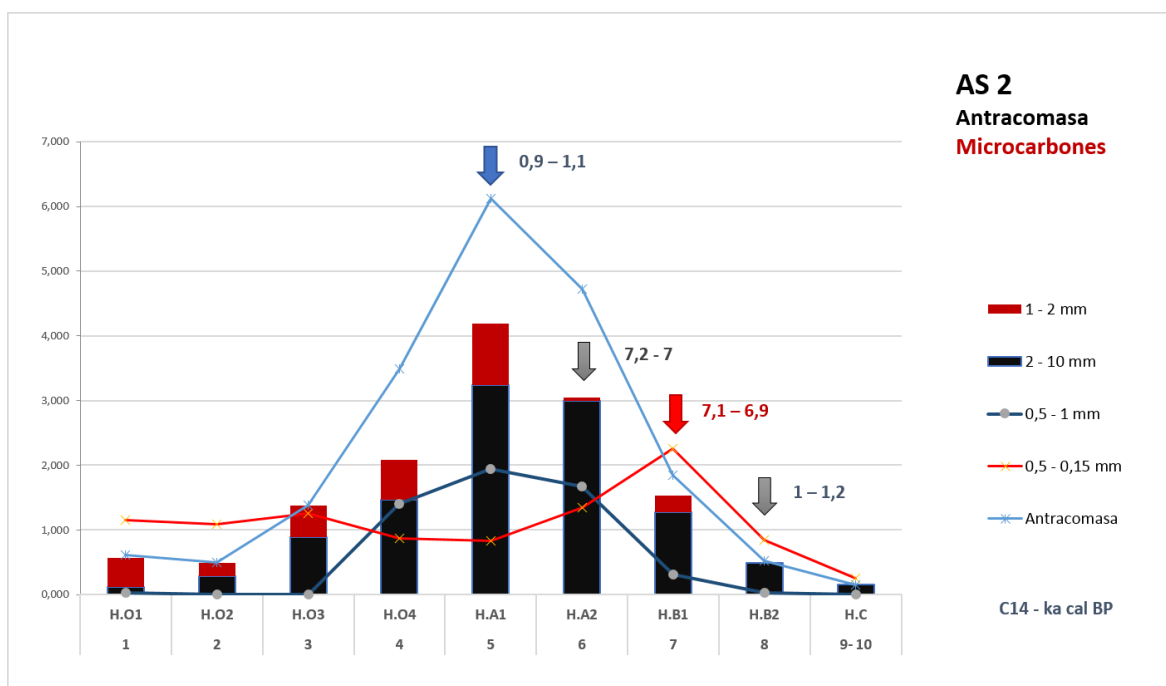
A partir del resultado del estudio taxonómico de macro carbones sedimentarios, básicamente, hemos interpretado que muestra 2 tipos de composición forestal (Figura 5.16):

- La característica del paisaje actual, que podemos asociar con el suelo actual (horizonte O). A nivel antracológico se define por un predominio de *Abies alba*, que es la especie arbórea dominante en el curso medio del fondo del valle de Sant Nicolau, frente al *Pinus sylvestris* o *Pinus mugo ssp. uncinata*. El bosque se ve afectado por una moderada presión antrópica, que se documenta tanto en los muestreos de fitolitos, con porcentajes elevados de GSSCP (50-60%), como en el estudio antracológico con porcentajes significativos de plantas leñosas arbustivas, principalmente, enebro (*Juniperus communis*) y ericáceas (*Rhododendron*, *Vaccinium*, *Calluna*). Además, se documenta un porcentaje significativo de otras dicotiledóneas de las familias *Salicaceae* y *Betulaceae* (Figura 5.16) (Rodríguez-Anton et al., 2019).
- El bosque del Holoceno antiguo y medio, asociado a los niveles A2, B y C. Se caracteriza por tener al pino (*Pinus sylvestris* o *Pinus mugo ssp. uncinata*) como especie dominante y al abedul (*Betula pendula*) como principal especie

complementaria, entre las plantas arbóreas dicotiledóneas, junto a *Corylus avellana* y algunas salicáceas. Sorprendentemente, se documenta ningún carbón del género *Quercus*, que tiene una presencia destacada en la Cova el Sardo. Mientras que la entrada de *Abies*, aunque podría situarse en el perfil A2, pero no se apreciaría una colonización importante hasta A1 (Figura 5.16) (Rodríguez-Anton et al., 2019).

## Microcarbones

A partir del análisis pedológico integral de los carbones sedimentarios contenidos en los 9 niveles analizados, hemos estimado el cálculo de la antracomasa total, así como la masa de microcarbones (0,15 > 0,5 mm). Observando su distribución por rangos de tamaño (Figura 5.17) (Carcaillet y Thinon, 1996; Carcaillet, 2001; Cunill, 2010).

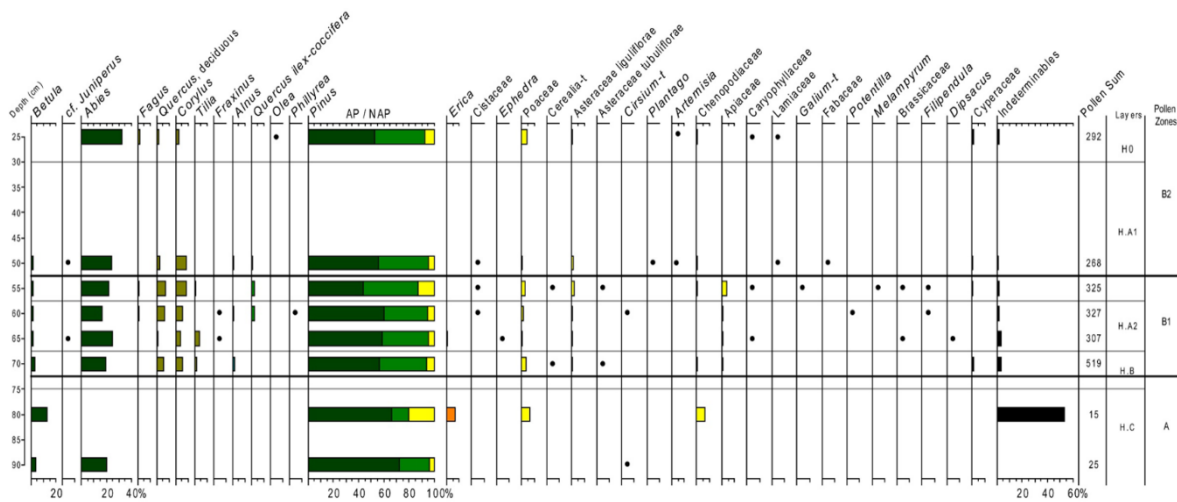


**Figura 5.17. Histograma de carbones sedimentarios de Forcall de Sant Esperit -AS2.** El diagrama muestra la evolución de la concentración de micro y macro carbones sedimentarios sobre la curva de antracomasa, estimada. En el conde de suelo de observa como los picos máximos de macro carbones sedimentarios se concentran en los Horizontes de paleosuelos A1 y A2, si bien el porcentaje máximo de microcarbones (> 0,5 mm) se documenta en B1.

## Polen

Han sido analizadas 8 muestras de polen del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2 (Tabla 14.5, Figura 5.18) (Moore et al., 1991; Burjachs et al., 2003; Mander et al., 2018).

Las muestras inferiores (AS2\_16b y AS2\_14b) presentan algunos problemas postdeposicionales, de escasa concentración polínica y elevado índice de alteración, lo que resta resolución y fiabilidad a las muestras de la base del horizonte B y del horizonte C. El resto de las muestras, presentan concentraciones normales o elevadas de polen en el sedimento (Rodríguez-Antón et al., 2018).



**Figura 5.18. Diagrama polínico del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS 2.** Análisis polínico de 8 muestras del perfil AS 2 (Tabla 14.5). Analista: Jordi Revelles (Rodríguez-Antón et al., 2018).

En comparación con las muestras polínicas de la Cova del Sardo (Figura 3.12) (Gassiot et al., 2012), las muestras del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2, no parecen registrar porcentajes tan indicativos de impacto humano en el paisaje del entorno fluvial de Aigüestortes.

El porcentaje de polen de poáceas se sitúa en rangos muy similares a los documentados en el Estany Redó (Rodríguez-Antón et al., 2018, Catalan et al., 2001). El predominio del polen de coníferas es absoluto en todas las muestras analizadas, destacando *Abies* como el segundo taxón porcentualmente en todas las muestras (16% - 25%), salvo AS2\_14 (que



discutiremos más adelante). También hay que señalar que el porcentaje de caducifolias (*Quercus* y *Corylus*) es significativo (5% - 12%) pero inferior al registrado en la Cova del Sardo o en el Estany Redó (Catalan et al., 2001; Gassiot et al., 2012).

Es un dato muy significativo, porque nos permite introducir algunos elementos a la discusión a cerca de los cambios en el paisaje durante el Holoceno medio en el valle de Sant Nicolau:

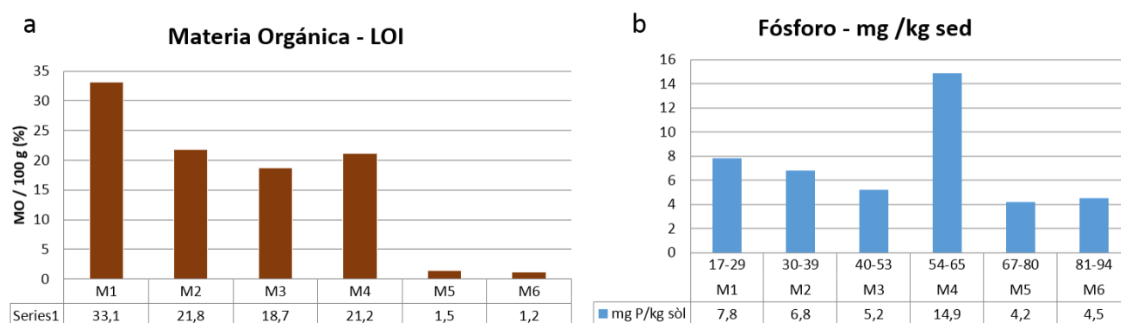
1) Algunos taxones importantes, como *Abies*, pueden aparecer representados con porcentajes muy distintos en la misma cronología en función de la distancia de la muestra a la localización de los abetales. Es significativo que dos muestras fechadas en el intervalo 7,2 – 6,9 ka cal BP, muestren porcentajes de *Abies* elevados (16-20%), cuando la curva polínica de la Cova del Sardo se mueve en porcentajes del 5% en el periodo 7,5 – 6,2 ka cal BP, y el Estany Redó de Aigüestortes en porcentajes del 0,4%. Los datos apuntan a una colonización temprana de *Abies* ligada al fondo del valle. Los carbones sedimentarios del sondeo AS 2 parecen confirman la presencia, testimonial (1,6%), de *Abies* en el estrato A2 (Paleosuelo). En la Cova del Sardo, *Abies* entra a formar parte del registro con un porcentaje importante en la fase 7, con un 5% del total de carbones determinados en el intervalo cronológico 6 - 5,4 ka cal BP.

2) Un porcentaje significativo de roble (*Quercus caudicifolia*) no implica necesariamente una gran cercanía de esa especie a la localización del sedimento analizado, ya que los porcentajes (5 - 7%) documentados en el sondeo AS 2 (Figura 5.17), no se corresponden con ningún carbón determinado en el registro sedimentario (Figura 5.15). Carbones que, sin embargo, suponen el 15% de la muestra de la fase 8 de la Cova del Sardo, datada en el intervalo 6,8 – 6,4 ka cal BP (Figura 3.10) (Rodríguez-Antón y Obea, 2016).

3) Si el polen de las especies arbóreas no parece corresponderse exactamente con la localización de las especies a nivel biogeográfico, un impacto antrópico en la vegetación muy localizado en un área pequeña es prácticamente indetectable en los índices polínicos lacustres o sedimentarios, salvo que las muestras analizadas provengan del lugar exacto donde se produjo la modificación del paisaje. Eso explicaría, en parte, los porcentajes elevados de poáceas (15-20%) de la Cova del Sardo (Figura 3.12), que estarían apuntado, *a priori*, a un impacto muy localizado en el paisaje del entorno del yacimiento (Gassiot et al., 2012).

No obstante, hay otros factores, además del registro polínico y antracológico que podríamos tener en cuenta de cara a validar o falsar esta hipótesis. Para ello disponemos de un estudio pedológico del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2, que nos puede ayudar a formular algunas hipótesis alternativas (Rodríguez-Antón et al., 2018) (Figura 5.19).

## Materia orgánica y fósforo



**Figura 5.18. Análisis químico del sondeo AS 2.** a) Variación en la concentración de materia orgánica y b) de fósforo estimada para cada una de las 6 muestras sedimentarias analizadas del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2. El análisis químico y pedológico se ha basado en el estudio de 6 muestras a nivel micromorfológico. Analista: Ana Bonet (Rodríguez-Antón et al., 2018).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

---

Exponemos con qué materiales empíricos hemos contado para la realización de este trabajo de investigación doctoral, cómo y porqué han sido seleccionadas las muestras dentro de nuestro caso de estudio y con qué metodología han sido analizadas.

En este capítulo expondremos esencialmente, a partir de qué base empírica hemos dispuesto la realización de esta tesis doctoral. Se justificará la selección de los sitios muestreados en nuestro caso de estudio y la toma de muestras que posteriormente serán analizadas.

Se justifica y concreta el trabajo de campo realizado, así como el trabajo de laboratorio posterior, a partir del diseño metodológico de la investigación que hemos expuesto en el capítulo anterior.

Presentamos la lista de muestras analizadas y la metodología de extracción, conteo y análisis de fitolitos empleada

Por último, expondremos cuál será el sistema de análisis e interpretación de los resultados que aplicaremos en adelante, a partir de la descripción y clasificación de los fitolitos observados, mediante una aproximación cuantitativa (Albert y Weiner, 2001; Delhon, 2001; Delhon et al., 2003; Albert et al., 2003; Tsartsidou et al., 2007; Bremond et al., 2008; An et al., 2015).

## 6.1 MUESTRAS ANALIZADAS

---

### *Muestreo por unidades estratigráficas*

Describe la serie de muestras analizadas, su procedencia y localización, así como la metodología de obtención de cada muestra sedimentaria.

Esta tesis se articula en torno en el estudio de un yacimiento principal, la Cova del Sardo de Boí (CdS) y su entorno, en curso medio del valle de Sant Nicolau, donde hemos analizado dos depósitos sedimentarios situados respectivamente a 563 m (15 minutos de distancia de coste) en el Forcall de Sant Esperit - AS 2, y a 2500 m de distancia (1 hora y 15 minutos), en la Pleta d'Erdo - AS 1. Además, hemos incorporado al trabajo un abrigo localizado a mayor altura, el Abric de les Obagues de Ratera (AOR), que se localiza a 9500 m y unas 3 horas y 15 minutos de distancia de la Cova del Sardo (Tabla 14.2, Figura 3.6).

Por lo tanto, para la obtención de un registro empírico sedimentario de fitolitos, hemos muestreado prioritariamente contextos arqueológicos y geológicos de fondo de valle, localizados en el piso bioclimático subalpino inferior (1700 – 1900 m snm). Además, complementariamente, hemos incluido, como elemento de comparación paleoambiental, contextos arqueológicos y sedimentarios procedentes de los circos glaciares, que se ubican en el límite del piso subalpino superior, en torno al *timberline* actual (entre 2200 y 2400 m snm) (Rivas-Martínez, 1987; Ninot et al., 2007).

Debemos remarcar, a partir de la descripción medio ambiental de los diversos contextos estudiados, que se trata en todos los casos de muestreos sedimentarios procedentes de localizaciones situadas en zonas actualmente alteradas por la acción humana, pero que también han sido modificadas y frecuentadas de forma recurrente durante buena parte del Holoceno, como indicaría la presencia de ocupaciones humanas reiteradas a lo largo de la prehistoria.

El concepto paisaje natural no tendría sentido, por tanto, este caso de estudio; discutiéndose el desarrollo de una vegetación potencial frente a una vegetación, claramente, antrópica. Sí

pensamos que es operativo, a nivel geobotánico, la conceptualización de un piso bioclimático subalpino, caracterizado por unas condiciones climáticas y unas formaciones vegetales típicas. Éstas, como veremos, pueden presentar importantes variaciones entre diversas zonas orográficas, pero, en general, nos permiten definir unos límites ecológicos sobre los que conceptualizar los paisajes o las asociaciones vegetales posibles, típicas del medio subalpino europeo (Rivas-Martínez, 2007; Ninot et al., 2007).

A continuación, describiremos cada uno de los contextos a nivel arqueológico y sedimentario y las características concretas de cada muestreo, y expondremos sintéticamente la lógica de la elección de las muestras seleccionadas para el análisis de fitolitos.

### **6.1.1 MUESTRAS PROCEDENTES DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS**

---

Como ya hemos ido desgranando en las páginas precedentes, para abordar el estudio diacrónico de las primeras ocupaciones estables en alta montaña, hemos seleccionado el criterio de selección de los yacimientos arqueológicos y sondeos seleccionados en este trabajo se ha fundamentado, esencialmente en tres elementos: la recurrencia en la secuencia de ocupación de los sitios, su localización geográfica, en el piso bioclimático subalpino, y la posibilidad de detectar el impacto ambiental de las ocupaciones en el entorno.

Para ello, el primer yacimiento que ha sido analizado es el abrigo de la Cova del Sardo, localizado a 1774 m snm, en el curso medio del valle de Sant Nicolau. Se trata del único yacimiento arqueológico situado en el piso subalpino en todo el Pirineo que presenta una secuencia prácticamente continuada de ocupaciones entre 5563 y 2495 cal ANE (Tabla 14.3); es decir, durante la mayor parte del Holoceno medio (7,5 – 4,5 ka cal BP) (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2014 y 2015).

El segundo yacimiento que hemos considerado en este trabajo de investigación, el Abric de les Obagues de Ratera, ubicado a 2312 m snm. Este pequeño abrigo presenta una secuencia temporal de ocupaciones prehistóricas aún más larga en el tiempo, entre 8186 cal ANE y

648 cal DNE. Sin embargo, a diferencia de la Cova del Sardo, las ocupaciones son claramente discontinuas (Gassiot et al., 2019). Únicamente, 3 niveles de ocupación han podido ser fechados en el Holoceno medio: (5736-5636 cal ANE), (4047-3961 cal ANE) y (3085-2571 cal ANE), de los cuales, el último sería el de mayor recurrencia (Gassiot et al., 2019). En esta tesis, únicamente, se han incluido los niveles del Holoceno final, asociados a la Edad del Bronce (1742-931 cal ANE) y a periodos altomedievales (553-648 cal DNE).

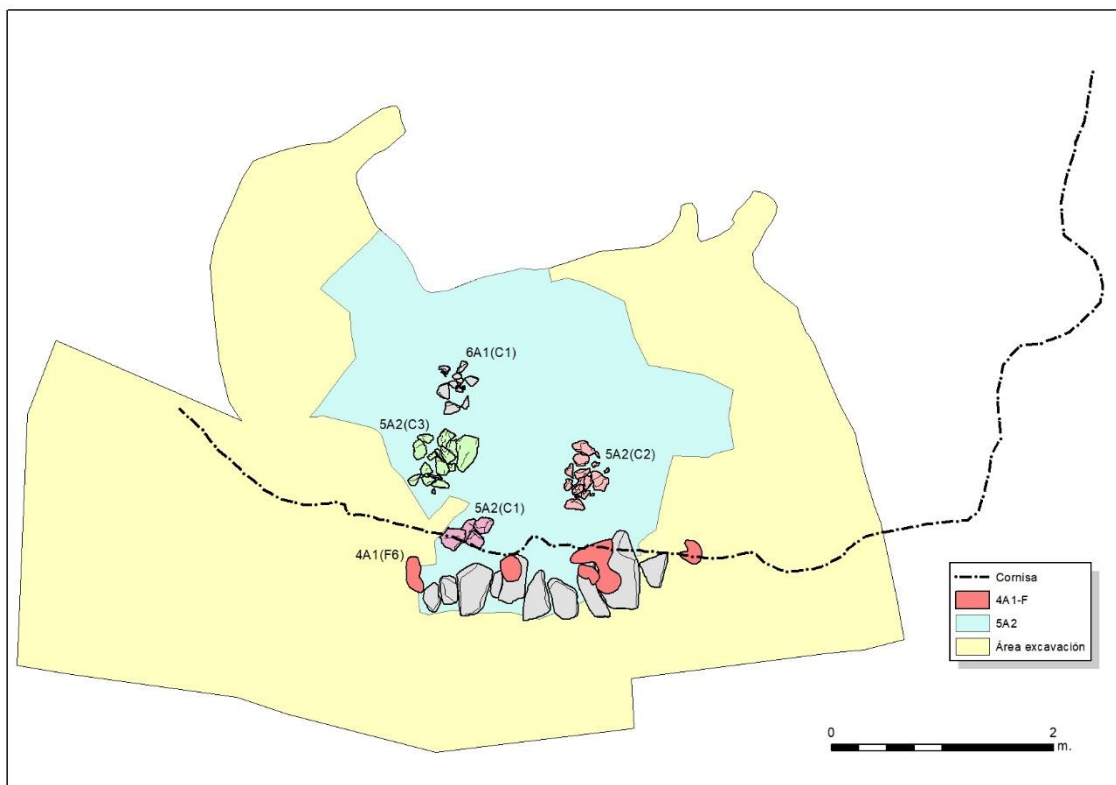
### 6.1.1.1 ABRIC DE LES OBAGUES DE RATERA (2312 m)

Han sido procesadas para el análisis de fitolitos 7 muestras procedentes del Abric de les Obagues de Ratera (AOR) (2312 m snm).

Yacimiento	Fase	UE	C14 Cal ANE (2 $\sigma$ )	Muestra	Contexto arqueológico
Abric de les Obagues de Ratera	4	4B1 (F6)	550-650 DNE	AOR 11	Agujero de poste
Abric de les Obagues de Ratera	5	5A2 (C3)	790 - 540	AOR 10	Hogar
Abric de les Obagues de Ratera	5	5A2 (C3B)	790 - 540	AOR 12	Base de hogar
Abric de les Obagues de Ratera	5	5A2	790 - 540	AOR 6	Muro
Abric de les Obagues de Ratera	5	5A2	790 - 540	AOR 13	Bajo cornisa
Abric de les Obagues de Ratera	6	6A1 (C1)	1190-1000	AOR 8	Hogar
Abric de les Obagues de Ratera	6	5A2 (W)	1735-1565	AOR 5	Interior del abrigo

**Tabla 6.1 Lista de muestras de fitolitos analizadas del Abric de les Obagues de Ratera.** En la tabla se muestran los códigos de laboratorio de cada muestra, el nombre de la UE, el tipo de contexto arqueológico de procedencia y su fechado radiocarbónico C14 asociado (*según* Gassiot et al., 2019).

El muestreo de los niveles del Holoceno final del yacimiento se ha enfocado en el estudio de las estructuras, tanto exteriores, como muros o posibles empalizadas, como interiores: hogares, áreas de producción y consumo (Figuras 6.1 y 8.1).



**Figura 6.1. Planta del Abric de les Obagues de Ratera. Fases 4 y 6. Ocupaciones del Holoceno final (1700 cal ANE - 700 cal DNE).** Se muestra la localización de las estructuras y niveles de ocupación que serán discutidos en esta tesis.

De las 7 muestras extraídas, únicamente 2 (AOR 8 y AOR 11) han podido ser analizadas.

La muestra AOR 8 procede del sedimento interno de un hogar que se localizaba en el interior del abrigo, y que ha sido fechado a finales del II milenio cal ANE, en la Edad del Bronce (Figura 8.1, Tabla 6.1). Se trata de un sedimento rico en cenizas y carbones. En torno al hogar se extendía un suelo de ocupación (5A2), con escaso material arqueológico (Gassiot et al., 2019).

La muestra AOR 11 procede de un posible agujero de poste situado en el muro exterior del abrigo, bajo la cornisa. Se trata de un sedimento rico en cenizas y carbones. Éste ha sido fechado en torno al s. VII, en el periodo visigótico (Figuras 6.1 y 8.1, Tabla 6.1).

### **6.1.1.2 COVA DEL SARDO DE BOÍ (1774 m)**

---

Para la realización del estudio de fitolitos de los niveles prehistóricos de la Cova del Sardo de Boí hemos seleccionado un total de 24 muestras de sedimento procedentes de unidades estratigráficas distintas (Tabla 6.2). 12 muestras proceden del interior del abrigo y las 12 restantes del exterior, de manera que abordamos el estudio del yacimiento en toda su extensión (Gassiot, 2011). La mayoría de las UE muestreadas presentan dataciones directas (Tabla 14.3). Éstas, se localizaron en las todas las fases prehistóricas de ocupación del Holoceno medio del abrigo, antes descritas (*apartado 3.3.2*), abarcando una secuencia cronológica de unos 3000 mil años, comprendida entre 5563 y 2495 cal ANE (Tabla 14.3).

Para facilitar su análisis hemos separado las ocupaciones, que en realidad muestran un continuo (Figura 3.9, Tabla 14.3), en 3 periodos prehistóricos: Neolítico final / Calcolítico (3300-2500 cal ANE), Neolítico medio (4200-3500 cal ANE) y Neolítico antiguo (5500-4400 cal ANE).

Hemos incluido en este estudio muestras de sedimento procedentes de estructuras de combustión o zonas de fuegos, de los 3 periodos. Neolítico final / Calcolítico: CdS 3 (A-5B1); Neolítico medio: CdS 10 (A-7A8), CdS 14 (A-7B4), CdS 9 (A-7A16); y Neolítico antiguo: CdS 16 (A-8B2), CdS 20, 21, 22 y 24 (A-8A4), CdS 23 (A-8A5), CdS 26 (A-9B1) (Gassiot, 2011). Es decir, 10 muestras, en total, proceden de sedimentos de áreas de combustión (Tabla 6.2, Figuras 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 5.15, 8.3 y 8.4). De las 14 muestras restantes, 9 (CdS 1, 2, 5, 6, 13, 25, 26, 27, 28) proceden del exterior del abrigo y 5 del interior (CdS 7, 8, 11, 12, 15). La funcionalidad de estas UE será discutida, ya que algunas han sido descritas como zonas de ocupación, que acumulan residuos diversos (CdS 7,8, 11, 12), mientras que otras podrían corresponderse con periodos de desocupación del sitio (CdS 15, 25, 27 y 28) (Gassiot, 2011).

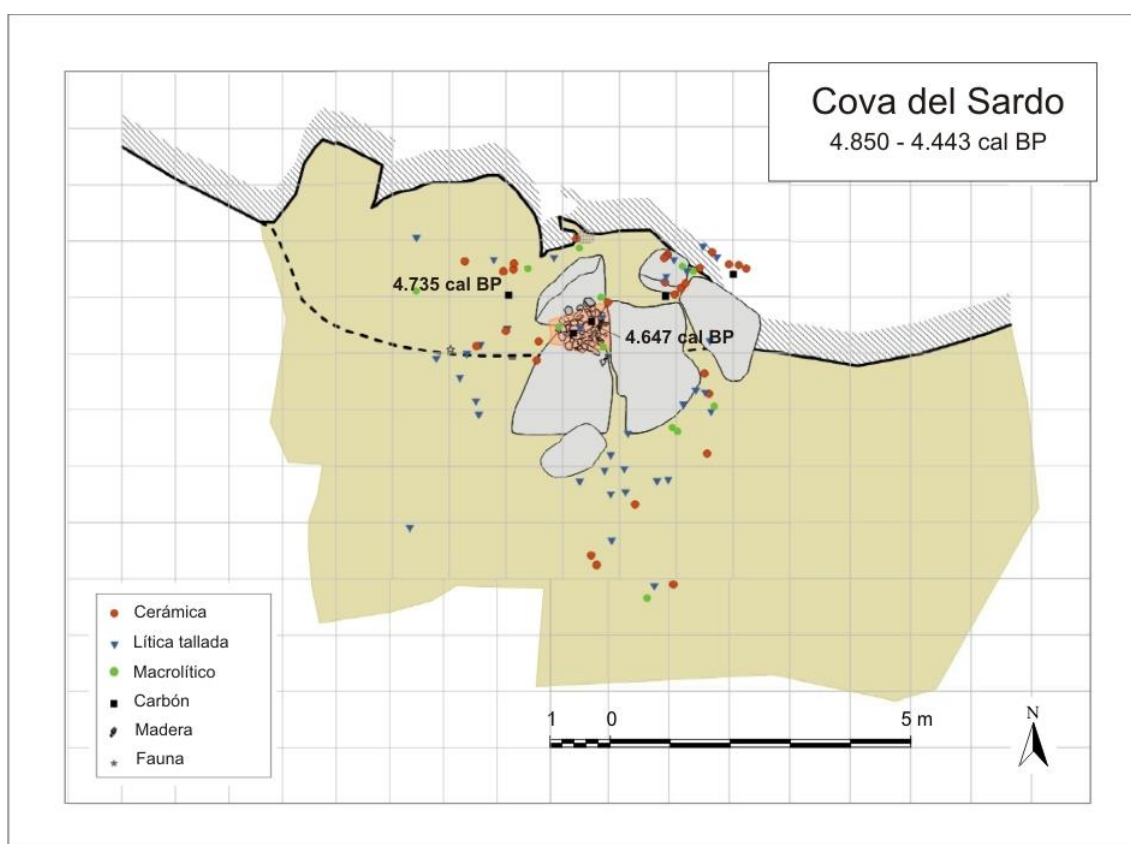


Yacimiento	Fase	UE	C14 Cal ANE (2 $\sigma$ )	Muestra	Contexto arqueológico
Cova del Sardo de Boí	5	A-5B1	2864-2495	CdS 3	Hogar entre bloques interior, zona este
Cova del Sardo de Boí	5	A-5A3	2901-2677	CdS 2	Nivel de ocupación terraza, zona este
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A9	3483-3029	CdS 6	Nivel de ocupación terraza, zona inferior
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A4	3309-3029	CdS 5	Nivel de ocupación terraza, zona este
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A1	3483-3105	CdS 1	Material constructivo, terraza
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A16	3632-3375	CdS 9	Zona de hogar interior central, sobrea A-8B1
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A27	3641-3192	CdS 13	Terraza exterior, zona este
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A29	3641-3192	CdS 12	Nivel de ocupación interior, zona este
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A8-base	3641-3191	CdS 11	Nivel central bajo cornisa, sobre A-8B2
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A8	3641-3191	CdS 10	Área de combustión central, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	7	A-7B4	3791-3652	CdS 14	Relleno de cubeta, zona interior oeste
Cova del Sardo de Boí	7	A-7B6	3939-3702	CdS 15	Relleno de cubeta, zona interior central
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A21	3641-3191	CdS 7	Nivel de ocupación entre bloques, zona este
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A31	4229-3971	CdS 8	Nivel de ocupación interior bajo cornisa, zona oeste
Cova del Sardo de Boí	8	A-8B2	4543-4375	CdS 16	Hogar interior central, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A5	4539-4369	CdS 23	Terraza inferior, continuación de A-8A4, sobre el muro norte
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4-sup	4539-4369	CdS 21	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4-cos	4653-4454	CdS 20	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4-base	4681-4463	CdS 22	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4-inf	4681-4463	CdS 24	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	9	A-8A6	5609-4681	CdS 25	Base de la terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	9	A-9B1	5609-5376	CdS 26	Hogar en cubeta bajo cornisa, zona oeste
Cova del Sardo de Boí	10	A-10A1-W	5609-5376	CdS 27	Sedimento geológico de la zona exterior oeste
Cova del Sardo de Boí	10	A-10A1-E	5609-5376	CdS 28	Sedimento geológico de la terraza exterior este

**Tabla 6.2. Lista de muestras de fitolitos analizadas de la Cova del Sardo de Boí.** En la tabla se muestran los códigos de laboratorio de cada muestra, el nombre de la UE, el tipo de contexto arqueológico de procedencia y su fechado radiocarbónico C14 asociado.

Han sido procesadas 5 muestras de los niveles del neolítico antiguo y calcolítico (3300 – 2500 cal ANE), todas, menos una, proceden de las fases de frecuentación de la terraza exterior del yacimiento (Figuras 6.2, 6.3 y 5.15).

La selección de las muestras ha estado condicionada por la detección de una aparente estructura colapsada hacia la terraza, que podría haber formado una empalizada de troncos de pino (*Pinus sylvestris / uncinata*), que se han conservados quemados, y que podría corresponderse con un nivel de incendio de la estructura (A-6A1) y un suelo de ocupación debajo (A-6A4) (Figuras 6.2, 6.3 y 5.15) (Gassiot, 2011).

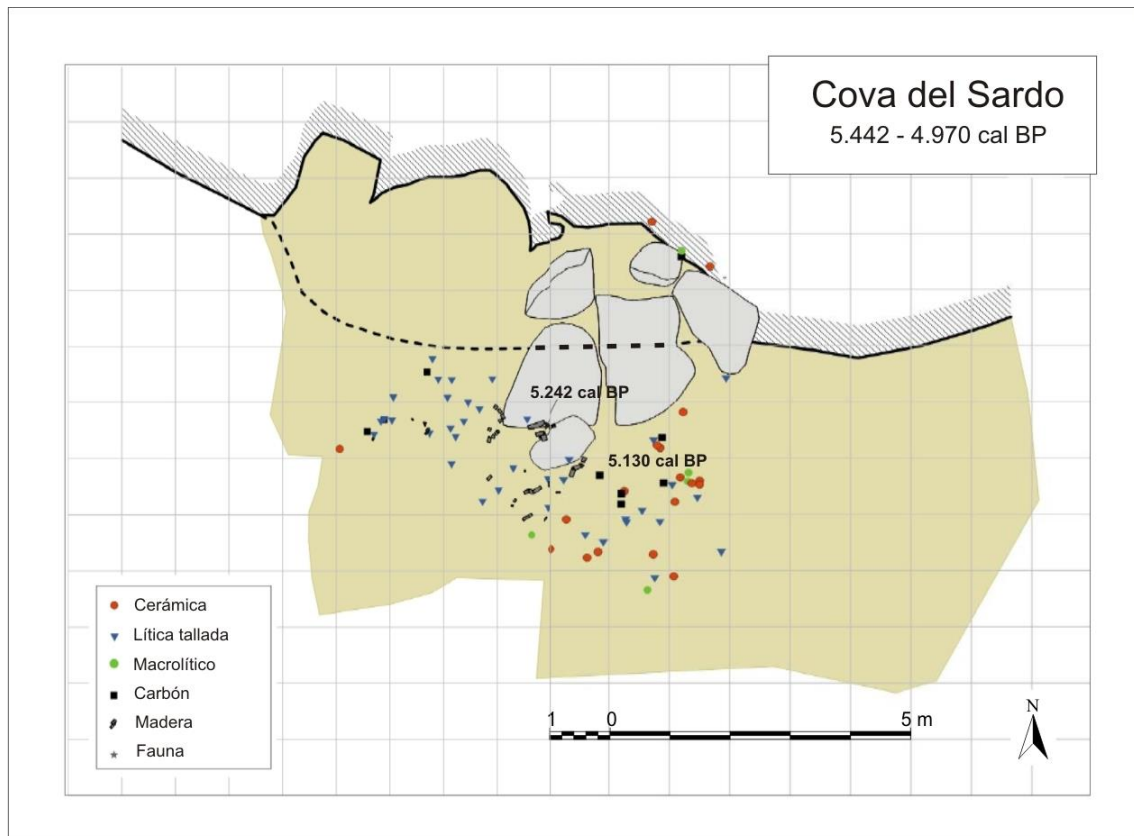


**Figura 6.2. Planta de la Cova del Sardo. Fase 5. Ocupación calcolítica (2900-2500 cal ANE).** En la figura se muestra la distribución del material arqueológico, la localización de las estructuras y la procedencia de las muestras de C14 (Tablas 6.1 y 14.3). Se observa que la ocupación de esta fase se desarrolla tanto en el exterior como en el interior del abrigo, en torno a un hogar, situado en la zona este del yacimiento.

La estructura de hogar situada entre bloques, en el interior oeste, aparentemente sería más reciente (A-5B1), aunque podría presentar una diacronía importante (Gassiot, 2011).

Con los análisis de fitolitos nos planteamos averiguar la funcionabilidad de las estructuras y validar o falsar estas hipótesis de partida.

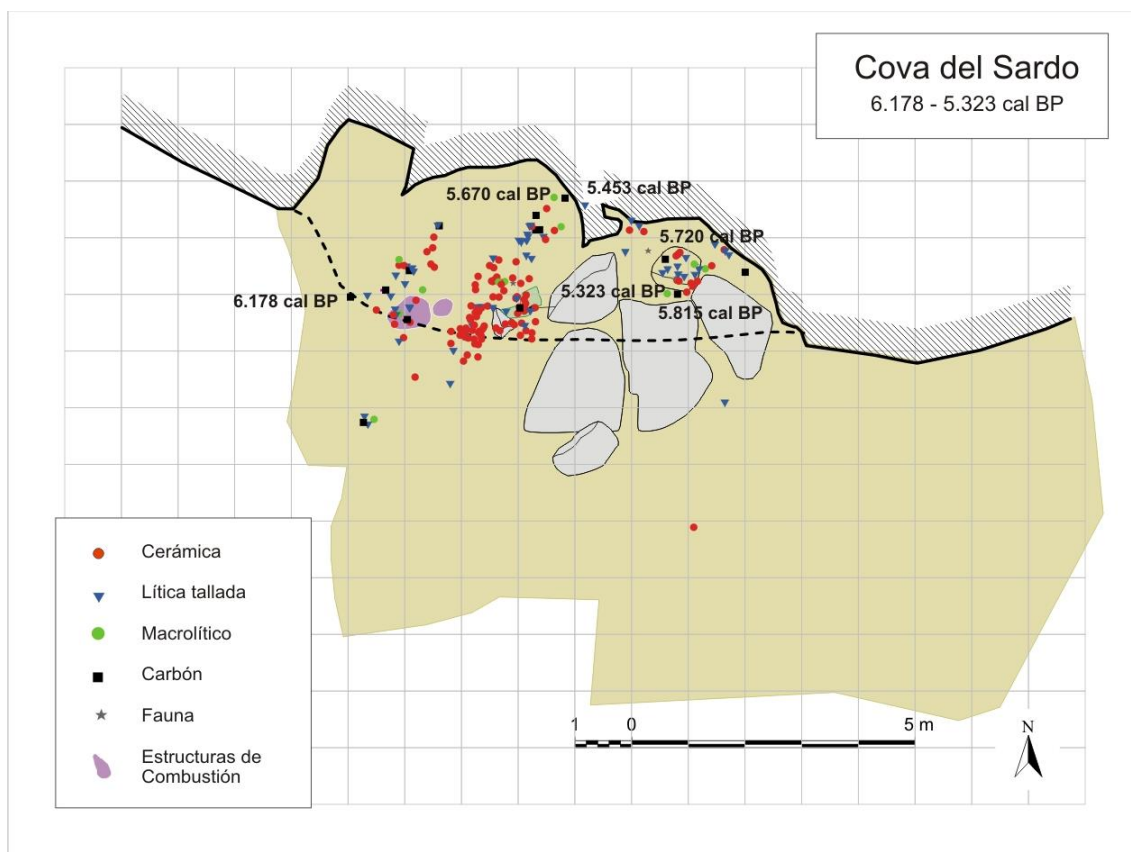
Han sido estudiadas 9 muestras de los niveles de ocupación del interior del abrigo, fechados en el neolítico medio (4200 – 3500 cal ANE) (Figuras 6.4 y 8.3).



**Figura 6.3. Planta de la Cova del Sardo. Fase 6. Ocupación del Neolítico final (3300-3000 cal ANE).** En la figura se muestra la distribución del material arqueológico, la localización de las estructuras y la procedencia de las muestras de C14 (Tablas 6.1 y 14.3). Se puede observar que esta fase de ocupación se concentra en la terraza exterior, asociada a una posible empalizada.

La fase 7 se localiza, esencialmente, en el interior del abrigo y bajo la cornisa, no tanto en la terraza exterior (Figuras 6.4 y 8.3). El paquete sedimentario del interior del abrigo de esta fase es muy homogéneo, lo que ha dificultado la delimitación de una estratigrafía horizontal clara. En ocasiones, parece un suelo de ocupación continuo, de color negro, con abundante carbón, ceniza y restos de fauna quemada. Destaca por presentar la mayor acumulación de residuos arqueológicos (industria lítica, cerámica, etc.) de las fases prehistóricas (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015; Mazzucco et al., 2019). Éstos, se asocian a grandes cantidades de

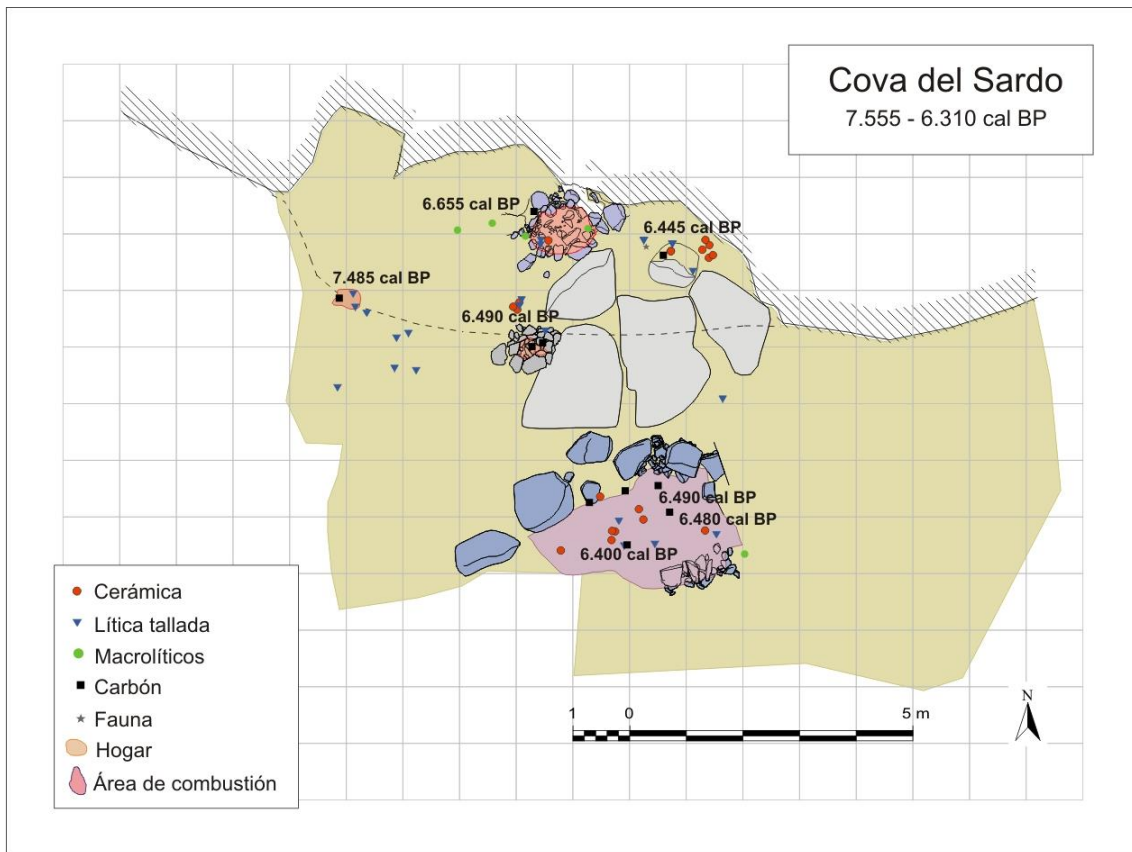
carbón y sedimentos muy oscuros, indiferenciables, *a visu*, de los rellenos de las estructuras de combustión, que podrían haberse contenido en cubetas sobreexcavadas en el suelo de ocupación, como A-7B4. Sin embargo, en la mayoría de los casos, no se han podido delimitar claramente tales estructuras de combustión, por lo que se asume que los fuegos podrían haberse realizado en diferentes zonas no necesariamente delimitadas por cubetas o piedras.



**Figura 6.4. Planta de la Cova del Sardo. Fase 7. Ocupaciones del Neolítico medio / final (4200-3500 cal ANE).** En la figura se muestra la distribución del material arqueológico, la localización de las estructuras y la procedencia de las muestras de C14 (Tablas 6.1 y 14.3). Se puede observar que la ocupación en esta fase se concentra bajo la cornisa, sobre todo, en la zona centro y oeste del interior del abrigo.

El muestreo de fitolitos de este nivel ha sido realizado con el objetivo de aportar información sobre la localización de las estructuras de combustión y las áreas de actividad, así como de la gestión de la leña y de los recursos vegetales en el interior del abrigo, durante el Neolítico medio. Asimismo, otro objetivo del estudio es tratar de documentar posibles discontinuidades en la ocupación del abrigo, que no ha sido apreciadas en la estratigrafía

continúa de esta fase (Gassiot, 2011). Ya que el sedimento negro, rico en carbón, material arqueológico y fragmentos calcinados de fauna, es prácticamente un *continuum* en toda la fase 7, los análisis de fitolitos pueden ser una herramienta útil para aportar nueva información estratigráfica y sobre la funcionalidad de las estructuras y áreas de actividad.



**Figura 6.5. Planta de la Cova del Sardo. Fases 8 y 9. Ocupaciones del Neolítico antiguo (5500-4400 cal ANE).** En la figura se muestra la distribución del material arqueológico, la localización de las estructuras de combustión y la procedencia de las muestras de C14 (Tablas 6.1 y 14.3). Se observa una presencia relativamente escasa de material en relación a fases precedentes.

Han sido estudiadas 10 muestras de los niveles del neolítico antiguo (5500 – 4400 cal ANE) de la Cova del Sardo (Figuras 6.5 y 8.4). La mayoría (8) se relacionan con estructuras de combustión, una localizada en el interior (A-8B1), otras dos bajo la cornisa este (A-9B1 y A-8B2), y la última, en la terraza (A-8A4). Justamente, la estructura de la terraza es la más singular, pues se trata de una gran estructura contenida por un muro, de unos 6 m<sup>2</sup> (Gassiot,

2011). En esta última (A-8A4), hemos realizado un muestreo sistemático (6 muestras) orientado a conocer la función y recurrencia en el uso de la estructura, a lo largo del tiempo.

Vemos que, en este periodo, a diferencia del anterior, una parte de la actividad humana se desarrolla en el exterior de la terraza, al aire libre (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2014). Uno de los objetivos del análisis de fitolitos, en esta fase neolítica más antigua, es delimitar mejor los momentos de ocupación y de abandono del sitio, así como la recurrencia en el uso de algunas estructuras de combustión muy singulares, como A-8A4, cuya función no ha podido ser determinada hasta el momento.

## **6.1.2 SONDEOS DE SUELOS**

---

Como ya hemos expuesto anteriormente, hemos decidido incluir dos sondeos realizados en el curso medio de valle de Sant Nicolau en esta tesis: Pleta d'Erdo - AS 1 y Forcall de Sant Esperit - AS 2.

### **6.1.2.1 PLETA D'ERDO – AS1 (2255 m)**

---

El primer sondeo estudiado se localiza en la Pleta d'Erdo (AS-1), a 2114 m al norte del anterior y 484 m más elevado, a 2555 m snm. También presenta una secuencia de horizontes aluviales, aunque mucho menos orgánica y más rocosa.

Han sido recuperadas 18 muestras del perfil, una cada 5 cm, incluyendo 4 horizontes estratigráficos, y siguiendo la misma metodología aplicada en todos los sondeos realizados (Figuras 5.12 y 8.6).

En este suelo, la conservación de los fitolitos es muy deficiente, habiéndose podido analizar únicamente 4 muestras, procedentes de 2 horizontes sedimentarios diferentes: el suelo

orgánico (O1) actual y el horizonte inorgánico C1 (FAO/UNESCO 1988). El resto de muestras sedimentarias apenas presentaban fitolitos (Tabla 14.7).

La inexistencia de carbones macroscópicos documentados en el perfil hizo imposible la obtención de muestras útiles para obtener fechados radiocarbónicos, de modo que desconocemos la antigüedad del horizonte C1. Si bien, la existencia de un posible evento coluvial asociado a la presencia de un nivel conformado por rocas de tamaño medio (Horizonte B2) (Hollyday, 1992; Beverly et al., 2018), probablemente anterior a las ocupaciones del holoceno final documentadas en la Pleta d'Erdo, nos lleva a pensar en una antigüedad relativa para este horizonte aluvial, formado por un lecho de gravas homogéneo, tal vez del Holoceno antiguo o medio (Martínez-Rius et al., 2011; Beverly et al., 2018). A falta de una datación absoluta no deja de ser una hipótesis de trabajo.

Yacimiento / Sitio	Nivel	UE Horizonte	Código Lab	Contexto sedimentario
Pleta d'Erdo AS-1	1	O1a	AS1_18	Suelo actual (Superficie)
Pleta d'Erdo AS-1	1	O1b	AS1_17	Suelo actual (Orgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	1	O1c	AS1_16	Suelo actual (Orgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	2	O2a	AS1_15	Suelo actual (Orgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	2	O2b	AS1_14	Suelo actual (base)
Pleta d'Erdo AS-1	3	O3	AS1_13	Horizonte A
Pleta d'Erdo AS-1	3	A1a	AS1_12	Horizonte A
Pleta d'Erdo AS-1	4	A1b	AS1_11	Horizonte B1
Pleta d'Erdo AS-1	4	A2a	AS1_10	Horizonte B1
Pleta d'Erdo AS-1	5	A2b	AS1_9	Horizonte B2 (Rocoso)
Pleta d'Erdo AS-1	5	B1a	AS1_8	Horizonte B2 (Rocoso)
Pleta d'Erdo AS-1	6	B1b	AS1_7	Horizonte B3
Pleta d'Erdo AS-1	6	B2a	AS1_6	Horizonte B3
Pleta d'Erdo AS-1	7	B2a	AS1_5	Horizonte C1 (Inorgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	7	B2a	AS1_4	Horizonte C1 (Inorgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	8	C1	AS1_3	Horizonte C1 (Inorgánico)
Pleta d'Erdo AS-1	8	C2	AS1_2	Horizonte C2 (Gravas)
Pleta d'Erdo AS-1	8	C3	AS1_1	Horizonte C2 (Gravas)

**Tabla 6.3. Lista de muestras de fitolitos analizadas del sondeo de Pleta d'Erdo - AS 1.** En la tabla se muestran los códigos de laboratorio de cada muestra, el nombre de la unidad estratigráfica y número del nivel arbitrario de muestreo. Se señala también el tipo de horizonte sedimentario o suelo documentado.

### 6.1.2.2 FORCALL DE SANT ESPERIT - AS 2 (1771 m)

---

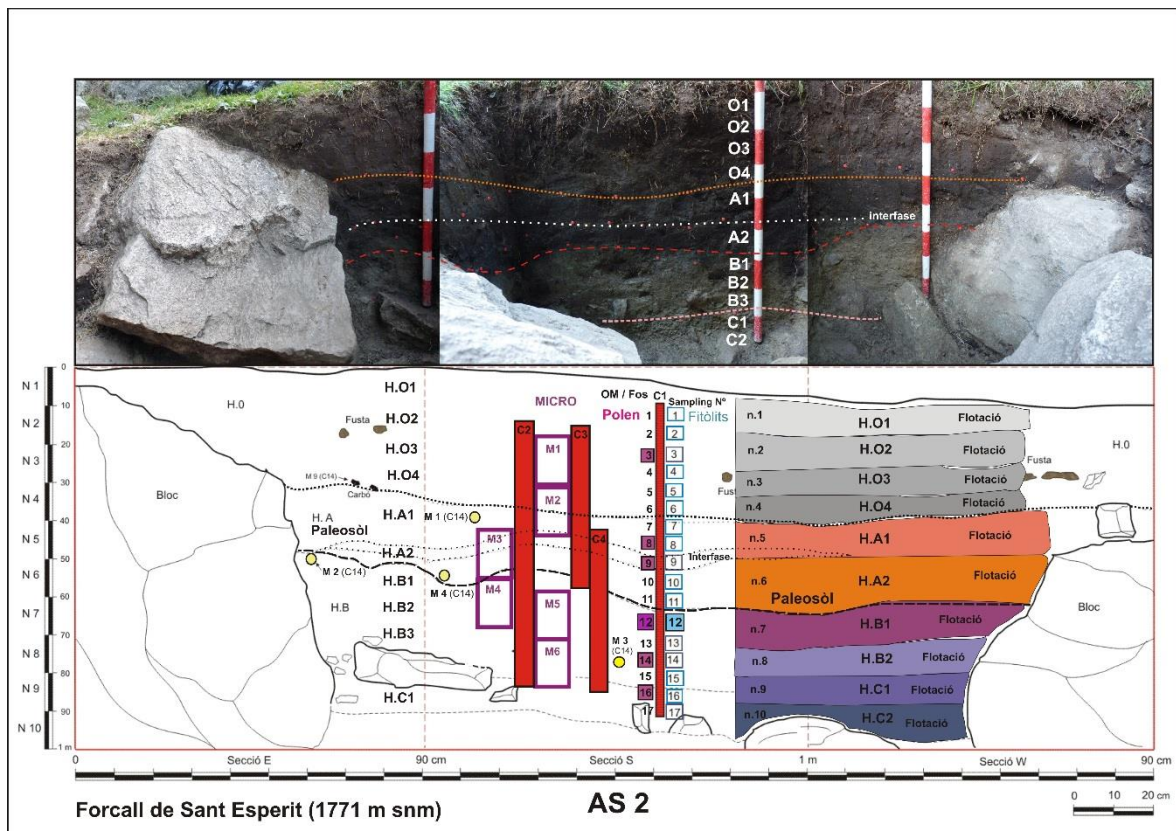
El segundo sondeo incluido en esta tesis (AS 2) fue realizado en el Forcall de Sant Esperit, a 1771 m snm. Se encuentra en un suelo de tipo *pozosol*, con un importante componente húmico orgánico (*según* FAO/UNESCO, 1988). Presenta una secuencia estratigráfica de formación aluvial, conservándose al menos dos Horizontes de tipo A y un paleosuelo (A2) (FAO/UNESCO, 1988; Hollyday 1992; Beverly et al., 2018) (Figura 6.6).

El estrato A1, ha sido fechado por C14 en torno a los siglos X-XI de nuestra era (858-988 DNE), periodo de gran impacto antrópico en el valle (Catalan et al., 2013), y cuando se desarrolla una importante ocupación humana en el yacimiento de la Cova del Sardo (Gassiot, 2011 y 2016). Separados por un evento aparentemente erosivo, el horizonte A2 ha sido definido claramente como un paleosuelo que ha sido fechado entre 5293 y 4932 cal ANE, en el Neolítico antiguo, uno o dos siglos antes del inicio de la fase de ocupación más intensiva del Holoceno medio en la Cova del Sardo, que situamos entre 4826 y 4369 cal ANE (Tabla 14.1).

Por encima de estos estratos se encuentra el suelo actual, un horizonte orgánico (O) (Hollyday, 1992; Beverly et al., 2018), aparentemente sin demasiada estratificación interna, que podría contener sedimentos del último milenio. En la base del perfil hemos descrito un horizonte tipo C (*según* FAO/UNESCO 1988), que presentaría una matriz inorgánica, de limos y gravas relativamente compactadas, de la que ha sido fechado un carbón en 6606 – 6443 cal ANE, es decir, a finales del Holoceno antiguo.

*Grosso modo*, podemos afirmar que la estratigrafía del suelo AS-2 es horizontal y se muestra ordenada, conteniendo distintos horizontes sedimentarios depositados entre 8,5 y 1 ka cal BP (Hollyday, 1992; Beverly et al., 2018).





**Figura 6.6. Fotomontaje y representación esquemática del perfil sedimentario de Forcall de Sant Esperit - AS 2 con la localización de las muestras estudiadas.** En la figura se indica la localización precisa de cada una de las muestras tomadas del perfil, así como la estratigrafía definida en el suelo. Junto a la columna C1 se localizan las 17 muestras de fitolitos estudiadas en esta tesis. En morado se remarca la localización de las 8 muestras de polen estudiadas y a la derecha las 9 de carbones sedimentarios. A la izquierda se indica la localización de las 6 muestras pedológicas estudiadas. En amarillo aparecen las muestras de C14 procesadas.

17 muestras de fitolitos han sido recogidas y procesadas del perfil AS 2. Las muestras han sido recogidas cada 5 cm, siguiendo la misma metodología ya descrita. El muestreo incluye los 5 horizontes del suelo antes definidos (O, A1, A2, B y C) (Tabla 6.4).

Yacimiento / Sitio	Nivel	UE Horizonte	Cal ANE (2Σ)	Código Lab	Contexto sedimentario
Forcall de Sant Esperit AS-2	1	O1a		AS2_1b	Suelo actual (Superficie)
Forcall de Sant Esperit AS-2	1	O1b		AS2_2b	Suelo actual (Orgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	2	O2a		AS2_3	Suelo actual (Orgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	2	O2b		AS2_4b	Suelo actual (Orgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	3	O3		AS2_5b	Suelo actual (Orgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	4	O4		AS2_6	Suelo actual (Base)
Forcall de Sant Esperit AS-2	5a	A1a	858-988 DNE	AS2_7b	Horizonte A1
Forcall de Sant Esperit AS-2	5b	A1b		AS2_8b	Horizonte A1
Forcall de Sant Esperit AS-2	6a	A2a		AS2_9	Evento erosivo
Forcall de Sant Esperit AS-2	6b	A2b	5070-4940	AS2_10b	Horizonte A2 (Paleosuelo)
Forcall de Sant Esperit AS-2	7a	B1a	5235-5044	AS2_11b	Horizonte A2 (Paleosuelo)
Forcall de Sant Esperit AS-2	7b	B1b		AS2_12	Horizonte B
Forcall de Sant Esperit AS-2	13	B2a		AS2_13	Horizonte B
Forcall de Sant Esperit AS-2	14	B2b	6606-6443	AS2_14	Horizonte B
Forcall de Sant Esperit AS-2	15	C1		AS2_15	Horizonte C (Inorgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	16	C2a		AS2_16	Horizonte C (Inorgánico)
Forcall de Sant Esperit AS-2	17	C2b		AS2_17	Horizonte C (Inorgánico)

**Tabla 6.4. Lista de muestras de fitolitos analizadas del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.** En la tabla se muestran los códigos de laboratorio de cada muestra, el nombre de la unidad estratigráfica y número del nivel arbitrario de muestreo. Se señala también el tipo de horizonte sedimentario o suelo documentado.

## 6.2 ANÁLISIS DE FITOLITOS

---

Metodología de análisis y estudio de fitolitos en sedimentos aplicada en esta tesis.

Entendemos por análisis de fitolitos una serie de procesos técnicos de trabajo que incluyen:

- a) La extracción físico-química de los fitolitos de las muestras sedimentarias y su montaje en láminas de microscopía.
- b) Su observación, descripción y clasificación morfológica, que incluye la documentación fotográfica y morfométrica de los fitolitos.
- c) El cálculo de su concentración por muestra y su estado de disolución.
- d) Su conteo en cada muestra y clasificación en morfotipos
- e) El estudio cuantitativo de los resultados.

A continuación, expondremos cómo hemos llevado a cabo cada uno de los pasos del proceso de análisis en nuestro caso.

### 6.2.1 LA EXTRACCIÓN DE FITOLITOS EN SEDIMENTOS

---

#### *El método físico-químico*

Se describen detalladamente los protocolos y métodos de trabajo realizados en el laboratorio, para la preparación de las muestras de fitolitos y su posterior estudio.

Una vez seleccionadas las 31 muestras sedimentarias descritas, procedentes de excavaciones arqueológicas en extensión, así como las 35 procedentes de sondeos; estas

han sido procesadas en el laboratorio con el objetivo de extraer los fitolitos de las muestras de sedimento y montar láminas para su documentación, clasificación y conteo microscópico.

Todas las muestras han sido tratadas y procesadas en el *Laboratorio de Paleoecología y Paleoeconomía vegetal* – BioGeoPal - de la *Institució Milà i Fontanals* del Consejo Superior de Investigaciones Científicas – IMF – CSIC, en Barcelona.

Concretamente, hemos empleado el método de extracción con *sodio politungstato* (SPT) descrito en Madella et al., (1998), con algunas variaciones que exponemos a continuación:

Hemos seleccionado unos 5g (+- 0,2g) de sedimento por muestra, totalmente secadas en el horno a 60°C. El sedimento ha sido desagregado manualmente, sin emplear elementos de mortero, que podrían alterar los fitolitos. Después hemos eliminado, utilizando mallas metálicas, las gravillas y macrorestos mayores de 1mm. A continuación, la muestra ha sido pesada en seco y dispuesta en tubos de centrifuga de 50 ml.

En primer lugar las muestras han sido tratadas con ácido clorhídrico (ClH) al 5%, durante 1 o 2 horas, a unos 50 °C, para eliminar los carbonatos. Posteriormente, cada muestra ha sido agitada y centrifugada con agua destilada un mínimo de 5 veces para eliminar el ácido. Después hemos sometido las muestras a un tratamiento con sodio hexametáfosfato ( $\text{NaPO}_3)_6$ ) al 5%, para deflocular las arcillas, durante 20 horas. Las muestras han sido nuevamente limpiadas y centrifugadas hasta la eliminación del ácido húmico y de cualquier evidencia de partículas en suspensión, un mínimo de 8 ciclos y un máximo de 10 ciclos de centrifugación. Posteriormente, ha sido añadido peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 33% para facilitar la disolución de la materia orgánica, durante un máximo de 6 horas y controlando la reacción en frío. Para finalizar las muestras han sido centrifugadas con agua destilada y secadas a 80° C.

La muestra de AIF (*Acid insoluble fraction*) y que contiene todo el material silíceo, es pesada, para poder calcular después de los conteos, la concentración de fitolitos estimada para cada muestra (*según* Albert y Weiner, 2001).

Es en este punto cuando se procede a la separación densimétrica de la muestra. Para ello se ha empleado politungstato de sodio (STP), calibrado a 2,35 cm<sup>3</sup>/g. Ha sido añadido 5 ml de STP a cada muestra y agitado mecánicamente, después han sido centrifugadas a baja velocidad (1500 rpm). Entonces, la fracción de las muestras ha sido dejada en reposo, al menos 1 hora. Posteriormente, se ha procedido a la extracción del residuo flotante, utilizando una pipeta Pasteur, siendo descartado el sedimento restante, que ha quedado sedimentado en el fondo del tubo. El proceso de extracción ha sido repetido una segunda

vez para asegurarnos que se recuperaba totalmente el material siliceo de cada muestra. Finalmente, cada fracción de muestra extraída ha sido centrifugada de nuevo un mínimo de 5 veces, con agua destilada, para garantizar la eliminación total del STP. El residuo extraído, finalmente, ha sido transferido a los viales empleando etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) y dejado secar en el horno a 60 °C durante un mínimo de 24 y un máximo de 72 horas.

Una vez seco el residuo final, han sido pesados entre 1,5 y 0,5 mg por muestra, y transferidos manualmente a las láminas de microscopía de manera homogénea, donde las muestras extraídas han sido montadas empleando resina sintética *Entellan*, y cubiertas con un cubreobjetos de 20 mm<sup>2</sup>. Finalmente, las láminas han sido secadas en una campana extractora durante una semana, aproximadamente, quedando listas para su análisis microscópico.

## **6.2.2 OBSERVACIÓN, DETERMINACIÓN Y CLASIFICACIÓN**

---

### ***La observación microscópica***

Se describen detalladamente los protocolos y métodos de análisis microscópico de las muestras, la determinación de los diferentes tipos de microrestos hallados en las láminas, su conteo y clasificación tipológica

Las muestras ya montadas en láminas, una vez secadas y consolidadas, han sido trasladadas al *Laboratorio de Arqueobotánica del Servei d'Anàlisis Arqueològiques* de la UAB, en Cerdanyola del Vallés, donde han sido analizadas a 400 aumentos, con un microscopio OLIMPUS DX43 con soporte computerizado de análisis de imágenes. Dicho software nos permite realizar fotografías detalladas y cálculos morfométricos sobre los fitolitos observados en las láminas de microscopía (Figura 6.7).

En algunos casos concretos hemos realizado fotografías con diferentes oculares, a 100, 200, 400, 600 y 1000 aumentos, en función de la muestra y de los microrestos observados, en cada caso. No obstante, los conteos sistemáticos y la clasificación por morfotipos se han realizado siempre a 400 aumentos. En cada lámina se ha realizado un conteo aleatorio sistemático de fitolitos, siguiendo líneas completas paralelas sobre la muestra en la lámina, hasta completar un número óptimo de fitolitos contabilizados, en torno a 300.

En las muestras donde no ha sido posible contabilizar un número mínimo de fitolitos (300), ha sido visionada hasta la totalidad de la lámina (20 mm<sup>2</sup>). En aquellos casos donde el número total de fitolitos presentes en la muestra no alcanza 50 individuos determinables, la muestra se ha considerado insuficiente siendo descartada para su análisis.

La observación microscópica de los fitolitos, como cualquier otro trabajo de análisis con un microscopio óptico, requiere de un importante entrenamiento visual y del uso de colecciones de referencia que permitan al analista aprender a distinguir entre partículas silíceas de diverso origen y otros microrestos de origen animal o vegetal (Catalan, 2015) (Figuras 6.7, 6.8 y 6.9). Además, debemos hacer frente a una característica fundamental a la hora de determinar los tipos de fitolitos. Se trata de objetos generalmente asimétricos, de formas tridimensionales y dependiendo de su buena o mala conservación y del punto de vista desde el que se les observe, pueden presentar diferentes medidas o apariencias morfológicas (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 6.7 y 6.8) (ICPN 2.0, Neumann et al., 2019). Lo ideal sería siempre poder observar cada fitolito en 3D. En este sentido, el uso de microscopios con focales, o la observación de las muestras montadas con glicerina o resinas en estado líquido nos puede permitir observar los fitolitos desde diferentes puntos de vista.

En algunos casos, la diferenciación entre algunos morfotipos relativamente masivos de fitolitos, como los BLOCKY (An, 2016), de las partículas minerales de cuarzo, habitualmente presentes en las láminas puede presentar dudas razonables. En éstos y otros casos dudosos hemos empleado el uso de la luz polarizada transmitida en la observación microscópica, ya que los fitolitos no la reflejan, porque son isotrópicos y carecen de estructura cristalina, como el cuarzo (Figura 6.8).

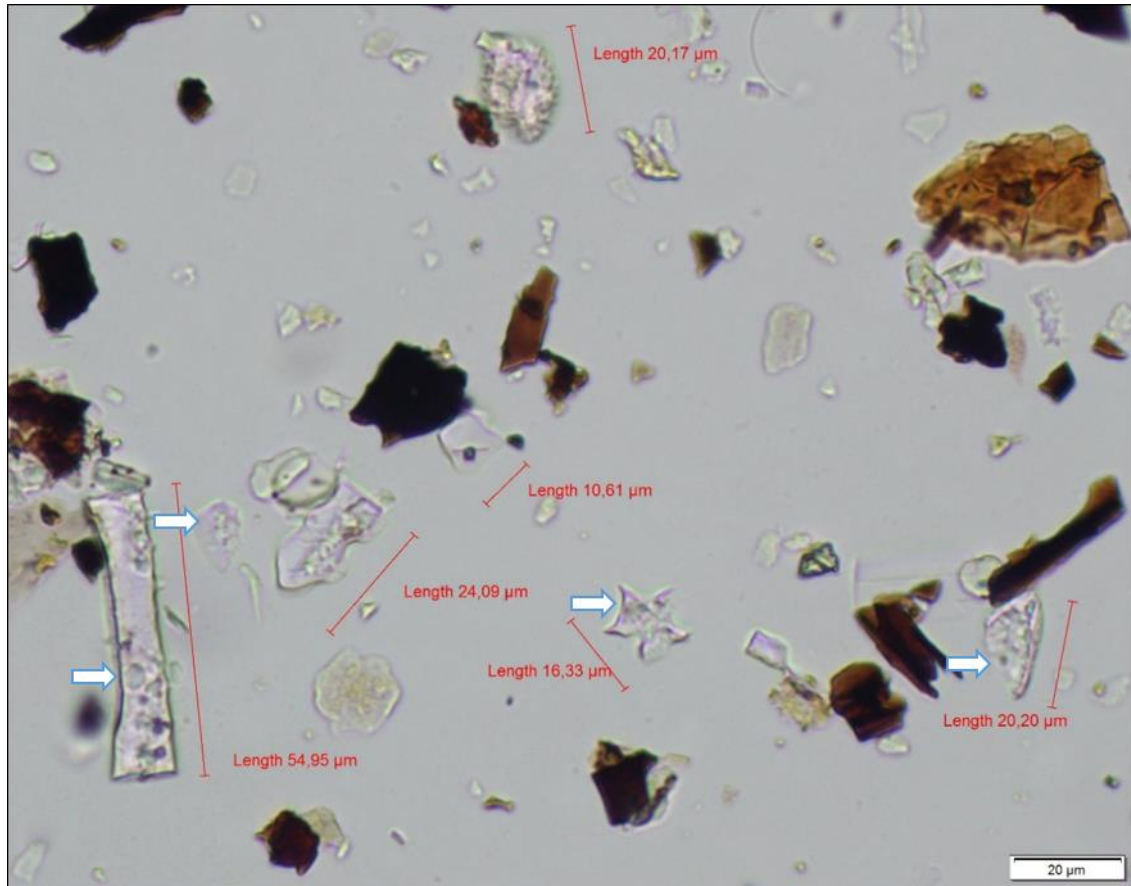
A efectos clasificatorios, es muy importante también tener en cuenta los procesos postdeposicionales que pueden implicar la transformación morfológica del fitolito (erosión) o su disolución tanto química como mecánica (Albert et al., 2006; Madella y Lancelloti, 2012; Strömberg et al., 2018). Además, en el caso de los fitolitos, el proceso de silicificación de las propias estructuras celulares de las plantas puede haber sido incompleto; de modo que no se hayan silicificado las células enteras, sino sólo algunas partes de la estructura o de los espacios intercelulares (Piperno, 1988).



**Figura 6.7. Microfotografía de fitolitos de una muestra arqueológica de la Cova del Sardo.** Realizada a 400 aumentos con un microscopio Leica DM2500, en la IMF-CSIC. Muestra de fitolitos CdS 24, datada en 4681-4463 cal ANE, extraída de un depósito antrópico de la terraza de la Cova del Sardo (A-8A4-inf). Se observan diversos microrestos, como fitolitos, microcarbón (flechas rojas), diatomeas (flecha amarilla) y fragmentos de cuarzo y otros minerales (flechas azules).

En contextos antrópicos, la acción del fuego también es una importante variable que puede afectar a los fitolitos (Delhon et al., 2003; Albert y Cabanes 2008), generando una conservación parcial de algunos morfotipos respecto a otros (Cabanes et al., 2011; Cabanes y Shahack-Gross, 2015) o derritiéndolos completamente (con temperaturas superiores a 900º) (Albert y Cabanes, 2008).

Todas las variables descritas (a nivel morfológico y de preservación) han sido tenidas en cuenta en el análisis microscópico de los fitolitos, detalladamente documentadas y cuantificadas (Figuras 7.2 y 7.13). Por tanto, esta parte del trabajo se ha concretado en la observación y documentación gráfica de los fitolitos, su clasificación en unos de los 19 tipos empleados (Tabla 4.1) y la anotación de procesos de alteración básicos, como erosión o disolución, en cada uno de los fitolitos documentado.



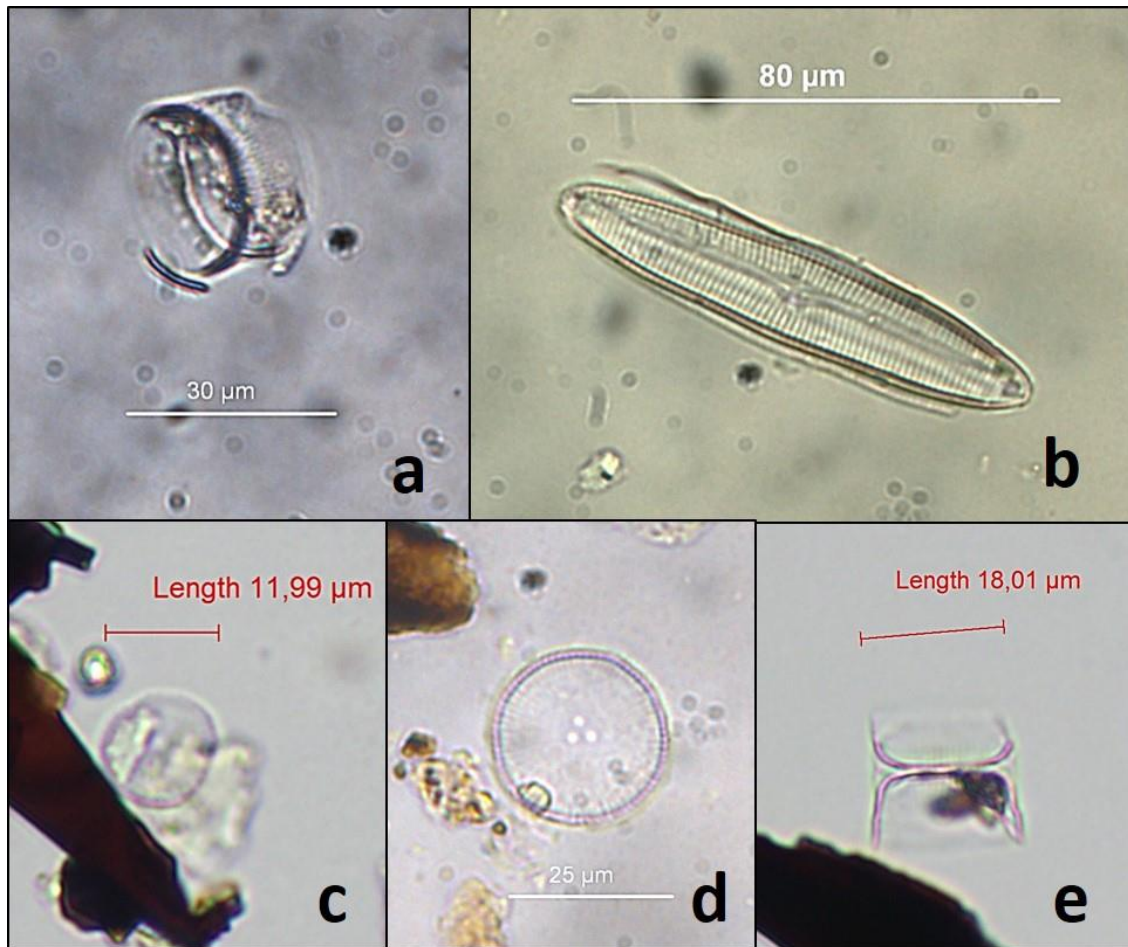
**Figura 6.8. Microfotografía de una lámina de fitolitos.** Realizada con un microscopio óptico Olympus B83 a 400 aumento en la UAB. Muestra de fitolitos CdS 24, datada en 4681-4463 cal ANE, extraída de un depósito antrópico de la terraza de la Cova del Sardo (A-8A4-inf). Se observan procesos de disolución parcial en la mayoría de los fitolitos fotografiados, especialmente visibles en las células largas.

Además de cuantificar y clasificar los fitolitos documentados en cada una de las muestras estudiadas, hemos contabilizado las diatomeas (*según* Battarbee 1986; Mann 1989 y Catalan 2015), identificadas en las mismas láminas (Tablas 14.7 y 14.10, Figura 6.9).

Las diatomeas son estructuras de algas unicelulares formadas también de sílice (Si), y que se depositan en el sedimento tras la muerte del individuo (Mann 1989; Catalan 2015). Sus tamaños más frecuentes varían entre los 500 y los 5 μm. Fuera de los depósitos lacustres, fluviales o turberas, las diatomeas y crisofíceas se encuentran en contextos con presencia,



al menos estacional, de agua. Son, por tanto, un indicador ambiental muy útil, habiendo sido empleadas en nuestra área de investigación para la determinación de patrones paleoclimáticos, como la estacionalidad y la reconstrucción de paleo temperaturas durante el Holoceno (Pla y Catalan, 2005; Catalan et al., 2013).



**Figura 6.9. Microfotografías de diatomeas.** Fotografías realizadas a 400 o 600 aumentos, con un microscopio Leica DM2500, en la IMF-CSIC, de algunas de las escasas diatomeas completas que hemos podido documentar en nuestro caso de estudio, procedentes tanto de contextos arqueológicos (Cova del Sardo) como geológicos (Forcall de Sant Esperit – AS 2), del Holoceno medio, en el curso medio del valle de Sant Nicolau.

Otros restos de origen vegetal que han sido observados en los sedimentos de nuestro muestreo y que han sido estudiados con diferentes aproximaciones metodológicas dentro

de nuestro programa de investigación, serían los carbones y microcarbones sedimentarios, el polen o la materia orgánica. Los resultados de estas analíticas, que no se incluyen directamente como parte de los materiales de la tesis, aparecerán reflejados y en la interpretación y discusión final de la tesis.

El conteo y clasificación de fitolitos y diatomeas se ha realizado en el laboratorio empleando una tabla de conteo sistemático donde se registran manualmente los fitolitos clasificados en cada lámina analizada, en los 19 tipos descritos. Ha sido anotado también su estado de conservación o disolución, así como cualquier información relevante observada. Además, se contabilizan otros microrestos como las diatomeas. Asimismo, se ha documentado digitalmente cada una de las muestras, realizando microfotografías y fotogrametría digital, para calcular las dimensiones de los fitolitos documentados (Figuras 6.7 y 6.8).

De modo que, en todos los casos es imprescindible junto al conteo de fitolitos clasificados en morfotipos y subtipos, procedentes de cada muestra, incorporar una serie de informaciones complementarias que contextualicen el archivo sedimentario como tal y la muestra de microrestos biológicos analizada en particular.

Algunas de las informaciones que hemos recogido en nuestro sistema de registro serían: el lugar de procedencia de la muestra (el sitio arqueológico, columna o perfil), el nivel estratigráfico u horizonte edáfico de procedencia, el modelo cronológico que ofrece el depósito sedimentario muestreado (el intervalo de edad de la muestra) y el código de la muestra extraída en el laboratorio y contenida en una lámina de microscopía. Después, hemos cuantificado las diatomeas y fitolitos contabilizados en la lámina analizada, documentando también su estado de alteración, disolución o fragmentación (Figura 6.8). Por último, se estima la concentración de fitolitos por gramo de sedimento en la muestra y el porcentaje de disolución (Tablas 14.7 y 14.10).

Nuestras atribuciones taxonómicas serán contrastadas con los resultados de los análisis observados en las muestras estudiadas en esta tesis y debidamente valoradas en la interpretación y en la discusión final.

### 6.2.3 ANÁLISIS MORFOLÓGICO CUANTITATIVO

---

De cara a poder cuantificar los resultados obtenidos, hemos empleado técnicas y métodos propios del análisis cuantitativo en arqueología, a partir del estudio morfológico realizado en cada muestra (Tabla 14. 8 y 14.11) (Albert y Weiner, 2001).

En el presente trabajo hemos utilizado métodos cuantitativos con dos objetivos principales. Por una parte, hemos intentado evaluar las variaciones en la cantidad de fitolitos presentes en el sedimento. Para ello hemos utilizado el test de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk 1965) que evalúa la probabilidad de que un conjunto de datos responda a una población normalmente distribuida. Es decir, que la variación en la variable medida siga una distribución de Gauss. Este test se ha aplicado sobre la variable continua “concentración de fitolitos” separando los conjuntos de datos según procedan de excavaciones arqueológicas (Cova del Sardo y Abric de les Obagues de Ratera) o de sondeos paleoambientales al aire libre (Pleta d’Erdo – AS 1 y Forcall de Sant Esperit – AS 2). La información de la aplicación del test, ha sido complementada con otros tests de normalidad que proporciona el programa PAST 3.26b.

Por otra parte, hemos implementado diversas técnicas de análisis multivariante con la finalidad de identificar los grados de similitud y diferencia entre las diversas muestras analizadas. En este último caso se ha partido de los porcentajes de los 19 morfotipos que constituyen la base de nuestra observación. Las fuertes interrelaciones existentes entre diversas magnitudes utilizadas para caracterizar cuantitativamente las muestras analizadas constituyen un elemento determinante en cualquier ejercicio encaminado a identificar posibles patrones concomitantes entre los mismos.

En consecuencia, un ejercicio básico para poder inferir posibles pautas comunes entre contextos diversos lo constituye un análisis exploratorio que incida sobre el grado de interrelación existente entre las variables disponibles sobre las muestras consideradas. Para ello, más allá del simple análisis descriptivo de los datos, resulta de interés disponer de medidas más precisas que indiquen el modo de agrupar la serie de datos considerados de acuerdo con su nivel de concomitancia, establecido de acuerdo con la evolución de las variables consideradas, en nuestro caso los fitolitos agrupados en morfotipos.

Metodológicamente, el análisis de conglomerados es un instrumento estadístico que ofrece la posibilidad de establecer agrupaciones de los datos a partir de la información proporcionada por determinadas variables de selección. Dichas agrupaciones (que reciben el nombre de conglomerados o clúster) se establecen mediante la implementación de distintos algoritmos de clasificación que, de forma sintética, responden a dos aproximaciones distintas:

- a) Los llamados algoritmos de separación, basados en la división de las diferentes unidades (yacimientos en nuestro caso) en  $k$  grupos especificados previamente, de acuerdo con determinadas medidas de disimilitud aplicadas sobre las variables que se considera pertinentes para la clasificación de las mismas.
- b) Los algoritmos jerárquicos, fundamentados en la categorización de las unidades en una serie de grupos, cuyo número no es prefijado de antemano, que se van integrando sucesivamente en conglomerados de mayor alcance hasta abarcar a la totalidad de los mismos.

La principal diferencia entre una y otra aproximación (véase Everitt et al. (2011) para una discusión en profundidad) se deriva del hecho de que en la primera la fijación del número de grupos es tratada como una decisión ajena al investigador, mientras que en la segunda las variables de clasificación se emplean para determinar de forma inductiva la cifra de agrupaciones de acuerdo con el nivel de discrepancias observado entre unidades.

En esta investigación optamos por el empleo de algoritmos de jerarquización, al no existir razones de peso que, de forma apriorística, permitiesen prefijar las categorías de clasificación. Para obviar la posible falta de robustez a la muestra de los grupos así obtenidos, optamos por aplicar un algoritmo jerárquico de carácter aglomerativo, con distancia angular entre vectores y criterio de enlace de Ward (véase Everitt et al, 2011) para una discusión en profundidad). En el caso de las técnicas de clasificación aglomerativas se considera que las diferentes unidades actúan en primera instancia como grupos diferenciados que se van agrupando progresivamente a partir de una función de distancia que mide el grado de disimilitud entre dichas unidades.

En este trabajo, la aplicación de las técnicas anteriores tuvo como punto de partida la obtención de matrices de disimilitudes considerando los 19 morfotipos que se describen para cada muestra (Tabla 4.1). Para ello se calcularon las correspondientes distancias estadísticas entre para las variables de interés. Dichas distancias miden el grado de discrepancia existente en el perfil de variación de las magnitudes consideradas. A partir de la matriz de distancias, y siguiendo un proceso iterativo en el que las diferentes muestras

van siendo agrupadas según su grado de concordancia, se obtuvo una estructura operativa de grupos diferenciados, seleccionados según el criterio de Calinski-Harabasz, representándose gráficamente las agrupaciones obtenidas mediante un dendrograma.

Finalmente, el análisis multivariante se ha completado con el análisis de componentes principales (en adelante PCA) del mismo conjunto de datos. Este análisis es especialmente útil en matrices de datos compuestos por muchas variables continuas, en nuestro caso los 19 morfotipos considerados al reducir su dimensionalidad. Trata de definir variables hipotéticas (componentes) que puedan dar cuenta del máximo de variabilidad en el conjunto de datos considerado. Permite representar la variabilidad multidimensional sobre un eje binario, combinando los dos componentes principales, sobre todo, tratar definir hipótesis de relación entre los componentes principales, aquellos que dan cuenta de la mayor parte de la variación entre las muestras, y variables subyacentes (Davis, 1986).

En nuestro caso, el análisis del peso de la presencia o ausencia de las distintas variables en los diferentes componentes nos ayuda a establecer hipótesis sobre la concurrencia o exclusión entre variables. Sobre la base de estas hipótesis se ha definido un índice que relaciona las 5 variables más frecuentes en nuestro caso de estudio. Dicho índice se basa, en realidad, en la distribución cuantitativa de los morfotipos observada en el análisis de componentes principales PCA (Figuras 7.5 y 7.16). Este índice que no se basa en una hipótesis inductiva sino deductiva, viene definido por la composición morfológica del conjunto de muestras estudiado. Obviamente, dentro de la distribución de los componentes principales hemos seleccionado los 5 morfotipos más frecuentes y que, además, permiten explicar el mayor número de casos. Por ello, en nuestro caso de estudio hemos definido este índice como el cociente entre (SPHEROID + ELONGATE ENTIRE) / (RONDEL + TRAPEZOID + CRENATE). Dado que el índice correlaciona los 5 morfotipos más comunes de fitolitos en nuestras muestras, lo hemos denominado índice de tipos principales (ITP).

Por otro lado, si observamos los resultados de la colección de referencia de plantas estudiada, vemos que los morfotipos RONDEL, TRAPEZOID y CRENATE en zonas de montaña se asocian claramente con las C<sub>3</sub>Pooideae dominantes en la zona de estudio. Mientras que la producción de SPHEROID es atribuida a las plantas dicotiledóneas, principalmente leñosas en nuestro caso de estudio. Y ELONGATE ENTIRE se podría asociar tanto con monocotiledóneas como también con coníferas, pero no precisamente con gramíneas, según señalan los análisis de componentes principales, realizados.

Creemos que este índice es una aportación metodológica útil en medios subalpinos, como mínimo, para estudiar tanto contextos de ocupación como de impacto humano en el paisaje.

## 7. RESULTADOS

---

### *Análisis cuantitativo de fitolitos*

Se exponen detalladamente los resultados del análisis cuantitativo de fitolitos de cada muestreo realizado.

A continuación, expondremos de forma detallada los resultados del análisis cuantitativo de fitolitos de los 4 contextos sedimentarios estudiados en esta tesis. De estos 4 contextos han sido procesadas 66 muestras (Tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4), de las cuales, han sido incluidas en este estudio 47 (Figura 7.1 y 7.12, Tablas 14.8 y 14.11). Las 19 muestras restantes han sido descartadas del análisis debido a que no presentan fitolitos en cantidades suficientes para su estudio morfológico cuantitativo, que hemos establecido en un mínimo de 50 fitolitos identificados en la lámina y una concentración estimada superior a 8000 g /AIF.

Para su caracterización, hemos agrupado las muestras estudiadas a partir de su concentración estimada relativa en 4 categorías, según el percentil en el cual se sitúan las muestras. De las pruebas estadísticas realizadas hemos concluido que la variación en la concentración de las muestras no es aleatoria, sino que debe responder a variables causales concretas. Esta anormal distribución de la concentración se produce en todos los contextos analizados, tanto arqueológicos como geológicos (Figura 7.2 y 7.13).

Han sido documentados un total de 16880 fitolitos, de los cuales 15347 han sido clasificados en alguno de los 19 morfotipos utilizados. También han sido contabilizadas 1239 diatomeas (Tablas 14.8 y 14.11). En todas las muestras presentadas han sido clasificados morfológicamente entre 80 y 800 fitolitos por muestra, siendo el promedio de fitolitos clasificados de 356 en las muestras arqueológicas y de 289 en las geológicas. Únicamente, 3 muestras sedimentarias y 3 arqueológicas no han alcanzado los 200 fitolitos determinables morfológicamente. Los fitolitos no determinados no han sido incluidos en los cálculos morfológico cuantitativos, pero sí en la estimación de la concentración (Tabla 14.8).

Durante el conteo, los fitolitos cuantificados han sido clasificados en 19 morfotipos (Tabla 6.5). Sus resultados han sido estudiados individualmente, a nivel cuantitativo, así como

comparativamente dentro de los 2 conjuntos de muestras estudiadas: arqueológicas y geológicas (Tabla. 14.9 y 14.12).

A continuación, describiremos los resultados del estudio cuantitativo: el grado de similitud existente entre las muestras (Figura 7.4 y 7.15), su correspondencia (Figuras 7.6 y 7.17) y el análisis de sus componentes principales (Figura 7.5 y 7.16). Además, será discutida la distribución de los morfotipos a partir de la ratio de sus tipos más comunes (ITP), (Figuras 7.7, 7.11, 7.18, 7.21, 7.23, 14.2), comparándola con la concentración estimada de fitolitos por muestra (Figuras 7.1 y 7.12) y con la semejanza entre las muestras (Figuras 7.4 y 7.15).

## **7.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS CUANTITATIVO DE FITOLITOS EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS (7,5 – 1,4 KA CAL BP)**

---

Presentación de los resultados del análisis de fitolitos del Abric de les Obagues de Ratera y de la Cova del Sardo, a partir del análisis cuantitativo de las muestras.

En total, han sido documentados, clasificados y contabilizados unos 10000 fitolitos procedentes de 26 muestras arqueológicas. De los cuales, únicamente, 2 muestras provienen del Abric de les Obagues de Ratera, mientras que, las 24 restantes proceden la Cova del Sardo de Boí. De estas, la mitad de las muestras (12) fueron tomadas en el interior del abrigo y las restantes (12) en la terraza exterior (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4).

El muestreo fue diseñado con el objetivo de estudiar la variabilidad en la concentración y configuración de los fitolitos en el sedimento, entre las ocupaciones al aire libre y las que tuvieron lugar en el interior del abrigo (Figuras 7.1). Otra cuestión a estudio ha sido la funcionalidad de las estructuras, su duración y su abandono, así como la dinámica de la ocupación del yacimiento.

### 7.1.1 ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE FITOLITOS

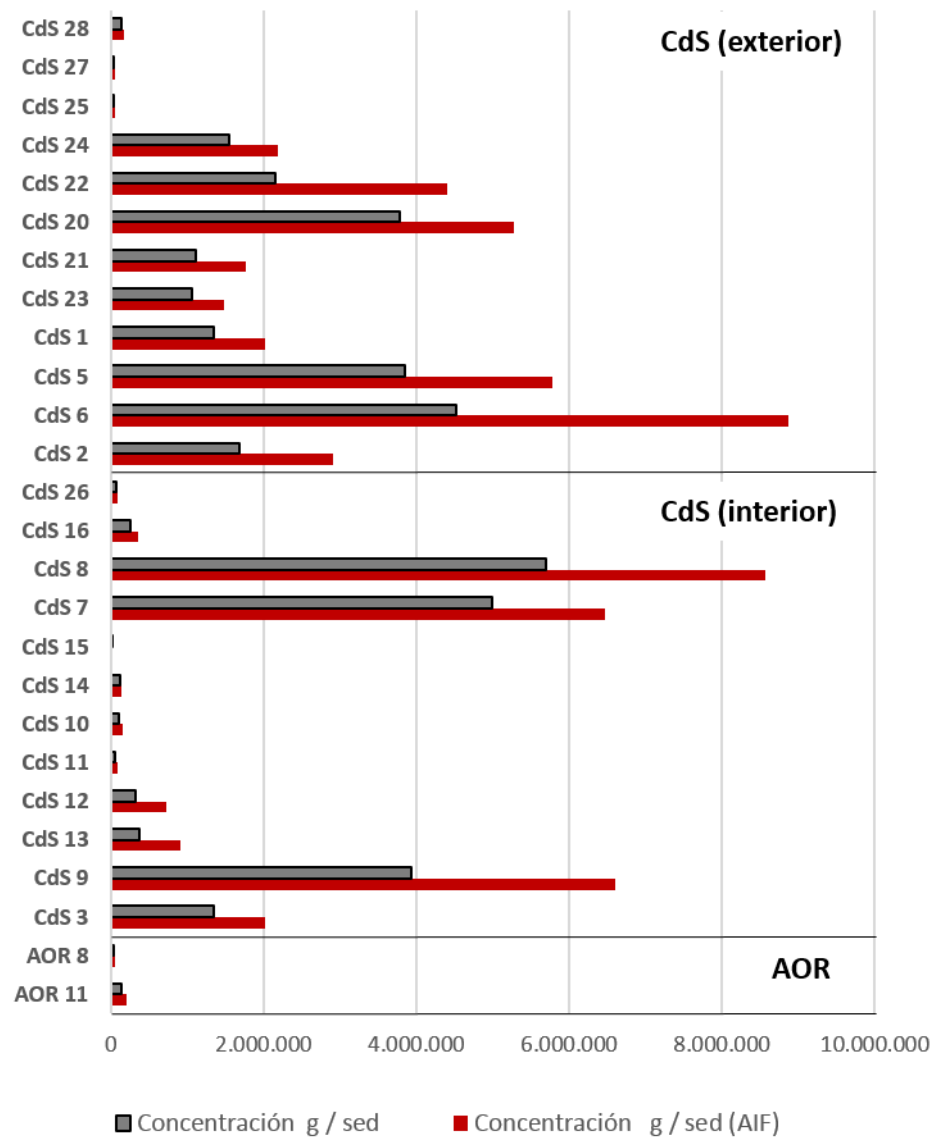
---

En términos generales, las muestras presentan concentraciones de fitolitos muy variables, que pueden oscilar entre algo más de 8 millones de fitolitos estimados por gramo de AIF, a apenas 25000 (Tabla 14.8). La concentración media en las muestras arqueológicas ha sido estimada en 2,3 millones de fitolitos por gramo de AIF (Figura 7.2).

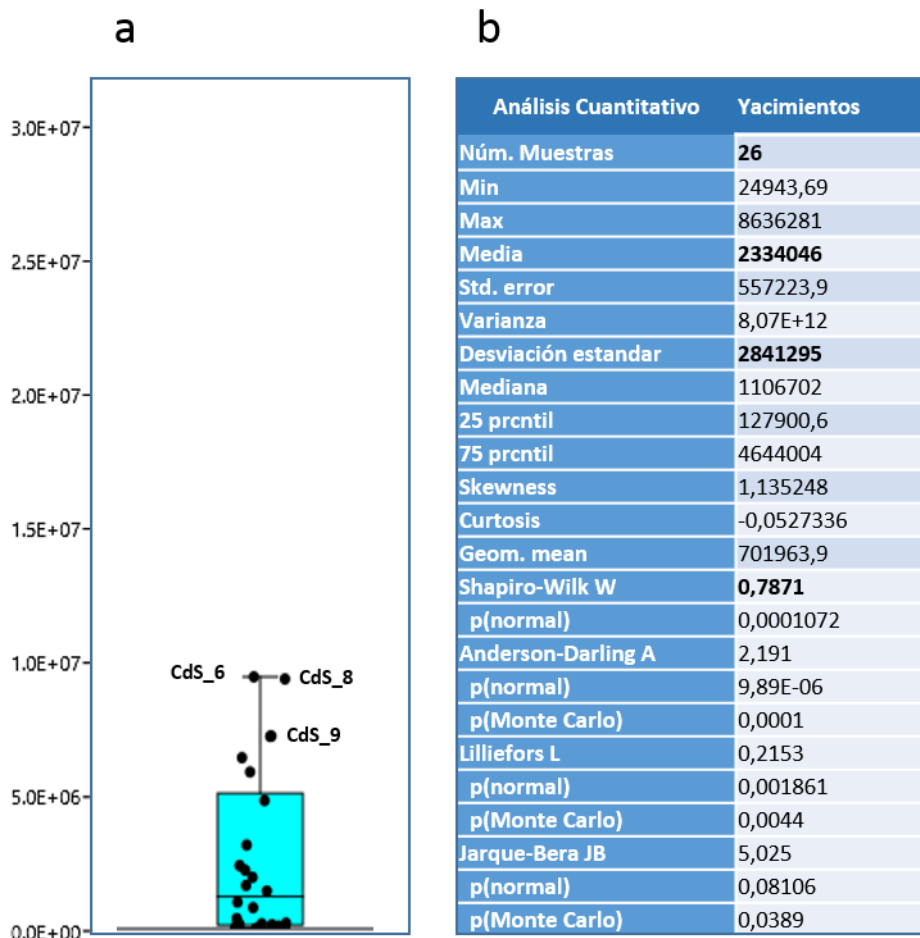
Los porcentajes de disolución de los fitolitos afectan entre el 20% y el 50% de los fitolitos determinados, según las muestras, observándose, en general, porcentajes de disolución más elevados en las muestras con concentraciones más escasas (Tabla 14.8).

Por lo que respecta a los yacimientos por separado, únicamente la Cova del Sardo presenta, en general, una buena conservación de los fitolitos (Tabla 14.8), siendo la concentración promedio de fitolitos de las muestras de unos 2,5 mill g / AIF (Figura 7.2). En el Abric de les Obagues de Ratera, únicamente han podido ser estudiadas 2 de las 7 muestras procesadas (Figura 8.1), con una concentración promedio de fitolitos estimada en 130000 g /AIF, unas 20 veces inferior (Tabla 14.8). A partir de esta problemática se descartó el estudio de los niveles más antiguos de AOR, al no presentar fitolitos suficientes.





**Figura 7.1. Diagrama de concentración de fitolitos de las muestras arqueológicas.** En el diagrama se representa la concentración de fitolitos estimada por muestra, a partir del AIF y del sedimento inicial, según se indica en la Tabla 14.8.



**Figura 7.2. Resumen de la concentración estimada de fitolitos procedentes de excavaciones arqueológicas.** (a) Gráfico de cuartiles de dispersión de las muestras con respecto a la mediana. (b) Sumario estadístico de las 26 muestras arqueológicas.

Como indican los valores detallados en la figura 7.2, la cantidad de fitolitos varía mucho entre las diferentes muestras. Esta diversidad se expresa en la elevada magnitud de la varianza y otras variables asociadas, en cierta medida condicionadas por la presencia de algunas muestras con concentraciones mucho más elevadas que los valores modales. En consonancia con esta elevada variabilidad, los test de normalidad (por ejemplo, el test de Shapiro-Wilk) excluyen la posibilidad de que nos encontremos ante una distribución fruto del azar (Shapiro y Wilk, 1965). En consecuencia, cabe tratar de identificar qué factor o factores pueden estar incidiendo en esta variabilidad.

*A priori*, podemos observar que existe una clara relación entre 2 variables con la concentración de fitolitos en las muestras: la localización (interior o exterior) y la dinámica

formativa del estrato (Figura 7.1). Por una parte, en el interior del abrigo, los sedimentos aparentemente formados durante eventos de ocupación, presentan concentraciones de fitolitos más elevadas, respecto a los momentos de abandono. En el exterior del abrigo, donde la dinámica formativa de los estratos puede ser diferente, en términos de vegetación potencial, vemos que pasa algo similar (Figura 7.1).

Por tanto, las muestras con concentraciones más elevadas, estimadas entre 5 y 9 mill g / AIF, (situadas en el primer percentil) (Figura 7.2), se asocian siempre con momentos de frecuentación humana. Tanto localizada en el interior abrigo (A-7A16, A-7A21 y A-7A31) (Figuras 6.4 y 8.3), como en el exterior (A-6A4 y A-6A9) (Figuras 6.2, 6.3 y 5.15).

Por su parte, las muestras con concentraciones de fitolitos más escasas (bajas o muy bajas), inferiores a 0,5 mill g / AIF, se reparten en dos tipos de contextos, en función de la localización topográfica de los estratos. Por un lado, el momento previo a la ocupación, en el exterior del abrigo (A-8A6, A-10A1-W, A-10A1-E); y por otro, una serie de estructuras de combustión o zonas de frecuentación del interior del abrigo (A-9B1, A-8B2, A-7B4, A7B6, A-7A8 y A-7A8-base) (Figuras 6.3 y 6.4).

El resto de las muestras, que presentan concentraciones intermedias (entre 0,5 y 5 mill g / AIF), se asocian con momentos de ocupación, tanto del interior del abrigo (A-7A29 y A-7A27), como, de la terraza exterior (A-6A1). En este grupo también podemos incluir un hogar del interior (A-5B1) y una gran estructura de combustión localizada en el exterior (A-8A4) (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4).

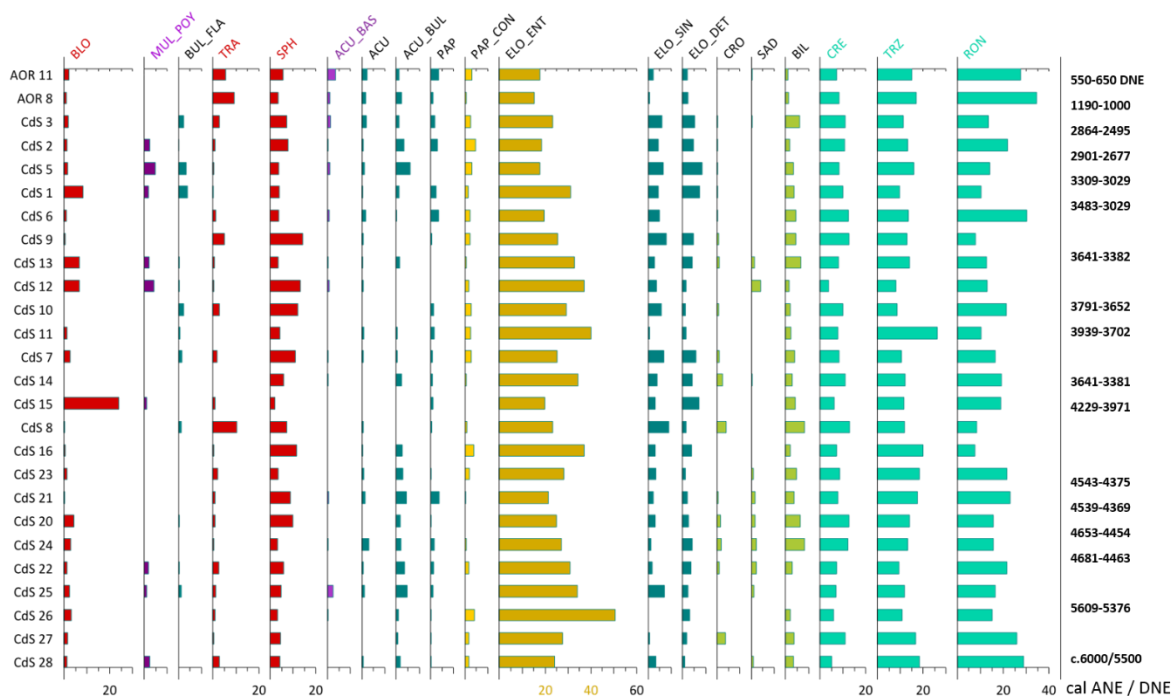
### **7.1.2 ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

---

A partir de los 19 morfotipos empleados (Tabla 6.5), hemos estimado su relación porcentual (Tabla 14.9), sin tener en cuenta los fitolitos que no han podido ser clasificados en ninguno de estos morfotipos. A continuación, se muestran gráficamente los resultados porcentuales

obtenidos (Tabla 14.9), ordenados a partir de la cronoestratigrafía de los abrigos (Tabla 14.1 y Figura 3.9).

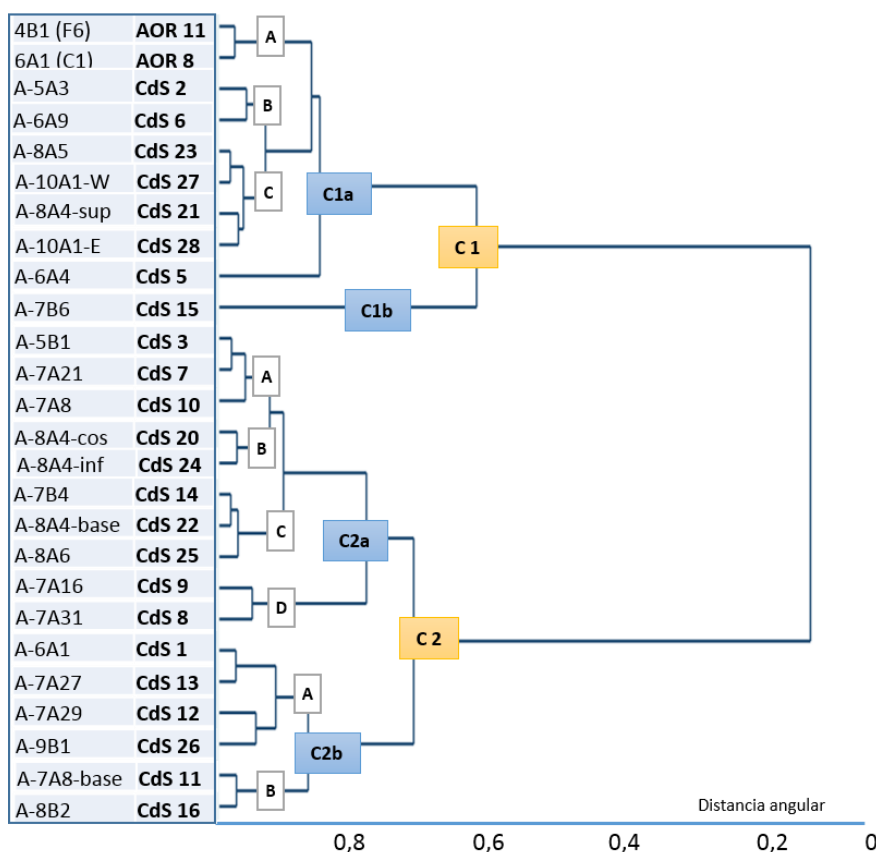
De la observación de los resultados podemos extraer varias conclusiones a nivel morfológico. En primer lugar, habría que destacar que los 5 morfotipos más comunes son ELONGATE ENTIRE (27 %), RONDEL (18%), TRAPEZOID (14 %), CRENATE (9%) y SPHEROID (7 %). El resto de los morfotipos suelen representar porcentajes bajos, habitualmente inferiores al 4% (Tabla 14.8 y Figura 7.3).



**Figura 7.3. Histograma de frecuencias de morfotipos de fitolitos de yacimientos arqueológicos, según el modelo cronológico.** En la gráfica se muestran los porcentajes de los 19 morfotipos clasificados en cada muestra arqueológica, según la tabla 14.9, ordenados cronológicamente. A la derecha aparece la datación radiocarbónica C14 asociado con las muestras, en años calibrados ANE / DNE.

En este trabajo hemos seguido la metodología descrita en Everitt et al., (2011), para identificar relaciones entre las diferentes muestras, estimadas porcentualmente, con el fin de establecer regularidades y divergencias. Éstas se han calculado a partir del test de contrastes y similitudes, descrito en Zhan y Hart, (2014). Posteriormente, hemos efectuado

un análisis de conglomerados. Para ello se ha aplicado la propuesta de Calinski y Harabasz (1974) para definir el número de conglomerados que representa la diversidad del conjunto con mayor fortaleza. Los valores indicados muestran un grado de concordancia entre las variables bastante elevado y una dispersión baja, mostrando como solución óptima agrupar las muestras arqueológicas en dos conglomerados (Figura 7.14, Tabla 14.14).



**Figura 7.4. Grado de similitud entre las muestras arqueológicas, a partir del análisis multivariante por conglomerados.** Prueba algorítmica de Ward, sin tener en cuenta el orden estratigráfico de las muestras (Calinski y Harabasz, 1974). El análisis de conglomerados muestra la similitud en la distribución estadística de los porcentajes de morfotipos, calculado a partir de la distancia angular (1= muestras iguales, 0= no hay relación).

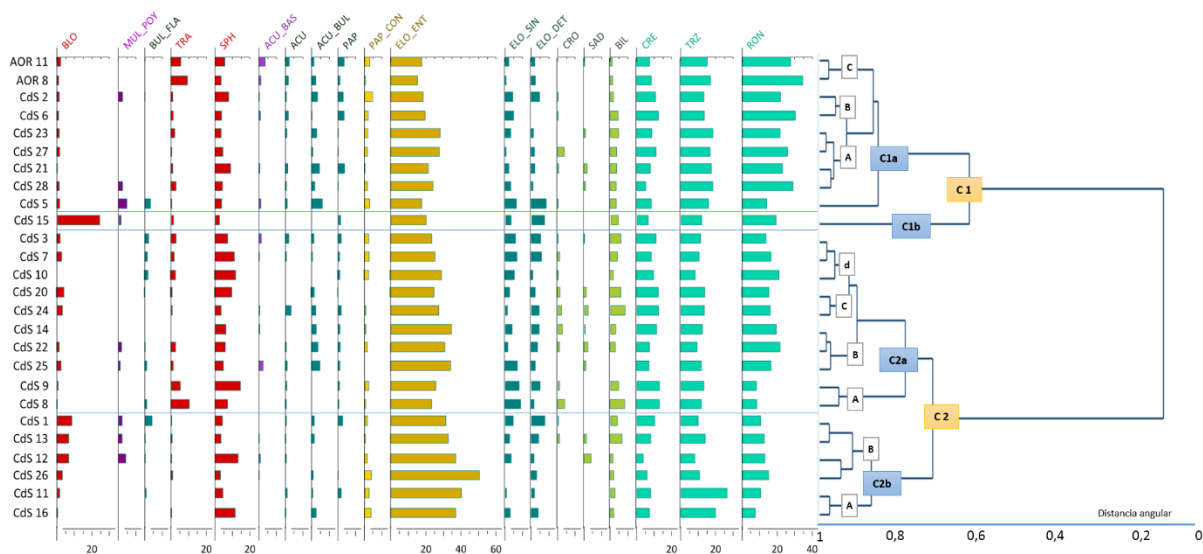
*Grosso modo*, parece documentarse una coincidencia elevada entre los conglomerados y la procedencia de las muestras, del interior o del exterior de la cornisa, aunque esta variable no sirve para explicar todos los casos, sólo la mayor parte. Por ejemplo, la muestra CdS 15 proviene de una fosa sinuosa del interior central del abrigo (A-7B6), que no se asocia con

momentos de ocupación de la cavidad (Figuras 6.4 y 8.3). Esta muestra aparece diferenciada del resto en el análisis de conglomerados (C1b) (Figuras 7.4 y 7.5).

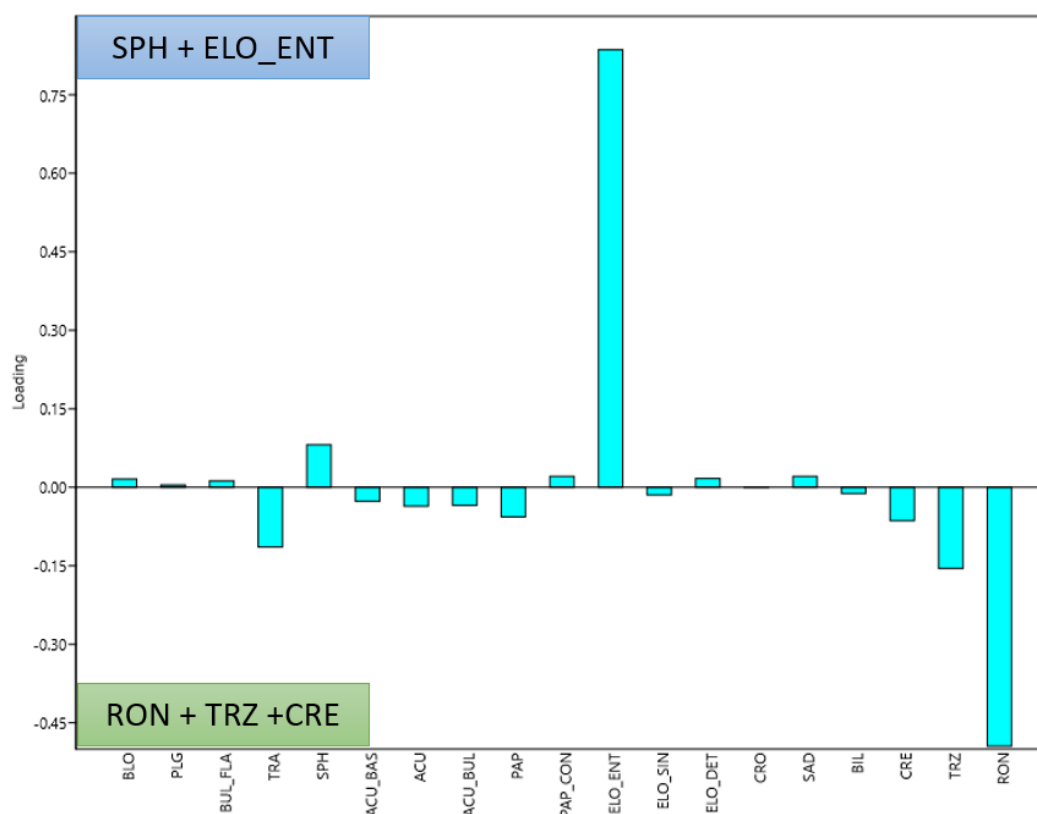
Por su parte, las dos muestras procedentes del exterior (AOR 11) y del interior (AOR 8) del Abric de les Obagues de Ratera, aparecen asociadas en C1aC (Figuras 7.4 y 7.5).

Las muestras CdS 2 y CdS 6, que también aparecen asociadas en la gráfica (C1aB) (Figura 7.4), fueron tomadas en la terraza exterior, en dos estratos contiguos (Figuras 6.2, 6.3 y 5.15). Mientras, las muestras CdS 23, 27, 21 y 28 (C1aC), proceden del exterior de la terraza, de momentos de posible desocupación (Figuras 6.5 y 8.4).

El resto de las muestras (C2) parecen asociarse con momentos de ocupación del abrigo, tanto del interior como del exterior de la cornisa (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4).



**Figura 7.5. Diagrama de frecuencias por morfotipos de las muestras arqueológicas, ordenadas según el algoritmo de Ward.** En el histograma de frecuencias aparecen las 26 muestras arqueológicas analizadas reordenadas a partir del grado de similitud observado en el análisis de clúster. Se puede apreciar que las muestras se distribuyen en 2 conglomerados principales y 4 grupos con distancias angulares superiores a 0,7.

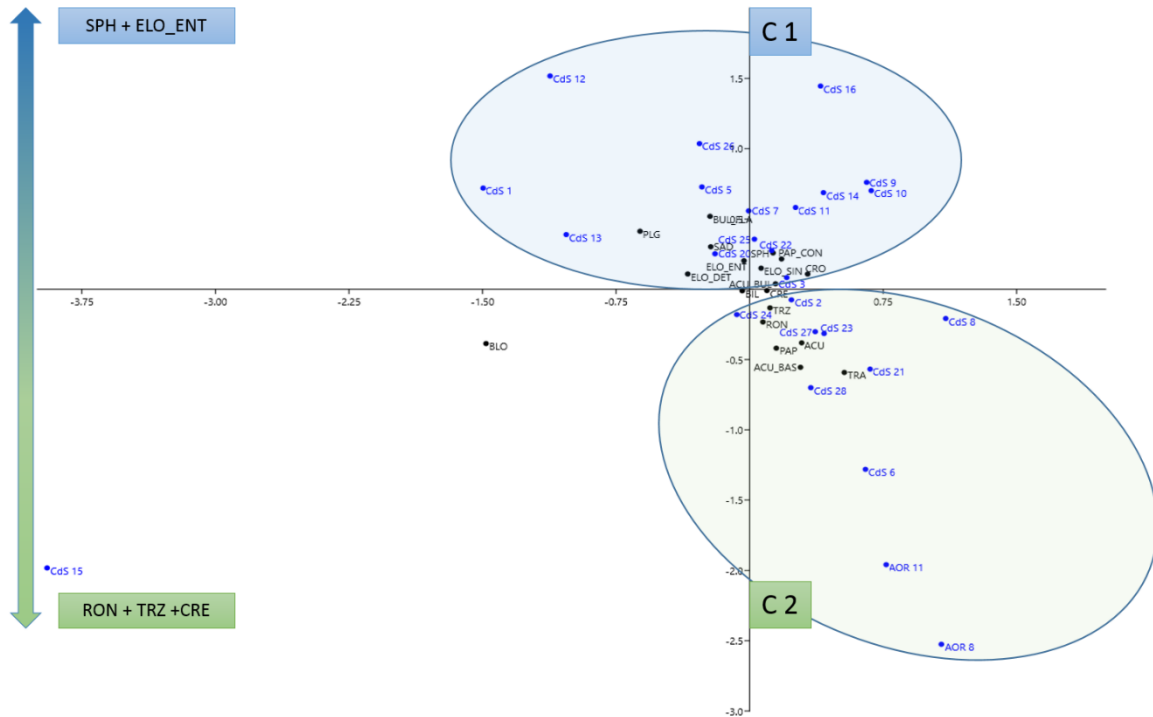


**Figura 7.6. Análisis de componentes principales (PCA) de las muestras arqueológicas.** La mayor parte de la varianza en el conjunto se puede explicar a partir de la oposición entre SPH + ELO\_ENT y RON+TRZ+CRE.

Posteriormente, hemos realizado un análisis de componentes principales (PCA), que muestran que más del 40% de la varianza en las muestras se podría explicar a partir de la oposición entre dos asociaciones de los 5 morfotipos dominantes: SPHEROID + ELONGATE ENTIRE *versus* TRAPEZOID + RONDEL + CRENATE (Figura 7.6).

El análisis de correspondencia realizado (Figura 7.7) agrupa los morfotipos con las muestras en dos conjuntos (C1 y C2). El conjunto C1 está caracterizado por los morfotipos SPHEROID y ELONGATE ENTIRE y contiene la mayor parte de las muestras del conglomerado C2 del análisis multivariante (Figura 7.5). Mientras, el conjunto C2 agrupa las muestras caracterizadas por el predominio de TRAPEZOID, RONDEL Y CRENATE, conteniendo la mayor parte de las muestras del conglomerado C1 (Figura 7.5).

El análisis de correspondencias, por lo tanto, valida el análisis de conglomerados, pero, además, confirma la oposición entre los dos grupos que señalaba el análisis de componentes principales (PCA).

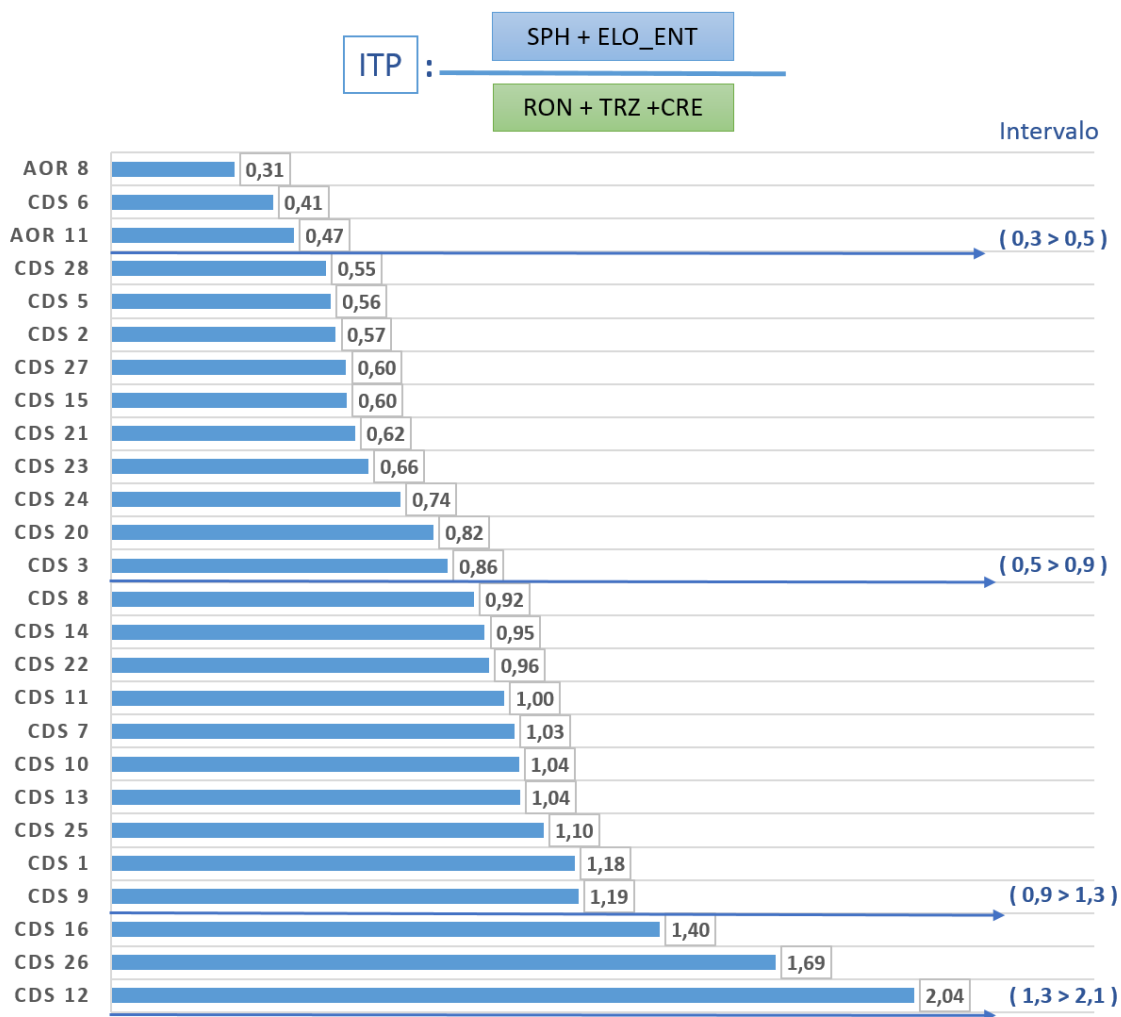


**Figura 7.7. Análisis de correspondencias de las muestras arqueológicas.** En la representación gráfica se observa como las muestras se distribuyen en dos conglomerados a partir de la distribución de las frecuencias de los morfotipos en las muestras.

A partir de estos resultados hemos referido la relación entre los 5 componentes principales de las muestras como un cociente, que hemos denominado índice de tipos principales (ITP):

$$ITP = \frac{\text{SPHEROID + ELONGATE ENTIRE}}{\text{RONDEL + TRAPEZOID + CRENATE}}$$





**Figura 7.8. ITP de las muestras arqueológicas.** La ratio es el resultado de dividir la suma de porcentajes: SPH + ELO\_ENT / RON + CRE + TRZ. La mayoría de los valores obtenidos (20) se sitúan entre 0,5 y 1,2 de ratio, siendo el valor promedio 0,9.

La ratio promedio derivada de la división de los componentes principales (SPH + ELO\_ENT / RON + CRE + TRZ) de las muestras se sitúa en 0,9, por lo que podemos observar las muestras donde el primer componente (SPHEROID + ELONGATE ENTIRE) es dominante, con ratios superiores a 1, mientras que las muestras con ratios inferiores a 0,8 señalan conjuntos de fitolitos donde la suma de RON + CRE + TRZ es el componente predominante en la muestra. La mayoría de los valores obtenidos (20) se sitúa en una ratio próxima al valor promedio (0,9 +/- 0,45), aunque algunos valores serían extremos, en términos gaussianos (6). Entre los 3 valores mínimos (0,3-0,5) encontramos las 2 muestras

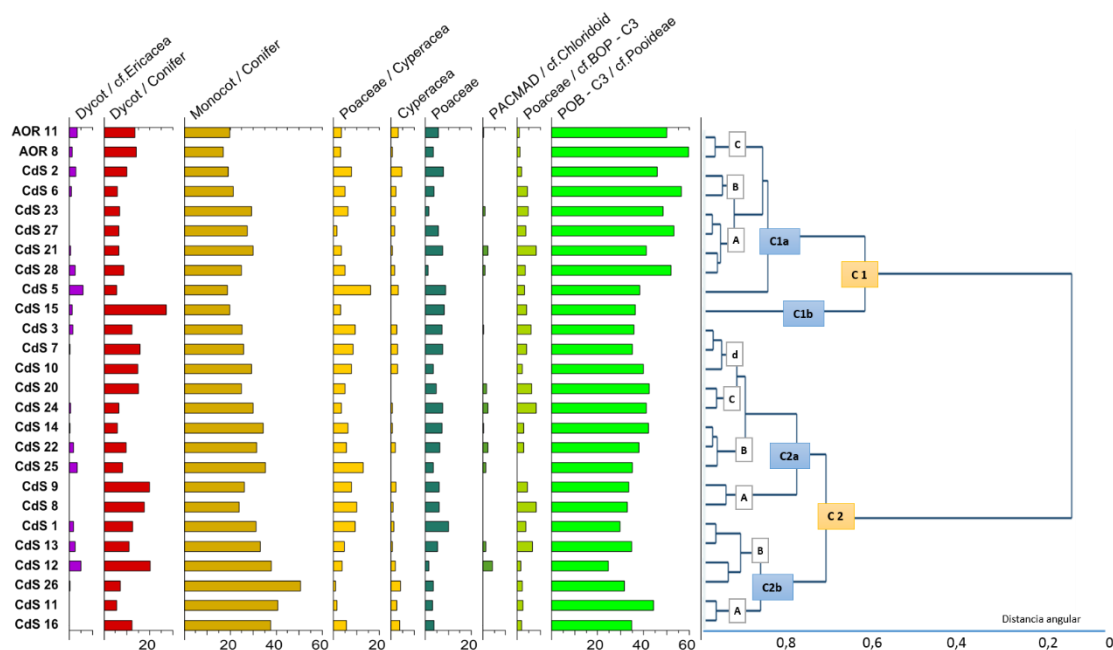
procedentes del Abric de les Obagues de Ratera, con valores predominantes del segundo componente (RONDEL+CRENATE+TRAPEZOID) (Figura 7.8).

Si observamos la atribución taxonómica descrita para cada uno de los morfotipos de los dos componentes principales (Tabla 6.6), vemos que RONDEL, CRENATE y TRAPEZOID se han definido como los morfotipos diagnósticos de plantas herbáceas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae*, como indicaban los resultados de la colección de referencia aplicada en esta tesis (Figura 5.1 y Tabla 5.2).

Por su parte, los morfotipos SPHEROID y ELONGATE ENTIRE presentan adscripciones taxonómicas distintas. SPHEROID se ha definido en diversos trabajos como un buen indicador de la cobertura arbórea de plantas caducifolias en nuestra región (Delhon et al., 2003). Aunque, según los resultados de la colección de referencia utilizada en nuestro caso de estudio podría ser un marcador de diversas especies de plantas leñosas (ericáceas, coníferas y caducifolias) (Figura 5.2 y Tabla 5.2). ELONGATE ENTIRE habitualmente se ha asociado con plantas monocotiledóneas, no necesariamente gramíneas (Albert et al., 2018), aunque también podrían ser producidas por las coníferas, en nuestro caso de estudio (Figura 5.2 y Tabla 5.2) (Carnelli, 2002; An, 2015).

En síntesis, los dos componentes principales opuestos reflejan señales de plantas claramente diferentes. De hecho, si observamos el diagrama de atribuciones taxonómicas de las muestras, realizado a según la tabla 6.6, vemos la oposición entre las *C<sub>3</sub>Pooideae* frente a *Dicotyledoneae* y *Coniferae* (Figura 7.9 y Tabla 14.10).

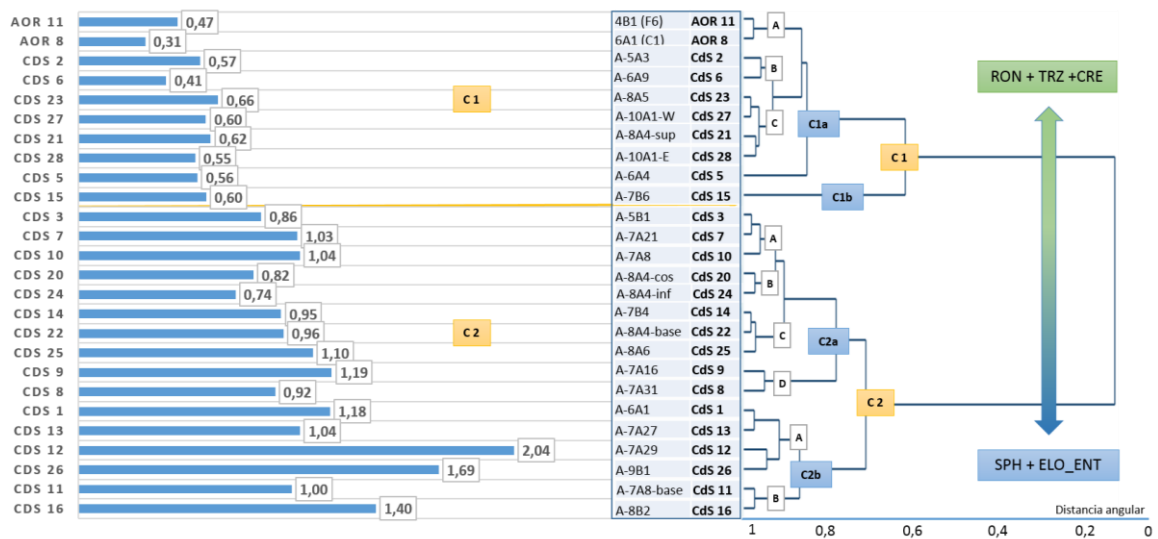
En conclusión, a partir de las diversas pruebas estadísticas realizadas apreciamos que se han definido 2 conglomerados principales en la serie de muestras analizadas (Figuras 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7). Si tomamos como referencia el dendrograma de la figura 7.4, el primer conglomerado (C1), agrupa 10 muestras. Salvo CdS 15 (A-7B6) y CdS 5 (A-6A4), que ha sido individualizadas en sus propios subgrupos; las 8 muestras restantes del conglomerado se caracterizan por presentar un dominio absoluto de los 3 componentes principales que asociamos con la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE), que representan aproximadamente el 52 % del total de fitolitos clasificados en el grupo C1a. Todas las muestras de este subconjunto provienen del exterior de la Cova del Sardo (A-5A3, A6A9, A5A8, A10A1) o del Abric de les Obagues de Ratera (4B1 (F6), 6A1 (C1) (Figuras 7.5 y 7.7).



**Figura 7.9. Histograma de frecuencias a partir de las atribuciones taxonómicas de las muestras arqueológicas.** Se presentan gráficamente los valores relativos de las 26 muestras arqueológicas (según las tablas 6.6 y 14.10). Las muestras han sido ordenadas a partir de la cronoestratigrafía descrita en los yacimientos (Tabla 14.1).

El segundo conglomerado (C2), agrupa las 16 muestras restantes. No obstante, podemos subdividirlo en dos subconjuntos. El primero (C2a) es el más heterogéneo, pues agrupa, principalmente estructuras o áreas de combustión, que pueden situarse dentro (A-5B1, A-7B4) o fuera del abrigo (A-8A4) y niveles de ocupación del interior de la Cova del Sardo (A-7A8, A-7A21, A-7A16, A-7A31). A nivel de composición morfológica se caracteriza por presentar porcentajes equivalentes entre los 2 componentes principales descritos (RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE) y (SPHEROID+ELONGATE ENTIRE), situada, en ambos grupos en torno al 35% - 40%, de modo que ninguno de los dos componentes domina sobre el otro.

El segundo subconjunto (C2b) también agrupa áreas de frecuentación del interior del abrigo (A-7A27, A-7A29 y A-7A8-base), así como estructuras de combustión (A-9B1 y A-8B2) y un suelo de ocupación exterior cubierto (A-6A1). Este conjunto se define a nivel morfológico por un predominio claro del componente (SPHEROID+ELONGATE ENTIRE), que suma el 44% de los fitolitos del subconjunto, frente a un 33 % (RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE) (Figuras 7.10 y 7.11 y Tablas 7.2 y 7.3).

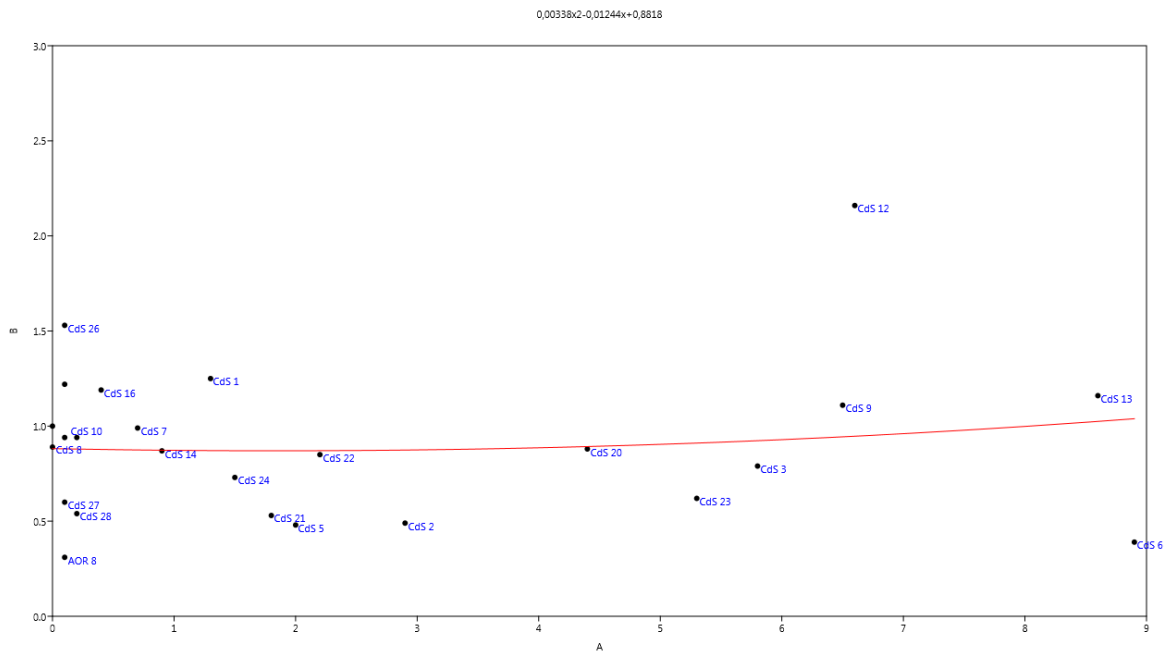


**Figura 7.10. ITP comparado con el análisis de clúster de las muestras arqueológicas.** Se observa que las muestras del conglomerado C1 presentan ratios bajas ( $0,3 > 0,7$ ), mientras las muestras del conglomerado C2 obtienen ratios medias o elevadas ( $0,7 > 2,1$ ).

En el diagrama (Figura 7.10) se evidencia la asociación de los componentes principales (RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE / ELONGATE ENTIRE+SPHEROID) a partir del ITP (Figuras 7.8 y 7.9), observándose, empíricamente, que los 2 conglomerados observados en el análisis de clúster se pueden definir, también, a partir de esta ratio. Ya que todas las muestras (10) con ratios bajas ( $0,3 > 0,7$ ) en el ITP, se encuentran en el conglomerado C1, mientras las de ratios medias y altas ( $0,7 > 2,1$ ) se sitúan en el conglomerado C2.

Estos resultados son debidos a una clara distribución estadística de las muestras en los dos conglomerados. Las 8 muestras de la CdS situadas en C1 (todas localizadas en la terraza), presentan un porcentaje promedio de 7,6% de SPHEROID y 32% de ELONGATE\_ENTIRE, frente a un 14% de RONDEL. Por otro lado, las 16 muestras de C2 presentan un 4,8 % de SPHEROID, un 22 de ELONGATE\_ENTIRE y un 23% de RONDEL.

Por último, hemos comparado el ITP (Figura 7.9) con la concentración de fitolitos estimada de las muestras (Tabla 7.1), en un test de correlación estadística entre ambas series numéricas (Figura 7.10). Con el objetivo de verificar si existe algún tipo de correlación cuantitativa entre la concentración de fitolitos observada en las muestras y su distribución estadística de morfotipos, a partir del análisis de los componentes principales. No se ha observado correlación entre la distribución estadística de los morfotipos (ITP) y la concentración en las muestras, por lo que asumimos que probablemente su composición morfológica no es debida a variables postdeposicionales, sino, sobre todo, antrópicas.



**Figura 7.11. Correlación estadística entre el ITP y la concentración de fitolitos en las muestras arqueológicas.** Aparentemente no se muestra ninguna correlación estadística entre el índice de tipos principales (ITP) y la concentración de fitolitos en las muestras arqueológicas.

### 7.1.3 ANÁLISIS POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

A continuación, pasamos describir sintéticamente los resultados del análisis de fitolitos por unidades estratigráficas, a partir de la secuencia radiocarbónica C14, de las diversas ocupaciones prehistóricas estudiadas en este trabajo.

### 7.1.3.1 ABRIC DE LES OBAGUES DE RATERA - AOR

---

#### ***Fase 4. Alto medieval (550 – 650 DNE)***

La única muestra analizada correspondiente a este nivel (AOR 11) proviene del estrato 4A1, de una estructura adosada al muro de cierre del abrigo (F6), que ha sido interpretada como un agujero de poste y fechada entre 550-650 cal NE. Se trata de una muestra relativamente pobre en concentración de fitolitos (inferior a 0,2 mill / g AIF), que aparecen muy alterados en un 39,7% de los casos (Tabla 7.1).

A nivel morfológico, la muestra presenta un porcentaje elevado (50%) de fitolitos atribuidos a la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL, CRENATE y TRAPEZOID), dominante entre las herbáceas del medio ambiente subalpino superior, donde se sitúa el abrigo (Tablas 7.2 y 7.3). Por el contrario, otros tipos de células cortas de poáceas, atribuidas a otras familias (BILOBATE, CROSS y SADDLE), apenas aparecen representadas (> 1%). Mientras, las PAPILLATE CONICAL, producidas por ciperáceas, podrían suponer, al menos, un 3% del total. El porcentaje de fitolitos atribuidos a plantas dicotiledóneas y coníferas asciende al 13,4 %, de las cuales podrían ser ericáceas, al menos, el 3,5 % (Figuras 7.12 y 7.13).

#### ***Fase 6. Bronce final (1190-1000 cal ANE)***

1 muestra (AOR 8) ha sido analizada de este nivel. Concretamente proviene de un pequeño hogar (C1) situado en el estrato 6A1, con una fecha de 1190-1000 cal ANE.

Lo primero que destaca de esta muestra es su mala conservación, ya que apenas se ha estimado la concentración de fitolitos en 54000 / g AIF; apareciendo disueltos o muy alterados la mayor parte (57%) de los fitolitos contabilizados (Tabla 7.1).

A pesar del mal estado de conservación de la muestra AOR 8, hemos podido comprobar una gran semejanza estadística respecto a la muestra anterior (AOR 11), en su distribución de morfotipos: la distancia angular según el análisis multivariante por conglomerados indica una semejanza superior al 95%, mientras la diferencia entre sus componentes principales (ITP) es inferior a 0,1 (Figuras 7.6, 7.9 y 7.13).

En este caso, los fitolitos atribuidos a la familia *C<sub>3</sub>Pooideae* alcanzan el 60% (que es el máximo absoluto entre las muestras arqueológicas), mientras los atribuidos a plantas

dicotiledóneas y coníferas se mantienen en porcentajes muy similares, del 14%, de los cuales, al menos el 1,1% podrían ser ericáceas (Figura 7.9, Tabla 14.10)

En conclusión, a pesar de la escasísima concentración de fitolitos documentada en el Abric de les Obagues de Ratera, los análisis cuantitativos realizados señalan una misma tendencia en diferentes ocupaciones, caracterizada por el predominio de las gramíneas sobre otras plantas, como coníferas o dicotiledóneas.

### **7.1.3.2 COVA DEL SARDO DE BOÍ - CDS**

---

#### ***Fase 5. Calcolítico (2900-2500 cal ANE)***

2 muestras han sido analizadas de las ocupaciones calcolíticas de la Cova del Sardo. La más reciente, CdS 2 procede del área de actividad de la terraza SE (A-5A3). Aunque no presenta un fechado directo, por sus relaciones estratigráficas ha sido asociada con la misma fase de ocupación de CdS 3: A-5B1 (2864-2495 cal ANE), un hogar situado bajo la cornisa del abrigo, en la zona interior E (Tabla 6.1) (Gassiot, 2011).

Ambas muestras presentan porcentajes de disolución similares (35,8% y 33,6%) así como concentraciones relativamente elevadas de fitolitos: 5,8 y 2,8 mill / g AIF, respectivamente (Tabla 7.1).

La interpretación taxonómica del resultado del análisis morfológico de los fitolitos indica que en las dos muestras analizadas las plantas monocotiledóneas suponen entre el 61% y el 68%, de los cuales, al menos el 35% y el 45%, respectivamente, podrían asociarse a la subfamilia de las gramíneas *C<sub>3</sub>Pooideae*. Por otro lado, los producidos por plantas dicotiledóneas o coníferas suponen alrededor del 13% en ambas muestras, por lo que no es descartable que efectivamente se puedan asociar con una misma fase temporal amplia (Figura 7.10, Tabla 7.3)

A nivel de distribución estadística de morfotipos las dos muestras presentan algunas diferencias relevantes, situándose en diferentes conglomerados, a partir del análisis multivariante de similitud (Figura 7.6). El análisis de componentes principales (Figura 7.6)

y el ITP (Figura 7.8), sin embargo, no las sitúan tan alejadas estadísticamente, como puede apreciarse en el dendrograma de conglomerados (Figura 7.4).

### ***Fase 6. Neolítico final (3400-3000 cal ANE)***

3 muestras han sido analizadas del Neolítico final, correspondientes a una ocupación del abrigo fechada entre 3400 y 3000 cal ANE. Las 3 muestras seleccionadas proceden de contextos diferentes, todos localizados en la terraza exterior del abrigo. CdS 1 procede del estrato A-6A1, un nivel asociado al colapso e incendio de una cubierta vegetal, de la cual se han conservado una serie de listones de madera de pino carbonizados (Gassiot, 2011). La estructura se localizaba en la terraza sureste, ampliando y cerrando el abrigo natural por esta zona. CdS 5 proviene de A-6A4, un suelo que se corresponde con el exterior de la estructura A-6A1. Por su parte CdS 6 es una muestra de una UE (A-6A9), localizada en la zona más exterior de la terraza inferior, aún más alejada del abrigo, de adscripción dudosa, posiblemente producto de la dinámica geológica (Gassiot, 2011).

A nivel estadístico el análisis cuantitativo multivariante (Figura 7.6) indica que la muestra CdS 1 (A-6A1) se podría asociar con la muestra A-7A27, procedente del interior este del abrigo, pero en ningún caso con CdS 5 (A-6A4). Del análisis de componentes principales (PCA) también se puede deducir que la muestra CdS 1, con un índice de 1,2 está muy alejada de las muestras de la terraza exterior (CdS 5 y 6) que presentan ratios idénticas (0,5), lo que explica que se encuentren en conglomerados distintos.

Por su parte, en la muestra A-6A9, de la terraza exterior inferior, se contabiliza la concentración de fitolitos más alta de todas las muestras analizadas de la Cova del Sardo (8,6 mill / g AIF). Esta misma muestra también presenta el porcentaje más elevado de RONDEL (30,3%) de todo el yacimiento, alcanzando un porcentaje de fitolitos asociados a *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL+CRENATE+TRAPEZOID) del 56%. La segunda muestra con un mayor porcentaje de RONDEL es la A-10A1-E (28,8 %), procedente de la misma zona de la terraza exterior. De hecho, son dos muestras morfológicamente muy próximas, ya que se sitúan en el mismo subconjunto estadístico (C1a), a pesar de la gran diferencia de concentración de fitolitos entre ellas.



### ***Fase 7. Neolítico medio (4200 – 3400 cal ANE)***

Han sido analizadas 9 muestras del interior del abrigo, procedentes de distintos estratos fechados en el intervalo 4200 – 3400 cal ANE. Según el análisis multivariante por conglomerados (Figura 7.6 y 7.8), ninguna de estas muestras se corresponde con el subconjunto C1a, asociado con el exterior del abrigo. A partir de aquí, parece que rige una tendencia en cuanto a los porcentajes de morfotipos (Tabla 7.2, Figuras 7.12 y 7.13). Casi todas las muestras presentan una ratio (PCA) en torno a 1 ( $0,8 > 1,2$ ) (CdS 7, 8, 9, 10, 11 y 13), procedentes de los subconjuntos A-7A8, A-7A16, A-7A21, A-7A27 y A-7A31. Todas estas unidades estratigráficas, *a priori*, podrían estar relacionadas o bien directamente con estructuras de combustión, más o menos definidas, o bien con áreas de ocupación.

Únicamente destacan 2 muestras con ITP fuera de la normalidad estadística: (CdS 12), tomada en el estrato A-7A29, con un índice de 2,04, y CdS 15, procedente de A-7B6, con un índice bajo (0,6) (Tabla 7.2, Figuras 7.9, 7.12 y 7.13).

Si observamos las concentraciones de fitolitos, vemos que justamente CdS 15 (A-7B6) es la muestra con una concentración de fitolitos más baja del yacimiento ( $> 25000 / g$  AIF AIF). Mientras, que el resto presentan concentraciones muy variadas (Figuras 7.1. 7.3 y 7.4).

En conclusión, el análisis cuantitativo de fitolitos parece señalar una misma tendencia general en este conjunto de estratos, coherente con eventos de ocupación y actividad en el interior del abrigo, salvo en el caso de CdS 15 (A-7B6), que podría estar reflejando un relleno geológico.

### ***Fase 8. Neolítico antiguo final (5500 – 4400 cal ANE)***

Han sido analizadas 7 muestras de la fase 8 (CdS 16, 20, 21, 22, 23, 24 y 25) y 1 de la fase 9 (CdS 26).

A diferencia de la fase 7, que se concentraba en el interior del abrigo, la fase 8 presenta una ocupación tanto de interior como, especialmente, de la terraza exterior, de donde proceden la mayor parte de las muestras analizadas (5).

Todas las muestras analizadas de las fases 8 y 9, fechada entre 5500 y 4400 cal ANE, proceden directamente de estructuras de combustión situadas o bien en la terraza exterior (A-8A4) o bajo la cornisa (A-8B2 y A-9B1).

La primera fase de ocupación del abrigo consta de una única muestra, CdS 26, procedente de una pequeña estructura de combustión en cubeta (A-9B1), fechada entre 5563 y 5376 cal ANE, situada bajo la cornisa del sector occidental.

Se caracteriza por presentar una concentración de fitolitos muy escasa ( $> 0,1$  mill g / AIF), pero caracterizada por un ITP muy elevado (1,7). Tanto a nivel de análisis multivariante y de correspondencias (Figuras 7.4 y 7.7) como a partir del ITP, tiene como muestra más cercana CdS 12, localizada, también en el interior del abrigo, con una ratio de 2, ambas en el clúster C2b/A (Figura 7.13). Otra muestra muy cercana a ésta es A-8B2, del interior del abrigo, que presentan un ITP similar (1,4), de los más elevados de la Cova del Sardo (Figura 7.8).

La muestra CdS 16, procede de A-8B2, una estructura de combustión organizada en un círculo concéntrico de piedras, fechada en 4543-4375 cal ANE. La estructura se encuentra situada en una posición similar a A-9B1 (hogar en cubeta), bajo la cornisa oeste, pero con una datación de unos 1000 años más reciente (Tabla 6.1 y Figura 7.4). No obstante, a nivel de análisis de fitolitos resulta ser bastante similar a la anterior. También presenta una concentración baja de fitolitos (0,35 mill / g sed) y una disolución elevada (41%). La distribución estadística de morfotipos es muy similar entre CdS 16 y CdS 26 (A-9B1). Según el análisis de clúster podemos situarlas en el mismo subconjunto (C2b) (Figura 7.6 y 7.12).

Ambas muestras presentan ITP elevados (1,4 y 1,7), de hecho, son los más próximos entre sí del conjunto (Figuras 7.9 y 7.13). Esta relación de componente principales es indicativa de un porcentaje predominante del componente 1 (ELONGATE ENTIRE + SPHEROID) respecto al componente 2 (RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE) (Figuras 7.7, 7.8, 7.9 y 7.13). En CdS16 se ha calculado un porcentaje de fitolitos del morfotipo SPHEROID, habitualmente asociado a tronco y corteza de plantas leñosas dicotiledóneas o coníferas, del 12%, frente a un 8 % de RONDEL, que estaría confirmando su uso como estructura de combustión.

De la estructura A-8A4, una gran estructura de combustión localizada en la terraza exterior, de unos 6 m<sup>2</sup> de extensión y 25 cm de potencia media (Gassiot, 2011). El relleno sedimentario de la estructura presenta una serie de 4 fechados de C-14, que ofrecen un intervalo de reutilización entre 4369 y 4681 cal ANE (Tabla 6.1).

Han sido analizados los fitolitos procedentes de 4 muestras secuenciadas (CdS 20, 21, 22 y 24), tomadas a diferentes cotas, desde la base al techo, del paquete de relleno de la estructura A-8A4. Además, hemos estudiado una muestra del suelo geológico sobre el que se realizó la estructura de combustión (CdS 25) y del muro norte sobre el que reposaba el

relleno (CdS 23). Con lo que podríamos afirmar que se ha abordado un estudio detallado de la mayor estructura de combustión del yacimiento (Gassiot, 2011).

Si observamos la variación en la concentración de fitolitos, vemos que las muestras centrales (8A4-cos y A-8A4-base) presentan concentraciones inferiores, en torno a 1,77 y 1,48 mill /g sed, frente a A-8A4-sup que alcanza 5,3 mill y A-8A4-inf con 4,4 mill, estimados por gramo de sedimento. Si bien la muestra A-8A4-inf es la única que presenta porcentajes importantes de diatomeas (27,8%), que sugieren periodos de estancamiento de agua en la terraza, posiblemente previos al uso de la estructura de combustión, como tal (Tabla 14.8 y Figuras 6.5 y 8.4).

Si observamos el estudio multivariante por morfotipos detallado en el análisis de clúster vemos que todas las muestras del contexto se asocian estadísticamente entre sí, en mayor o menor grado de semejanza (Figura 7.6). Concretamente, las muestras CdS 20 y 24, procedentes de la zona central intermedia (A-8A4-cos) e inferior (A-8A4-inf) del paquete de relleno presentan una semejanza superior al 95% entre sí. Por su parte, las muestras CdS 22 y CdS 25, procedentes respectivamente de la base de la estructura (A-8A4-base) y del suelo geológico donde se asentaba la estructura (A-8A6) son también muy similares. Las 4 muestras se localizan en el subconjunto C2a (Figura 7.6).

Por su parte, las muestras CdS 21 y 23, procedentes, respectivamente, de la superficie de la estructura de combustión (A-8A4-sup) y del muro de cierre de la estructura (A-8A5) se agrupan en otro subconjunto (C1a/C), característico del relleno sedimentario geológico de exterior de la terraza.

Si observamos los ITP, vemos que efectivamente las muestras CdS 20, 24, presentan índices equivalentes (0,82 y 0,74). Las muestras CdS 22 y 25 también presentan índices similares, algo más elevados (0,96 y 1,1), mientras CdS 21 y 23, podrían agruparse por sus ratios bajas (0,66 y 0,62) (Figuras 7.9 y 7.13).

Si atendemos a la concentración de fitolitos observada, las 3 tendencias observadas se confirman. Las muestras del techo y del muro de la estructura (CdS 23 y 21) presentan concentraciones estimadas medio/altas (1,5 y 1,8 mill g / AIF). Las muestras del interior de la estructura de combustión (CdS 20, 22 y 24) presentan concentraciones elevadas (2,1, 4,4 y 5,3 mill g /AIF). Y, finalmente, la muestra procedente del suelo geológico, previa al uso de la estructura (CdS 25) presenta una concentración muy baja (60.000 g / AIF). Lo cual confirma la hipótesis de que las mayores concentraciones de fitolitos, también en la terraza exterior del abrigo, se encuentran en los niveles de uso de las estructuras de combustión.

### ***Fase 10. Desocupación inicial (6000 – 5600 cal ANE)***

Han sido analizadas 2 muestras del techo del nivel geológico, denominado fase 10 (Figura 6.1). Ambas muestras (CdS 27 y 28) provienen justo de la zona de contacto con las primeras ocupaciones de la Cova del Sardo (Fase 9), y, por tanto, estratigráficamente deben corresponderse con suelos formados justo antes de las primeras ocupaciones humanas, que han sido fechadas entre 5563 y 5376 cal ANE. Las 2 muestras fueron tomadas en el exterior del abrigo, una en el sector noroccidental (A-10A1-W), junto a la estructura de combustión A-9B1, y la otra en la terraza inferior sudoriental (A-10A1-E), por debajo de la UE A-8A6 (Figuras 6.5 y 8.4).

El análisis cuantitativo demuestra que efectivamente ambas muestras de suelo geológico presentan una semejanza superior al 95%, pudiéndose agrupar en la misma asociación (C1a/C) que las dos muestras procedentes del exterior de la estructura A-8A4 (CdS 21 y 23).

Las 4 muestras asociadas (CdS 21, 23, 27 y 28) proceden de suelos del Holoceno medio inferior (entre 4200 y 6000 cal ANE), y de la terraza exterior del abrigo. Su ITP es también equivalente ( $0,55 > 0,66$ ), dominando el componente asociados a la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL+CRENATE+TRAPEZOID) en todas las muestras relacionadas (Figura 7.9, 7.12 y 7.13), con porcentajes situados en torno al 50% del total de fitolitos clasificados. En ambas muestras se observa un dominio del morfotipo RONDEL (26% - 29%), en porcentajes cercanos a las ELONGATE ENTIRE (24% - 27%). Por su parte los porcentajes de fitolitos del tipo SPHEROID, en ambos casos, se sitúan en un 4,3%, mientras que el de PAPILLATE CONICAL alcanza el 1,7%. Habría que destacar un porcentaje relativamente significativo de células cortas del tipo BILOBATE, que suponen entre el 3,7% y 3,3 %, del total (Figura 7.12 y Tabla 7.2).

Si nos fijamos en las concentraciones de fitolitos, vemos que las dos muestras de la fase 10 presentan cantidades muy bajas ( $0,2 > 0,05$ ) mil g / AIF (Tabla 7.1 y Figura 7.4).

En conclusión, el análisis de fitolitos parece apuntar a una cierta homogeneidad en el estrato geológico A-10A en toda la terraza del abrigo.

## **7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FITOLITOS EN SONDEOS DE SUELOS (8,5 – 1 KA CAL BP)**

---

Presentación de los resultados del análisis comparado de fitolitos de los sondeos geológicos realizados en la Pleta d'Erdo y el Forcall de Sant Esperit de Aigüestortes.

Unos 6800 fitolitos procedentes de dos sondeos geológicos han sido analizados en esta tesis (Tabla 14.). La mayoría (5900) provienen de las 17 muestras analizadas del Forcall de Sant Esperit – AS 2, mientras que los restantes (900), proceden de las 4 muestras analizadas de la Pleta d'Erdo – AS 1.

### **7.2.1 ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE FITOLITOS**

---

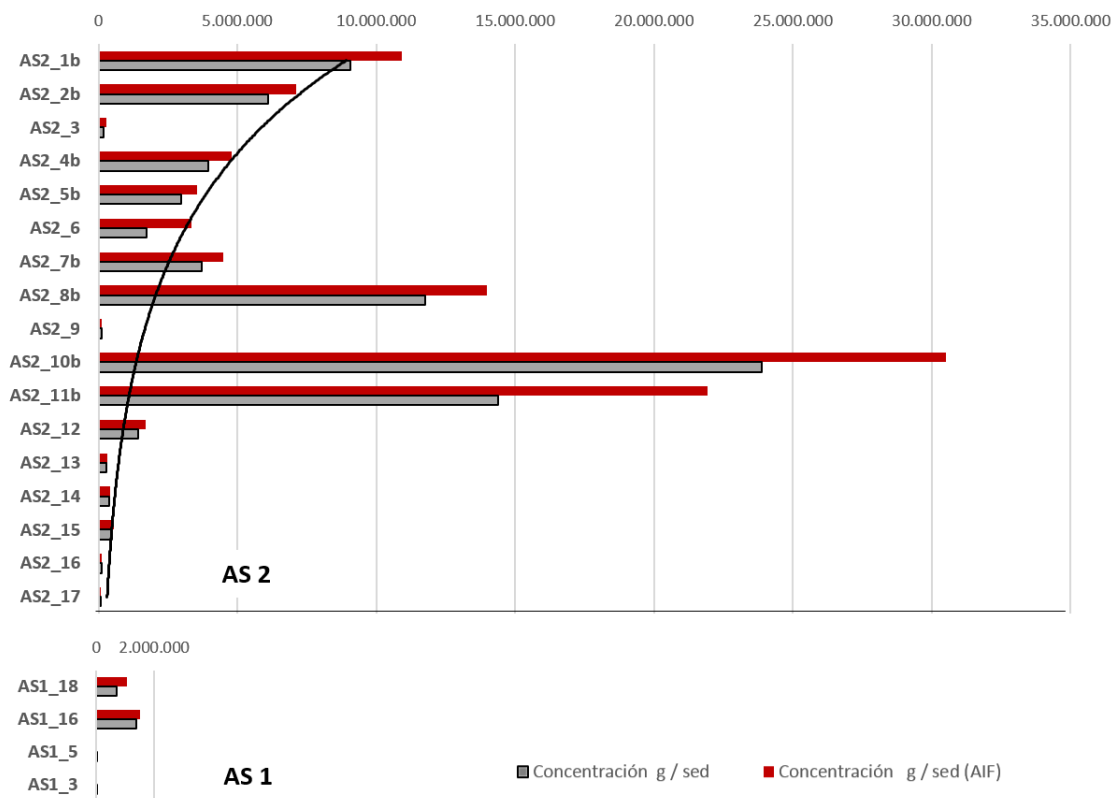
Las concentraciones de fitolitos son muy variables, siendo claramente marginales en la Pleta d'Erdo, con un promedio de unos 0,6 mill / g AIF en las muestras contabilizadas, mientras que en el Forcall de Sant Esperit, la concentración promedio del suelo es de más de 6 mill / g AIF (Figura 7.12, Tabla 14.11). Es decir, unas 10 veces más elevada.

Es reseñable el hecho de que la concentración superficial de fitolitos de AS 1 también sea, exactamente, 10 veces inferior a la concentración superficial de AS 2. Este hecho podría ayudar a explicar la menor presencia de fitolitos en el depósito situado a media ladera (AS 1) (2555 m snm), respecto al del fondo del valle (AS 2) (1771 m snm) (Figura 5.8). Posiblemente, la diferencia en la productividad de fitolitos de los suelos, en función de la altura, se deba a factores ecológicos (Carnelli et al., 2001).

El estado de conservación de las muestras también es malo en todas las muestras analizadas de Pleta d'Erdo – AS 1, con porcentajes de disolución que afectan a la mayor parte de los

fitolitos clasificados (50>70%). Mientras que en el Forcall de Sant Esperit – AS 2, únicamente 4 muestras (de 17) presentan problemas de elevada disolución en los fitolitos (Tabla 14.11).

Como ya hemos detallando, la concentración de fitolitos en las muestras geológicas procedentes de los dos sondeos analizados, es ligeramente más elevada que la de las muestras arqueológicas, aunque su variabilidad interna es muy significativa (Figuras 7.2 y 7.13).



**Figura 7.12. Diagrama de concentración de fitolitos de las muestras geológicas.** En el diagrama se representa la concentración de fitolitos estimada por muestra, a partir del AIF y del sedimento inicial, según se indica en la Tabla 14.9.

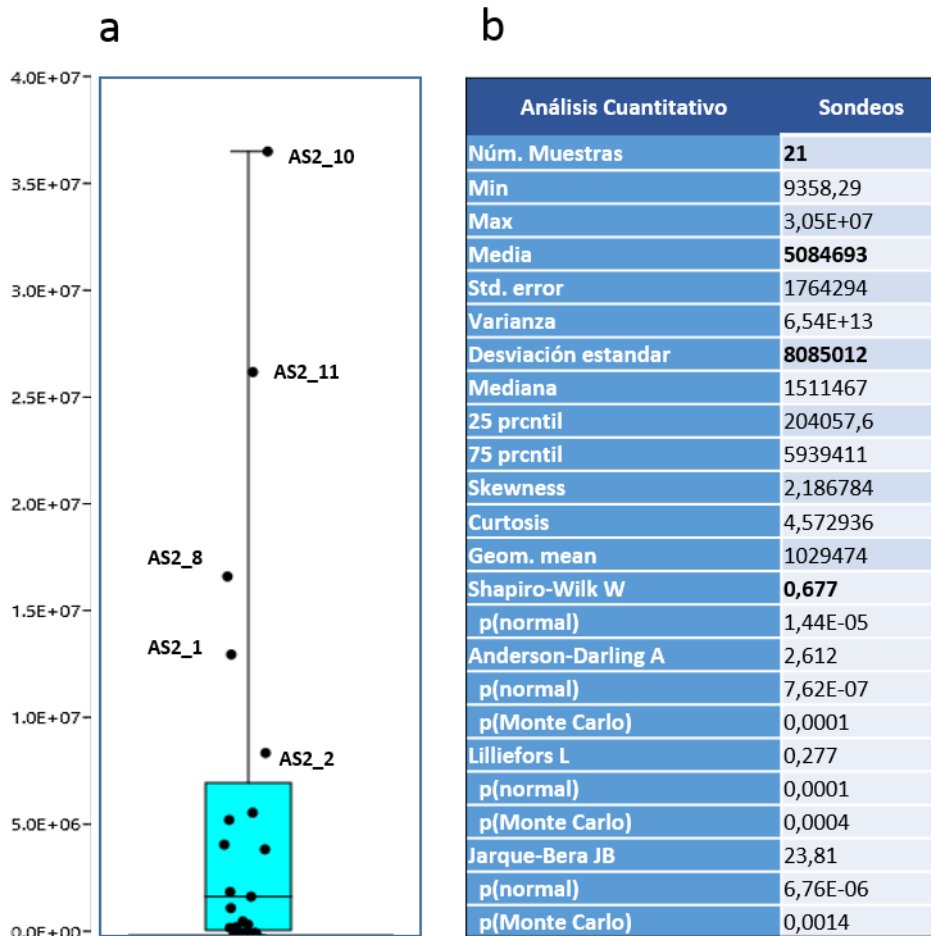
El sondeo realizado en un suelo aluvial de la Pleta d'Erdo – AS 1, presenta una preservación muy deficiente de los fitolitos, ya que únicamente 4, de 18 muestras extraídas (Tabla 6.3), presentaban concentraciones suficientes para su análisis morfológico.

En el sondeo AS 1, las 2 muestras analizadas del horizonte O (N.1), superficial, presentan concentraciones medio/bajas ( $1,5 < 1$  mill g/AIF), mientras que las muestras del horizonte C (N.7 y N.8), presentan concentraciones mínimas ( $0,02 < 0,01$  mill g /AIF) (Figura 7.12).

Por su parte, las muestras procedentes del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS2, donde el 100% de las muestras extraídas del perfil (17) han podido ser cuantificadas, presentan una tendencia geológica que marca un descenso de la concentración de fitolitos, en función de la mayor o menor profundidad de la muestra en el suelo, aunque esa tendencia se altera en algunos estratos (Figura 7.12).

Si observamos la curva logarítmica obtenida para el sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2, vemos que hay, al menos, 3 muestras claramente sobrerrepresentadas, con valores muy elevados de fitolitos (AS2\_ 8b, AS2\_10B y AS2\_11b). Estas muestras presentan concentraciones anormalmente elevadas, estimadas entre 12 y 30 millones de fitolitos g /AIF (Figuras 7.12 y 7.13, Tabla 14.11). Dicha concentración difícilmente podría ser fruto del azar según los test realizados (Figura 7.13), por lo que debe ser explicada en base a nuestros resultados analíticos. Destacamos que dos de las muestras referidas se localizan en estratos datados por C14 (A1b y A2b) (Figura 6.6, Tabla 14.6).

Además, de estas 3 muestras con concentraciones anormalmente elevadas, han sido documentadas 2 muestras (AS1\_3 y AS1\_9) con concentraciones muy escasas ( $0,1 > 0,3$  mill /g AIF), que podrían ser debidas a factores ambientales, como eventos de inundación, por ejemplo.



**Figura 7.13. Resumen estadístico del análisis cuantitativo de la concentración estimada de fitolitos procedentes de sondeos.** (a) Gráfico de cuartiles con la distribución estadística de las muestras. Se destacan las muestras con concentraciones más elevadas. (b) Resumen de los resultados de las diversas pruebas estadísticas realizadas sobre la distribución cuantitativa del conjunto de 26 muestras arqueológicas.

## 7.2.2 ANÁLISIS MORFOLÓGICO

A continuación, presentamos los resultados del análisis morfológico de fitolitos procedentes de las muestras de los sondeos de suelos, agrupados dentro de los 19 tipos y subtipos empleados en esta tesis (Tablas 6.5 y 6.6).



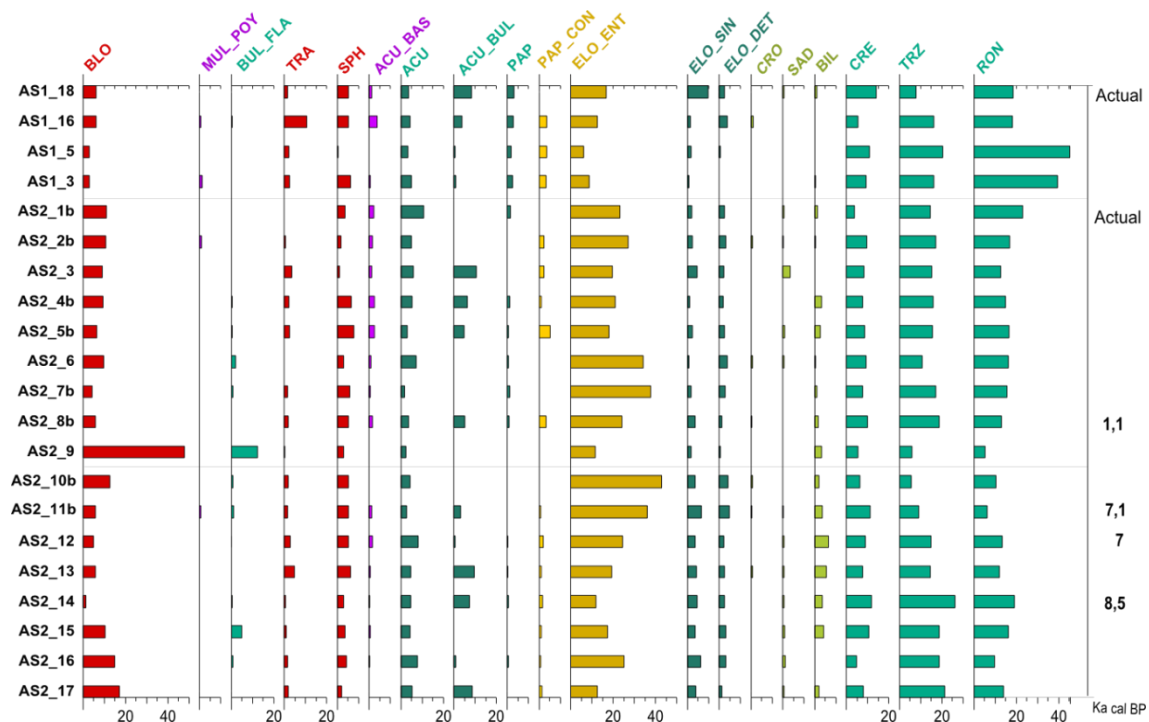
Del análisis cuantitativo por morfotipos podemos documentar una importante variabilidad en las muestras documentadas, si bien es posible extraer algunas conclusiones generales.

Si comparamos los resultados obtenidos en los sondeos con las muestras arqueológicas vemos que los morfotipos predominantes son esencialmente los mismos y su frecuencia relativa aparece en el mismo orden (Tablas 14.11 y 14.8, Figuras 7.14 y 7.20), aunque en algunos casos varía sustancialmente su frecuencia. Las ELONGATE ENTIRE son el tipo predominante a nivel general, con una frecuencia promedio de 21%, 6 puntos menos que en las muestras arqueológicas (27 %). También desciende significativamente el porcentaje promedio de SPHEROID (4 %), respecto a las muestras arqueológicas (7%). Por su parte, los tres tipos predominantes, asociados en este caso de estudio con la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL, CRENATE y TRAPEZOID), prácticamente, calcan los porcentajes relativos (9%, 14% y 18%), respecto a las muestras arqueológicas, suponiendo un promedio total del 41% en las muestras geológicas.

Otro morfotipo, cuya presencia es menos frecuente, pero constante, son las BILOBATE, que alcanzaban un 3,6% en las muestras arqueológicas, descendiendo al 2% en las muestras de suelos. Sin embargo, si tomamos como referencia las 7 muestras del perfil AS 2, que según nuestro modelo cronológico podríamos asignar al Holoceno medio, vemos que el porcentaje de fitolitos de tipo BILOBATE, supone el 3,4 % (Figura 7.14, Tabla 14.12). Por lo que su mayor presencia en las muestras del Holoceno medio, respecto a las del Holoceno final, probablemente, se deba a factores ecológicos, no antrópicos. Por su parte, los tipos CROSS (0,2%) y SADDLE (0,5%), no llegan al 1% ni en las muestras arqueológicas ni en las de suelos.

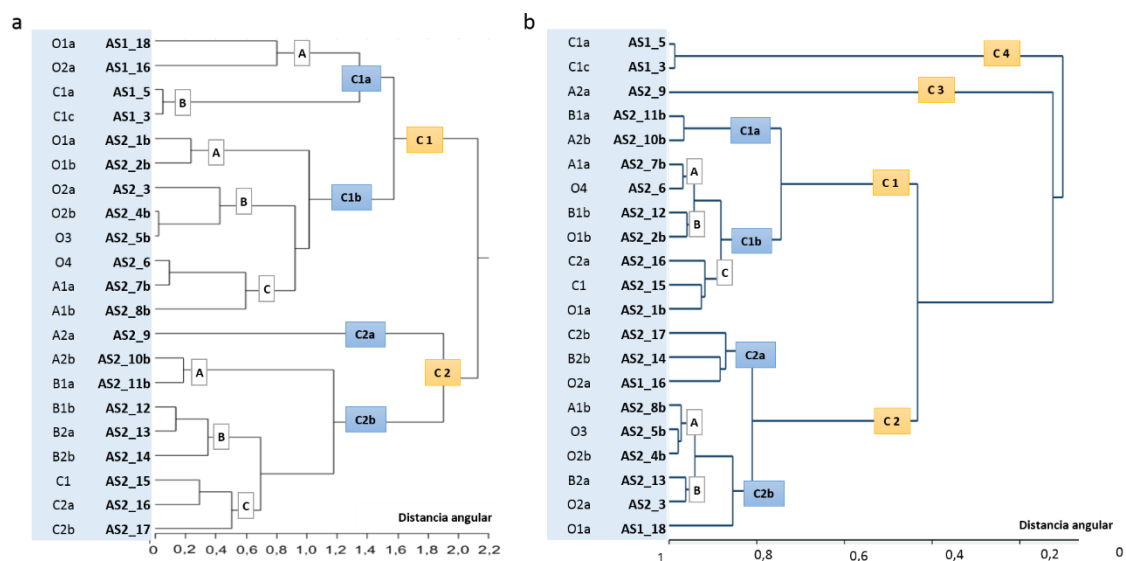
En conclusión, las células cortas predominantes en todos los contextos son siempre del tipo RONDEL, asociado en nuestro caso de estudio a gramíneas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae*, especialmente frecuentes, según la colección de referencia utilizada (Carnelli, 2002), en los géneros *Festuca* y *Nardus*.

Entre los otros morfotipos clasificados, debemos destacar una mayor presencia del tipo ACUTE, en las muestras sedimentarias (4%), respecto a las arqueológicas (1%). Otros morfotipos con frecuencias bajas serían las ELONGATE DENTATE (2,5%) y las ELONGATE SINUATE (3,3%), con valores parecidos a los documentados en las muestras arqueológicas, aunque pueden presentar porcentajes más elevados en algunas muestras. Los morfotipos TRACHEARY (2%), PAPILLATE (1%) y PAPILATE CONICAL (1,6%), también presentan valores muy similares en todos los conjuntos estudiados. Por último, cabe destacar una presencia mucho más elevada y constante de BLOCKY (10%) en las muestras de suelos, respecto a las arqueológicas (3%).



**Figura 7.14. Histograma de frecuencias de morfotipos de fitolitos de muestras geológicas, según el modelo cronoestratigráfico.** Muestras cuantificadas de los 2 perfiles, según su orden estratigráfico. En el diagrama se muestran los porcentajes de los 19 morfotipos clasificados en cada muestra sedimentaria. A la derecha se indican las muestras datadas por C14, en ka cal BP, y las de la superficie actual del suelo.

En este trabajo hemos seguido la metodología descrita en Everitt et al., (2011), para identificar relaciones entre las diferentes muestras, estimadas porcentualmente, con el fin de establecer regularidades y divergencias. Éstas se han calculado a partir del test de contrastes y similitudes, descrito en Zhan y Hart, (2014). Posteriormente, hemos efectuado un análisis de conglomerados. Para ello se ha aplicado la propuesta de Calinski y Harabasz (1974) para definir el número de conglomerados que representa la diversidad del conjunto con mayor fortaleza. Los valores indicados muestran un grado de concordancia entre las variables bastante elevado y una dispersión baja, mostrando como solución óptima agrupar las muestras arqueológicas en dos conglomerados (Figura 7.15(b), Tabla 14.14).



**Figura 7.15. Grado de similitud entre las muestras arqueológicas, a partir del análisis multivariante por conglomerados.** (a) Prueba algorítmica de Ward, sin tener en cuenta el orden estratigráfico de las muestras. (b) Prueba de Edwards y Cavalli-Sforza para el cálculo de las distancias euclidianas, teniendo en cuenta el orden estratigráfico de las muestras.

Al realizar la misma prueba estadística de Ward basada en un algoritmo de clasificación jerárquica multivariante (Everitt et al, 2011); el test de semejanza agrupa las muestras en un mínimo de 4 conglomerados y 4 subconjuntos, pero algunos de estos presentan una sola muestra, por lo que resulta poco operativo a la hora de interpretar la secuencia sedimentaria (Figura 7.15(b)). Por ello, pensamos que el problema podría remitirse a la diferencia entre los dos tipos de muestreo (arqueológico y geológico). Mientras las muestras arqueológicas provienen de una excavación en extensión (74 m<sup>2</sup>) realizada en diferentes tipos de contextos (dentro y fuera del abrigo) y con una estratigrafía horizontal, las muestras geológicas provienen de perfiles sedimentarios de tipo aluvial, que, a partir de nuestro modelo cronológico, pensamos que se han conformado de manera secuenciada (Figura 6.6). Por ello, hemos optado por poner en valor el modelo secuencial documentado en la estratigrafía de los perfiles, por lo que se presenta también la prueba de Edwards y Cavalli-Sforza para el cálculo de las distancias euclidianas, teniendo en cuenta el orden estratigráfico de procedencia de las muestras (Figura 7.15(a)). El objetivo de realizar ambas pruebas ha sido verificar las hipótesis de trabajo y observar empíricamente cuál de las dos explica de una manera más satisfactoria, en términos estrictamente empíricos y científicos, las relaciones de proximidad morfológico-cuantitativa observadas entre las muestras (Everitt et al, 2011; Zhan y Hart, 2014.).

En este caso, observamos una mayor semejanza estadística en la prueba de Edwards y Cavalli-Sforza para el cálculo de las distancias euclidianas, teniendo en cuenta el orden estratigráfico de las muestras (Figura 7.15(a)). En esta prueba se observa que el conjunto de muestras geológicas (21) tiende a agruparse en 2 conglomerados y 4 grupos.

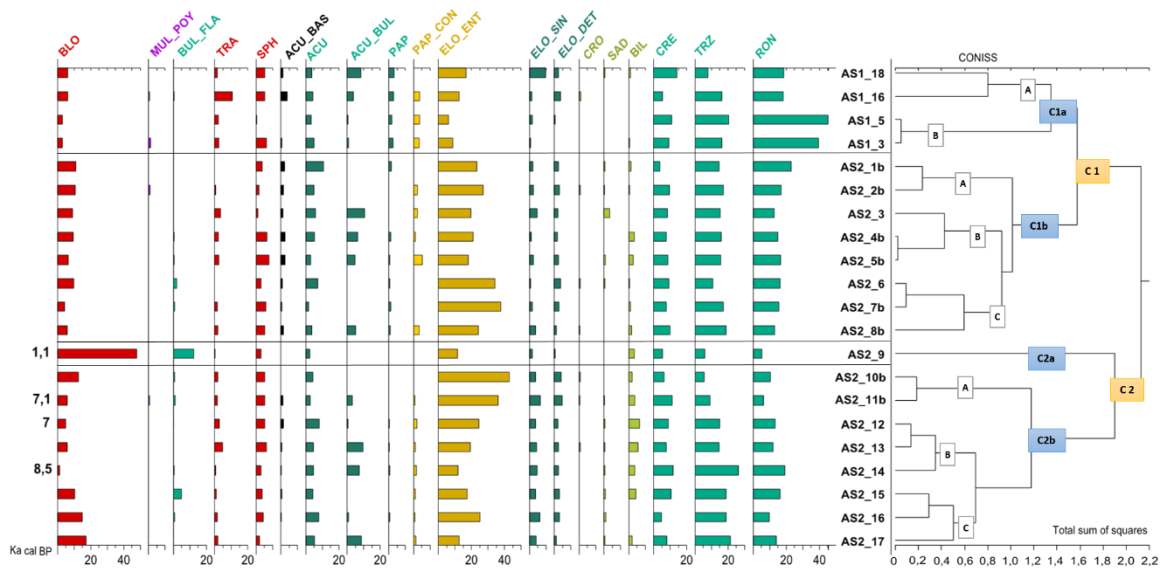
En realidad, las dos pruebas realizadas no son contradictorias entre sí, sino que se pueden complementar, lógicamente (Figura 7.15)

Los conglomerados de la prueba de Ward, que no ha tenido en cuenta el orden estratigráfico (Figura 7.15(b)), señala la existencia de dos conglomerados muy distantes del resto, uno formado por las muestras AS 1\_3 y AS1\_5 (C4) provenientes del horizonte C del sondeo de Pleta d'Erdo - AS1, y otro formado por una única muestra AS2\_9 (C3), que asociamos con un evento erosivo. Ambas asociaciones también surgen en el análisis estratificado, como C1aB y como C2a, quedando muy alejadas en ambos test del resto de muestras. En estos 2 casos un test confirmaría al otro.

Concretamente, según el test estratigráfico de Edwards y Cavalli-Sforza (Figura 7.15(a)), el conglomerado C1 puede subdividirse en un subconjunto (C1a) que agrupa las 4 muestras procedentes de la Pleta d'Erdo - AS 1, y un segundo subconjunto (C1b) que asocia las primeras 8 muestras del Forcall de Sant Esperit - AS 2. Las muestras del subconjunto C1a, a su vez, se asocian por pares. Resultando muy cercanas las muestras AS 1\_5 y AS1\_3, y no tanto AS1\_18 y AS1\_16. Algo que explica perfectamente que la prueba de Ward, al desconocer que se trata de muestras de distintos perfiles tienda a buscar sus semejantes entre todas las muestras, sin encontrar asociaciones claras (Figura 7.15(b)).

Otra asociación muy relevante resultado de ambos test de semejanza (Figura 7.15) es la asociación de las 2 muestras procedentes del paleosuelo fechado en ca. 7,1 ka cal BP (AS2\_10b y 11b). En ambas pruebas aparecen asociadas con una distancia angular mínima, lo que confirma su semejanza.

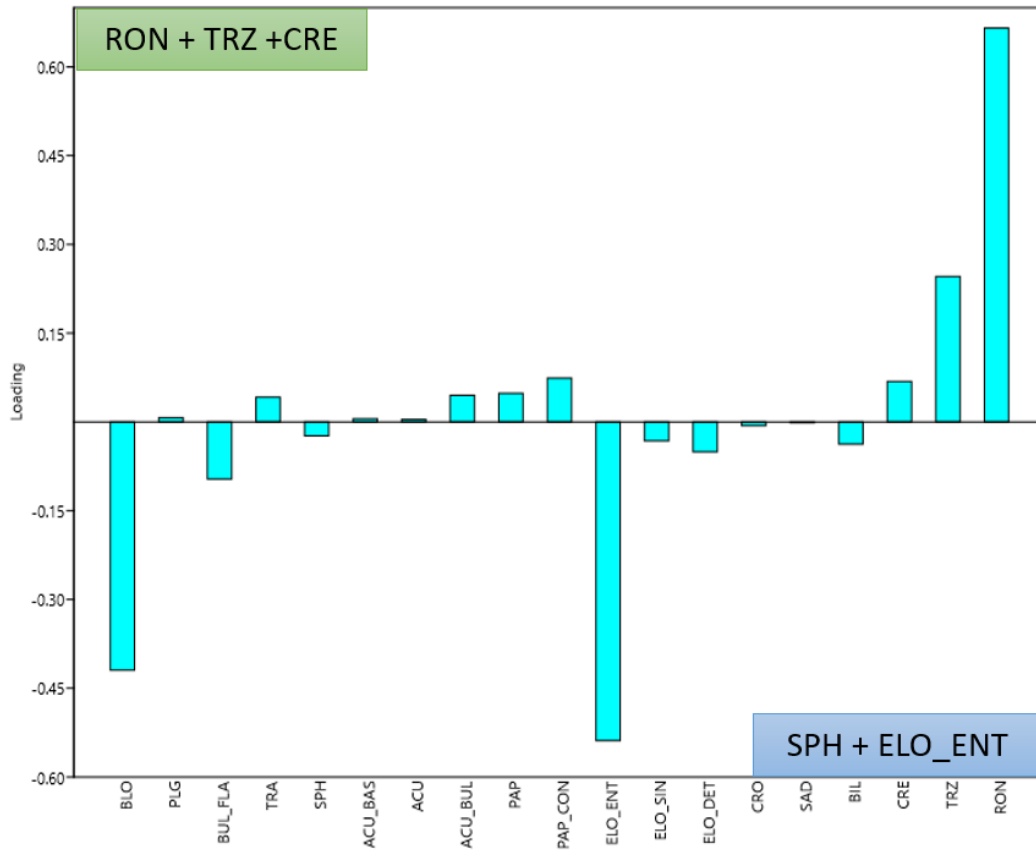
En adelante, hemos mantenido el segundo test realizado (la prueba de Edwards y Cavalli-Sforza para el cálculo de las distancias euclidianas) teniendo en cuenta el orden estratigráfico de las muestras (Figura 7.16), como elemento de comparación con otras pruebas estadísticas, como el cálculo del índice de tipos principales ITP, con el que muestra una excelente correlación (Figura 7.21).



**Figura 7.16. Diagrama de frecuencias por morfotipos de las muestras geológicas, ordenadas estratigráficamente con el dendrograma obtenido en la Prueba de Edwars y Cavalli-Sforza.** En el histograma de frecuencias aparecen las 21 muestras geológicas analizadas ordenadas estratigráficamente. Se puede apreciar que las muestras se distribuyen en 2 conglomerados principales y 4 grupos con distancias angulares superiores a 0,8 (las líneas marcan la separación entre asociaciones).

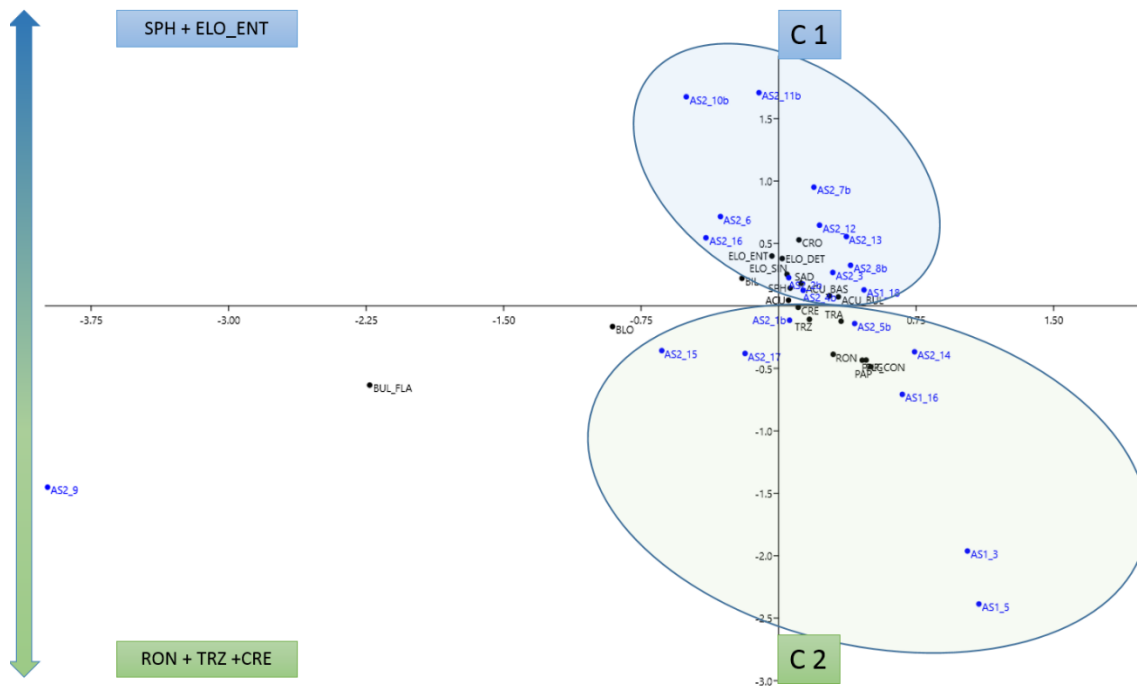
Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) (Figura 7.17) sitúa la variabilidad morfológica del conjunto de la siguiente manera: de un lado RONDEL, TRAPEZOID y CRENATE (y en menor proporción ACUTE BULBOSUS, PAPILATE Y PAPILATE CONICAL), y del otro lado, ELONGATE ENTIRE, BLOCKY y SPHEROID. Algo que parecería confirmarse en el análisis de correspondencias (Figura 7.18).

A partir del análisis de componentes principales (PCA) realizado (Figura 7.17) vemos que los morfotipos, cuyas representaciones porcentuales son superiores al 4%, y que mejor explican la oposición de componentes principales en relación a las muestras, son efectivamente ELONGATE ENTIRE y SPHEROID, de un lado, y RONDEL, TRAPEZOID y CRENATE del lado opuesto. Por lo tanto, hemos mantenido el mismo ITP (SPHEROID + ELONGATE ENTIRE/ RONDEL + TRAPEZOID + CRENATE) ya utilizado en las muestras arqueológicas y descrito anteriormente (Figuras 7.8 y 7.20). Ya que podemos observar que también sirve para analizar la variabilidad de los conjuntos de morfotipos observados en las muestras geológicas.



**Figura 7.17. Análisis de componentes principales (PCA) de las muestras geológicas.** La mayor parte de la varianza en el conjunto se puede explicar a partir de la oposición entre ELO\_ENT+BLO+SPH y RON+TRZ+CRE.

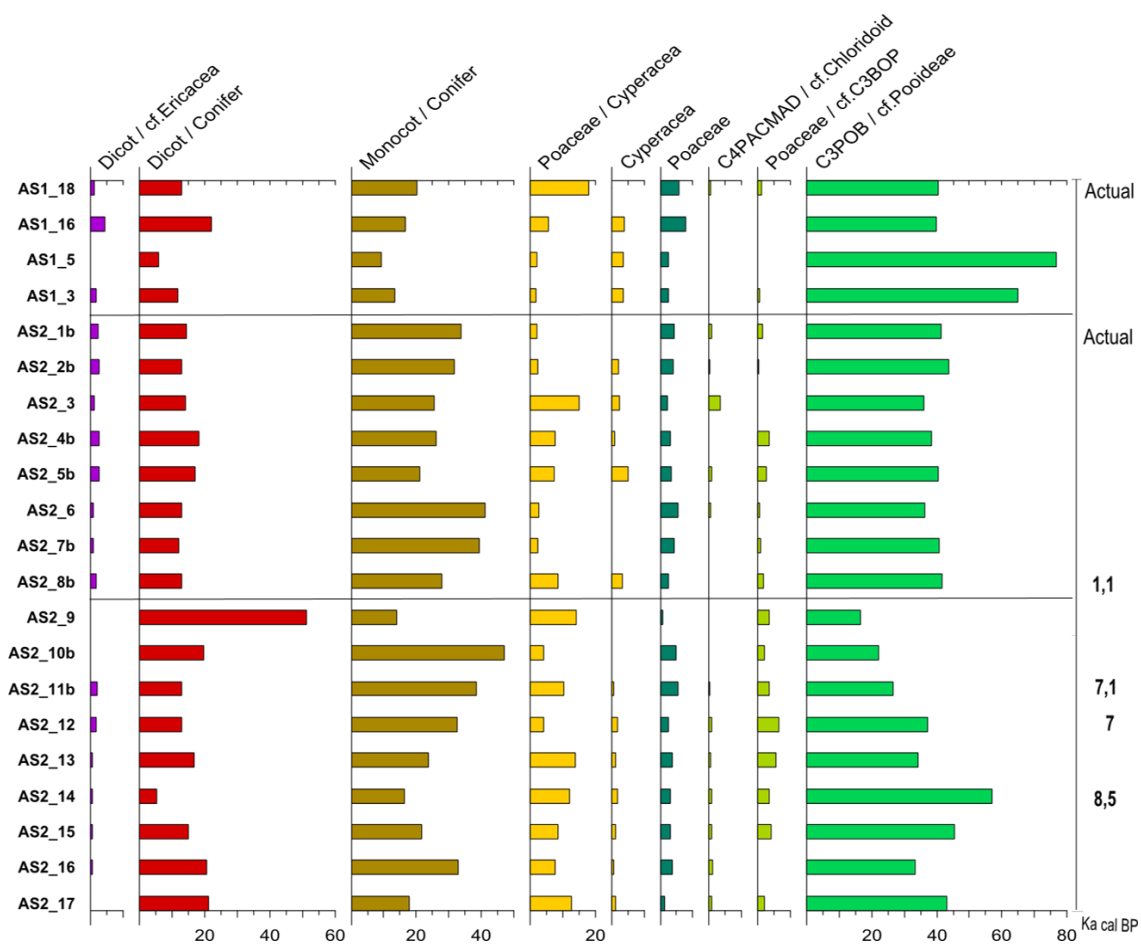
De hecho, algunas de las asociaciones principales antes descritas a partir de las dos pruebas de análisis multivariante utilizadas (Figuras 7.15 y 7.16) se estarían observando también en los dos conjuntos definidos por el análisis de correspondencias (Figura 7.18). Por ejemplo, la proximidad entre AS1\_3 y 5, la disociación de AS2\_9, o el parentesco de AS2\_14 y 16, y de AS2\_10b y 11b. En términos generales vemos que la prueba de correspondencia (Figura 7.18) confirma y valida las anteriores (Figuras 7.15, 7.16 y 7.17).



**Figura 7.18. Análisis de correspondencia de las muestras geológicas.** En la representación gráfica se observa como las muestras se distribuyen en dos conglomerados a partir de la distribución de las frecuencias de los morfortipos en las muestras.

A partir de la colección de referencia discutida (Tabla 5.2, Figuras 5.1 y 5.2) (Carnelli et al., 2001 y 2004), esta relación de componentes principales (PCA) (Figura 7.17), podría explicarse a partir de la oposición entre dos asociaciones de morfortipos dominantes. De un lado, aquellos más frecuentes en formaciones de pradera asociados a plantas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL + TRAPEZOID + CRENATE) (Figuras 5.1); frente a otros, más frecuentes en formaciones forestales, asociados a dicotiledóneas, coníferas y otras plantas monocotiledóneas no gramíneas (ELONGATE ENTIRE + SPHEROID + BLOCKY) (Figuras 5.2, Tabla 5.2).

Si observamos el diagrama de frecuencias realizado a partir de las atribuciones taxonómicas (Tablas 6.6 y 14.13), vemos que la oposición entre los dos grupos es evidente. Aquellas muestras con porcentajes más elevados de *C<sub>3</sub>Pooideae* presentan los porcentajes más bajos de *Dicotyledoneae* y *Conifera* (Figura 7.20).



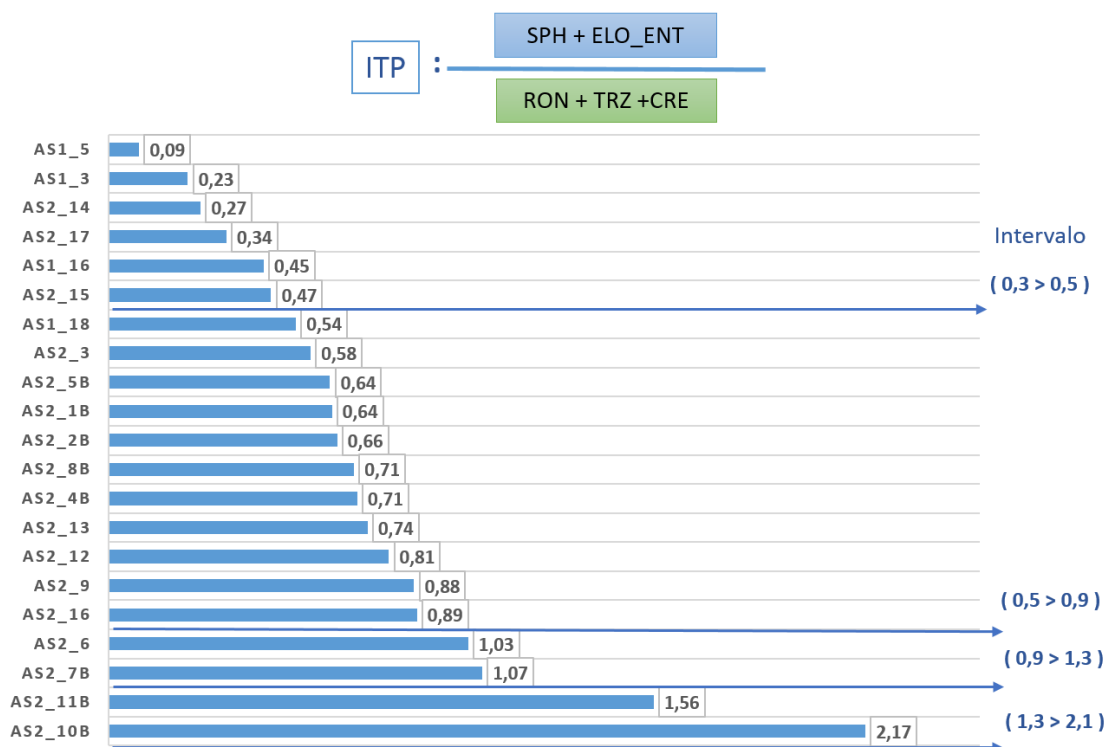
**Figura 7.19. Diagrama de frecuencias a partir de las atribuciones taxonómicas de las muestras geológicas, ordenadas estratigráficamente.** Se presentan gráficamente los valores relativos de las 21 muestras procedentes de los 2 sondeos, discutidas en este estudio, agrupadas estratigráficamente. A la derecha, se indica el modelo cronológico estimado para los depósitos a partir de la datación por C14 de carbones sedimentarios.

Por su parte, la ratio ITP promedio, derivada de la división de los componentes principales ( $SPH + ELO\_ENT / RON + CRE + TRZ$ ) de las muestras se sitúa en 0,7. La mayor parte de las muestras (11) se sitúan entre 0,5 y 0,9. Únicamente, 4 muestras (AS2\_6, AS2\_7b, AS2\_10b y AS2\_11b) presentan valores extremos por altos, entre 1 y 2,2, donde el primer componente ( $SPH + ELO\_ENT$ ) es predominante. En el resto de las muestras, la suma de  $RON + CRE + TRZ$  es el componente principal (Figura 7.20).

No obstante, hay 5 valores inferiores a 0,5. De los 3 más altos ( $0,5 < 0,25$ ), 2 se corresponden con el nivel C (inorgánico) del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS 2. Los 2 inferiores



(0,25<0,09) provienen del nivel C (inorgánico) del sondeo de Pleta d'Erdo –AS 1. Ambos niveles se sitúan en la base de los perfiles, en horizontes estratigráficos similares. El último valor bajo (0,45) se corresponde con otra muestra (AS1\_ 18) de Pleta d'Erdo – AS 1 (Figura 7.20).



**Figura 7.20. ITP de las muestras geológicas.** La ratio es el resultado de dividir la suma de porcentajes: SPH + ELO\_ENT / RON + CRE + TRZ. La mayoría de los valores obtenidos (11) se sitúan entre 0,5 y 0,7 de ratio, siendo el valor promedio 0,7.

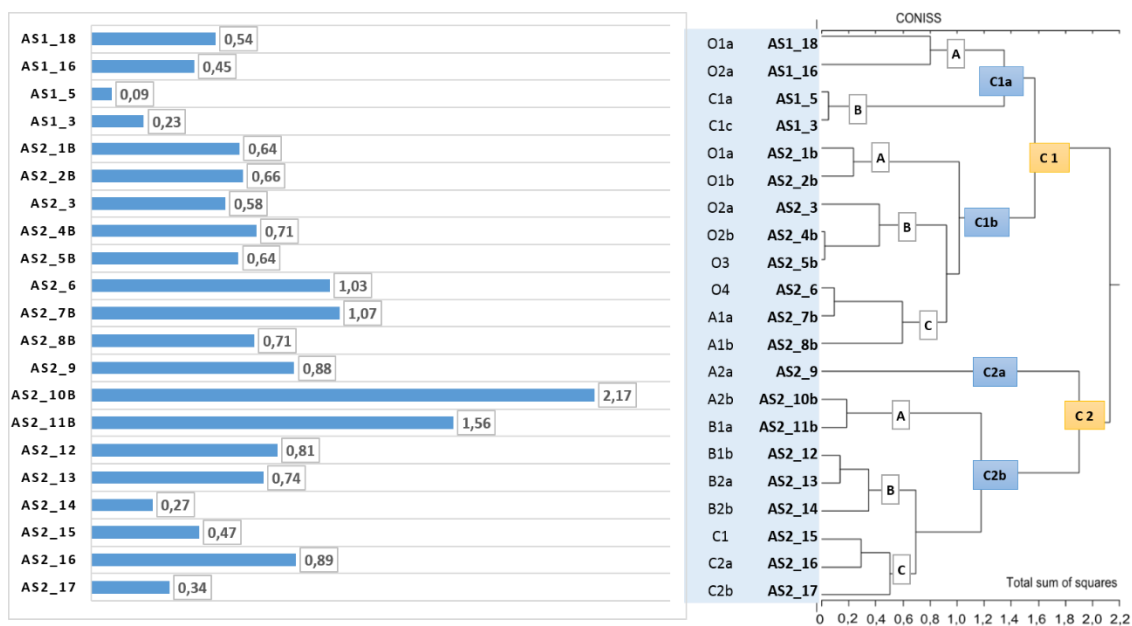
De los diversos análisis cuantitativos realizados sobre los resultados vemos que, básicamente, el conjunto de muestras puede agruparse, por sondeos, diferenciando entre Plate d'Erdo – AS1 (C1a) y Forcall de Sant Esperit – AS2 (C1b y C2).

A partir de la prueba algorítmica de Ward (Figura 7.15(a)), dentro del sondeo AS2, podemos distinguir entre 3 grupos de muestras: C1b (subconjunto que asocia las muestras más superficiales del suelo), C2a (muestra asociada a un evento erosivo en el perfil) y C2b (conjunto de muestras fechadas en el Holoceno medio). Si observamos la correlación entre el ITP y el análisis de conglomerados, vemos que, efectivamente, las muestras del sondeo

AS1, agrupadas en el subconjunto C1a, presentan valores ITP bajos (clúster A) (0,5-0,6) o muy bajos (clúster B) (0,1-0,2) (Figura 7.21).

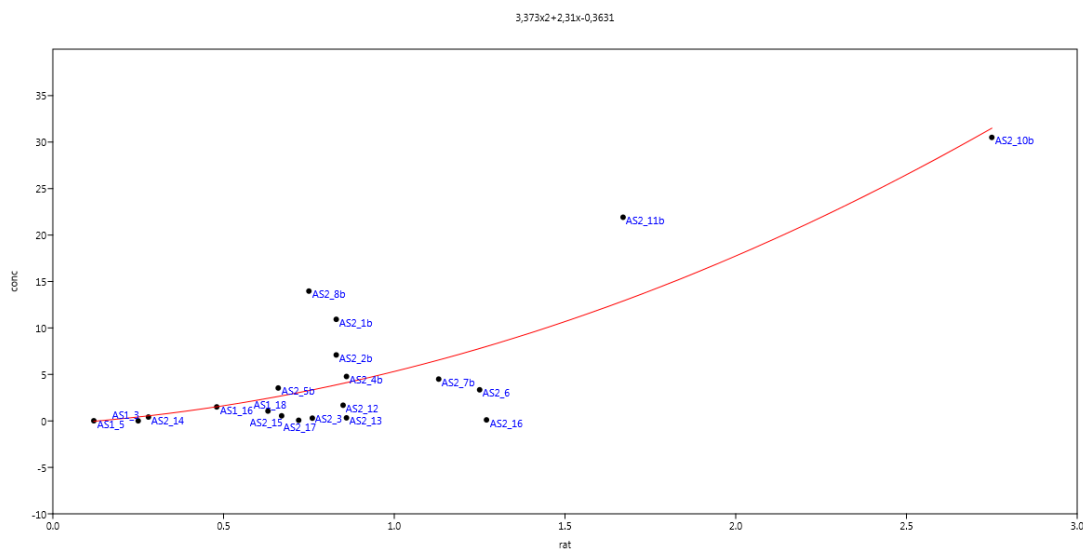
Por otra parte, las muestras del sondeo AS 2 presentan valores ITP relativamente constantes (0,6-0,7), cerca del promedio de las muestras geológicas, en el subconjunto C1bA/B, que asociamos al suelo actual (horizonte O). Las muestras de clúster C1bC presentan una mayor variabilidad, con ratios algo más elevadas (0,7 > 1,1) (Figura 7.21).

Por último, las muestras inferiores, asociadas por el análisis multivariante en C2b, presentan una gran variabilidad interna, en lo que a su ITP se refiere, que podríamos agrupar en 3 categorías. Muestras normales, cercanas al índice promedio (0,5 > 0,9) (AS2\_12, AS2\_13 y AS2\_16); muestras con PCA bajos (0,2 > 0,5) (AS2\_14 y AS2\_17) y muestras con valores muy altos (AS2\_10b y AS2\_11b) (Figura 7.21).



**Figura 7.21. ITP comparado con el análisis de clúster de las muestras geológicas.** Se ha comparado el ITP de cada muestra con la Prueba de Edwards y Cavalli-Sforza para el cálculo de las distancias euclidianas, teniendo en cuenta el orden estratigráfico de las muestras. Se observa que las muestras del conglomerado C1a presentan ratios bajas (0,1 > 0,5), mientras las muestras del conglomerado C1b obtienen ratios medias (0,6 > 1). Únicamente 2 muestras del clúster A (C2b) (AS2\_10 y AS2\_11) presentan ratios muy elevadas (1,5 > 2,2).

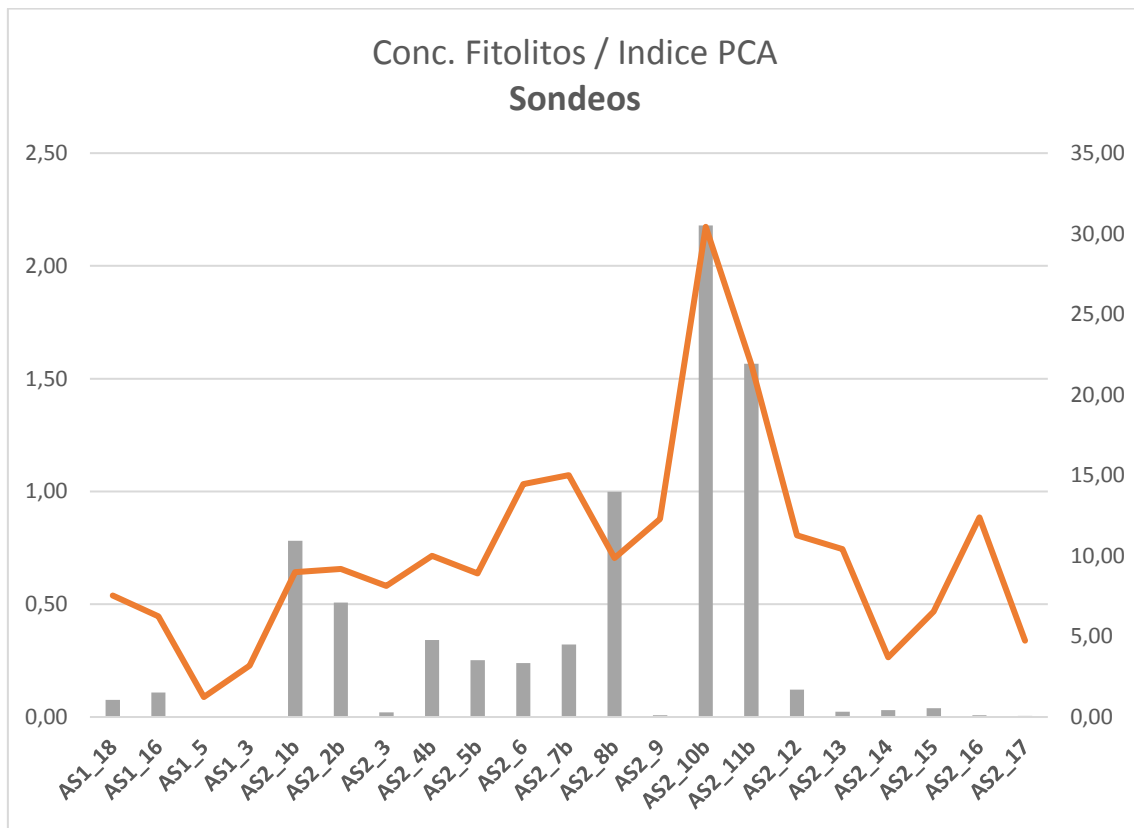
Por último, hemos comparado el ITP (Figura 7.20) con la concentración de fitolitos estimada de las muestras (Figura 7.112 y Tabla 14.11), en un test de correlación estadística entre ambas series numéricas (Figura 7.25). Con el objetivo de verificar si existe algún tipo de correlación cuantitativa entre la concentración de fitolitos observada en las muestras y su distribución estadística de morfotipos, a partir del índice de los tipos principales ITP.



**Figura 7.22. Correlación estadística entre el ITP y la concentración de fitolitos en las muestras geológicas.** La curva logarítmica de correlación entre ambas series indica una correlación en la mayor parte de las muestras.

Vista una aparente correlación logarítmica entre la concentración observada y la morfología documentada en las muestras (Figura 7.22), hemos realizado una segunda prueba de correlación entre ambas variables (ITP y concentración estimada de fitolitos) (Figura 7.23).

Esta información es muy relevante, pues a partir de las pruebas estadísticas realizadas, observamos que las muestras con concentraciones más elevadas de fitolitos, (superiores a 20 mill / g AIF son exactamente las mismas que presentan ratios muy elevadas de los morfotipos ELONGATE ENTIRE + SPHEROID (48 – 41%) y muy bajas de RONDEL + TRAPEZOID + CRENATE, obteniendo ITP fuera muy elevadas (1,5 > 2,2) (Figuras 7.12, 7.20, 7.21 y 7.22, 7.23). Este hecho que no puede responder, por tanto, a una cuestión azarosa, sino que debe estar condicionado por variables ambientales o antrópicas determinantes.



**Figura 7.23. Correlación gráfica entre la curva del ITP y el diagrama de concentración de fitolitos estimados en las muestras geológicas.** Hay una fuerte correspondencia entre la concentración de fitolitos estimada en las muestras geológicas y el ITP

### 7.2.3 RESULTADOS POR UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

En términos generales, observamos que las variaciones en la concentración de fitolitos en los sedimentos y en la distribución de morfotipos parecen corresponderse con los distintos horizontes estratigráficos documentados en los sondeos, que pasamos a describir detalladamente a continuación (Tablas 6.3, 6.4 y 14.11; Figuras 6.5 y 6.6).

### 7.2.3.1 PLETA D'ERDO – AS 1

---

#### *Nivel 01. Horizonte superficial orgánico*

Las 2 muestras analizadas del horizonte superficial del suelo (O) (AS1\_18 y AS1\_16) muestran varias semejanzas. Los procesos de disolución que afectan entre el 50 y el 54% de la muestra y la concentración estimada de fitolitos, 1 y 1,5 mill /g AIF son similares (Tabla 14.11 y Figura 7.12). La distribución porcentual de los morfotipos es bastante similar (Figuras 7.14 y 7.16), como corroboran el análisis multivariante (Figura 7.15) y de correspondencia de componentes principales (Figura 7.18). El ITP también es muy cercano (0,45 – 0,54) (Figura 7.20). Sus porcentajes por morfotipos (Tabla 14.12) son muy similares en algunos tipos diagnósticos, como RONDEL (18%), SPHEROID (5%) o BLOCKY (6%).

La diferencia a nivel de distribución de los morfotipos entre las 2 muestras se observa únicamente en una mayor presencia de TRACHEARY (10,5%) y de TRAPEZOID (16,3%) en AS\_16, frente a AS\_18, donde las CRENATE (14%) destacan con un porcentaje mucho mayor que en AS\_16 (5%) (Tabla 14.12, Figuras 7.14 y 7.16).

Vemos que la muestra más superficial (AS1\_18) presenta una concentración de fitolitos ligeramente más baja, así como un porcentaje de disolución elevado (54%). Este hecho podría haber afectado más a la conservación del morfotipo TRACHEARY, que aumenta de un 1,5% en la muestra más superficial (AS1\_18) a un 10,5% en AS1\_16. Las TRACHEARY generalmente son producidas por las hojas, presentando a menudo problemas de disolución en los sedimentos (Cabanés et al., 2011). No obstante, no es la única diferencia observada entre las dos muestras.

En conjunto, los morfotipos atribuidos a plantas dicotiledóneas y coníferas son relativamente más elevados en la muestra inferior (AS1\_16) (26,3%), respecto a la más superficial (AS1\_18) (14%), lo que podría estar reflejando momentos distintos en una configuración antrópica del paisaje, dentro de una dinámica general muy similar.

### ***Nivel C. Horizonte inorgánico de gravas y limos***

2 muestras han sido estudiadas de este nivel (AS1\_5 y AS1\_3). Ambas presentan una muy mala conservación de los fitolitos, con disoluciones de que afectan entre el 72% y el 56% de la muestra, así como concentraciones estimadas de fitolitos extremadamente escasas, entre 0,019 y 0,009 mill / g AIF (Figura 7.12).

Partiendo del mal estado de conservación de la muestra, hemos de considerar los resultados del estudio con las debidas reservas, ya que somos conscientes de que los diversos procesos postdeposicionales que han afectado a la muestra han podido condicionar la distribución de morfotipos (Figuras 7.14 y 7.16, Tabla 14.12).

Otro factor a tener en cuenta en este caso es que desconocemos la cronología del nivel sedimentario estudiado, ya que no se ha encontrado ningún carbón fechable. Aunque, si tomamos como referencia la edafología y los resultados de las muestras datadas del sondeo AS 2, podríamos plantear como hipótesis probable una cronología tal vez del Holoceno antiguo. La muestra estadísticamente más cercana a AS1\_5 del sondeo del Forcall de Sant Esperit – AS 2, sería AS2\_14, que ha sido fechada en torno a 8,5 ka cal BP, y también procede de un Horizonte edafológico equivalente. Hipótesis que sin una datación absoluta no podemos más que apuntar.

Los resultados, a nivel de distribución morfológica de los fitolitos identificados, señalan porcentajes muy elevados de los tipos RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID, que hemos asociado a la subfamilia *C<sub>3</sub> Pooideae*. En conjunto estos 3 tipos suman entre el 65% y el 76% del total de fitolitos de la muestra de este nivel, mientras los morfotipos asociados a las dicotiledóneas son bajos, con porcentajes de BLOCKY del 3% y de TRACHEARY del 2%. Entre estas muestras, AS1\_5 es la más extrema de las 2, al presentar porcentajes marginales de SPHEROID (0,5%) y máximos de RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID. Las PAPILLATE suman, en total, alrededor del 6%, de las cuales el 3,5% serían PAPILLATE CONICAL, lo que apuntaría a una presencia estable de ciperáceas, características de suelos higrófilos.

### 7.2.3.2 FORCALL DE SANT ESPERIT – AS 2

---

#### ***Nivel O1. Horizonte superficial orgánico***

El suelo actual es un paquete orgánico homogéneo, de unos 30 cm de profundidad, aproximadamente (Figura 7.15). Según el análisis de clúster las 5 primeras muestras (AS2\_1b, AS2\_2b, AS2\_3, AS2\_4b y AS2\_5b) pueden agruparse entre sí, mientras las 3 siguientes (AS2\_6b, AS2\_7b y AS2\_8b) podrían asociarse entre ellas.

El ITP también sugiere una asociación de proximidad entre las 5 primeras muestras del horizonte O del suelo, que presentan ratios semejantes (0,6 > 0,7) (Figura 7.21).

Las 5 muestras presentan concentraciones estimadas de fitolitos de entre 11 y 3 mill / g AIF. Todas las muestras contienen fragmentos de diatomeas, que varían entre el 4% del nivel superficial (AS2\_1b) y el 20% del nivel basal (AS2\_6). Entre medias se documenta una muestra (AS2\_3) con una concentración de fitolitos fuera del promedio (0,3 mill / g AIF) y una concentración de diatomeas más elevada (27,4%).

#### ***Nivel A1. Horizonte orgánico tipo AO (858-988 cal DNE)***

Se trata de un horizonte orgánico, rico en carbones sedimentarios, denominado A1. Este nivel dispone de una datación de C14, fechado cerca de la base del estrato A1, a partir de un carbón de *Abies alba*, que lo sitúan entre la segunda mitad del siglo IX y el siglo X, periodo en que se desarrolla una intensa ocupación de la Cova del Sardo (Gassiot, 2011).

Según el análisis de clúster, 3 muestras podrían estar asociadas a este nivel (AS2\_6, AS2\_7b y AS2\_8b) (Figura 7.15, 7.18 y 7.23). Dos de ellas (AS2\_6 y AS2\_7b) presentan una escasa distancia angular. De hecho, su ITP es equivalente (1), por lo que no hay duda que pertenecen al mismo estrato. Incluso las concentraciones de fitolitos estimadas son muy cercanas (3,4 y 4,4 mill / g AIF).

La muestra menos parecida de las tres es la inferior (AS2\_8b) que contiene una concentración muy elevada de fitolitos, en torno a 14 mill / g AIF. Su ITP también es algo inferior (0,7), al decaer ligeramente el porcentaje de morfotipos asociados a dicotiledóneas

hasta el 12,5%, frente a un porcentaje muy estable, de en torno al 40%, de los morfotipos asociados a *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID).

Entre el suelo A1 y el A2, fue documentado un evento estratigráfico caracterizado por una elevada presencia de gravillas y limos, asociada a una importante erosión del paquete paleosedimentario. Se corresponde con la muestra de fitolitos AS2\_9.

La concentración estimada de fitolitos en esta muestra es realmente baja, en torno al 0,11 mill / g AIF. Además, la mayoría de fitolitos aparecen alterados por procesos de disolución o erosión. La concentración de fragmentos de diatomeas, también muy erosionadas, es elevada (31%).

A nivel de distribución morfológica de fitolitos, es la única muestra de las 47 analizadas en esta tesis, que presenta un porcentaje superior de fitolitos del tipo BLOCKY al resto (48%).

Como puede observarse tanto en el análisis de clúster (Figura 7.18) como de correspondencia (Figura 7.20), la muestra AS2\_9 se encuentra desasociada del resto.

#### ***Nivel A2. Paleosuelo (5235 - 4940 cal ANE)***

Se trata de un horizonte estratigráfico sellado por encima por la anteriormente descrita fase aluvial y por debajo por un horizonte relativamente inorgánico de tipo B, que ha permitido la conservación de un paleosuelo. Un carbón de *Pinus* procedente del techo del nivel B1 ha sido fechado en 5070-4940 cal ANE, mientras un carbón de *Betula*, procedente del suelo de A2-base, ha obtenido una fecha C14 de 5235-5044. Si observamos el lugar de procedencia de los dos carbones datados, vemos que dada la ligera pendiente del suelo, ambos se localizaban básicamente a idéntica cota (52/54 cm), por lo que podrían estar fechando el mismo paleosuelo (Figura 8.1).

Las dos muestras de fitolitos estudiadas contienen concentraciones excepcionalmente elevadas de fitolitos (30,5 y 22 mill / g AIF). Si bien, la muestra superior (AS2\_10b) presenta una mayor alteración en los fitolitos y un elevado porcentaje de diatomeas (38%), que decaen hasta un 14,6% en la muestra inferior (AS2\_11b).

Entre las dos muestras hemos identificado 1031 fitolitos. De éstos, el morfotipo más numeroso son las ELONGATE ENTIRE, que suponen entre el 43% y el 36% del total. Por el contrario, apenas el 10,6% y el 6,1%, respectivamente, serían RONDEL. Solo entre el 22,2% y el 26,4% de los fitolitos documentados se podrían atribuir a subfamilia *C<sub>3</sub> Pooideae*,



mientras que entre el 20 y el 15% de los fitolitos podrían haber sido producidos por plantas dicotiledóneas o coníferas. Estos resultados relativos son diferentes a los niveles anteriores, como se puede observar en el ITP, que alcanza dos valores extremadamente elevados (2,2 y 1,6), respecto a su valor promedio (0,7) (Figura 7.18 y 7.21).

Además, hemos podido establecer una correlación logarítmica entre las concentraciones elevadas de fitolitos y los ITP (Figuras 7.22 y 7.23).

### ***Nivel B. Horizonte tipo B (5235 - 6606 cal ANE)***

Bajo el paleosuelo encontramos un paquete relativamente inorgánico, cuya base ha sido fechada a partir de una datación de C14 de un carbón de *Pinus* en 6606 - 6443 cal ANE, mientras, el techo del nivel había sido fechado en 5070-4940 cal ANE, por lo que inferimos que el depósito se formó entre 8,6 y 7 ka cal BP, en el Holoceno medio/antiguo.

Se han analizado 3 muestras de fitolitos de este nivel. Ninguna de estas muestras presenta porcentajes significativos de diatomeas. La muestra superior (AS2\_12), a diferencia de las inferiores, donde la concentración y conservación de fitolitos decae, aún presenta una buena conservación de los fitolitos y una concentración estimada ligeramente baja (1,6 mill / g AIF). Las muestras inferiores (AS2\_13 y AS2\_14) presentan problemas de conservación, ya que el 62% de los fitolitos documentados se encuentran alterados o parcialmente disueltos. La concentración estimada es baja en ambas muestras, en torno al 0,3 - 0,4 mill /g AIF.

A nivel de distribución de morfotipos, AS2\_12 se parece a AS2\_13, ya que ambas se asocian en el análisis de clúster y presentan ITP similares (0,7-0,8) (Figura 7.21), presentando también porcentajes relativamente elevados de un tipo frecuentemente marginal como son las BILOBATE (5,4%).

La muestra AS2\_14, situada en la transición entre el horizonte B3-base y C-techo, presenta porcentajes muy diferentes de morfotipos, como indica su bajo ITP (0,3), debido a un porcentaje muy escaso de ELONGATE\_ENTIRE (12%) y SPHEROID (3%), y considerablemente elevado de RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID (57%).

### ***Nivel C. Horizonte inorgánico tipo C***

Han sido analizadas 3 muestras de este nivel de gravas y limos inorgánico que se sitúa en la base del suelo. A partir de la datación de la base del nivel inmediatamente superior, podemos situar en una cronología anterior a 8,6 ka cal BP, del Holoceno inferior.

Las 3 muestras procedentes de este nivel (AS2\_15, AS2\_16 y AS2\_17) presentan una concentración estimada de fitolitos, decreciente, que pasa de 0,55 mill / g AIF en AS2\_15, a 0,11 mill / g AIF en AS2\_16 y a sólo 0,07 mill / g AIF en la muestra inferior de la serie: AS2\_17. El grado de disolución de los fitolitos también va en aumento, alcanzando el 67 % en la muestra inferior; la única que presenta un porcentaje apreciable de fragmentos de diatomeas (3,6%).

A pesar de sus diferencias relativas, las 3 muestras aparecen asociadas en la misma agrupación según el análisis de clúster (C2bC) (Figura 7.18). Si analizamos la distribución morfológica de los fitolitos en las 3 muestras, vemos que presentan una clara semejanza, especialmente entre las 2 últimas (AS2\_15 y AS2\_17) en las que el tipo BLOCKY (15-17%) supera ligeramente en porcentaje al RONDEL (10-14%). En todo caso, el conjunto de los morfotipos atribuidos a las *C<sub>3</sub>Pooideae* se sitúa entre el 33% y el 43%, mientras las atribuidas a coníferas y dicotiledóneas se sitúan en torno al 21%.

Si nos fijamos en los ITP, vemos que las más parecidas serían AS2\_15 y AS2\_17, al presentar ambas ratios bajas ( $0,5 < 0,3$ ).

## 8. INTERPRETACIÓN

---

Interpretación contextualizada de los resultados del programa de investigación en los contextos arqueológicos y geológicos de forma separada.

Uno de los principales objetivos empíricos de esta tesis doctoral, es la documentación y estudio sistemático de los fitolitos procedentes de yacimientos arqueológicos prehistóricos de alta montaña, ocupados durante el Holoceno medio y final.

A continuación, desarrollaremos las interpretaciones derivadas de los resultados del análisis de fitolitos, expuestos en el capítulo anterior, integrando, además, otras analíticas incluidas en el diseño del programa de investigación planteado en esta tesis (Figura 5.14), basado en un estudio arqueobotánico integral de los sedimentos (Buxó y Piqué, 2003).

Estas son, la antracología arqueológica (Buxó y Piqué, 2008; Obea, 2014), el análisis de carbones y microcarbones sedimentarios (Carcaillet y Thinon, 1996; Carcaillet, 2001; Cunill, 2010), la geoarqueología (Brown, 1997; Rapp y Hill, 1998), la sedimentología (Beverly et al., 2018), los análisis polínicos (Moore et al., 1991; Burjachs et al., 2003) y la estratigrafía arqueológica (Harris, 1979; Castro, et al., 1999).

Presentaremos separadamente la interpretación de las muestras arqueológicas, procedentes de la excavación en extensión de contextos de hábitat y consumo humanos, respecto a aquellas procedentes de sondeos realizados en el exterior de los yacimientos. En ambos tipos de contextos, expondremos su interpretación a partir de una secuencia temporal, que nos permite agrupar las muestras por niveles cronoestratigráficos datados, en periodos temporales concretos (Tabla 14.3, Figura 3.9).

## **8.1 LA OCUPACIÓN PREHISTÓRICA DEL PISO SUBALPINO**

---

### ***Los abrigos como espacios de hábitat (7,5 - 1,4 ka cal BP)***

Integración del análisis de fitolitos al estudio arqueológico integral de los yacimientos

A continuación, expondremos la interpretación arqueológica y ecológica del estudio de los fitolitos de dos yacimientos arqueológicos situados en el piso subalpino del PNAESM.

Presentaremos las muestras que han sido analizadas según la secuencia cronoestratigráfica de los yacimientos, comenzando por los niveles más recientes del Abric de les Obagues de Ratera (Holoceno final) y finalizando por los diversos niveles prehistóricos estudiados de la Cova del Sardo (Holoceno medio).

Cada yacimiento y cada periodo de ocupación será analizado separadamente, desde un enfoque diacrónico.

Expondremos qué información arqueológica aporta el estudio de los fitolitos a las problemáticas que han sido planteadas en esta tesis, en relación con la ocupación de espacios de hábitat dentro y fuera de los abrigos, que fueron ocupados a lo largo de la prehistoria reciente.

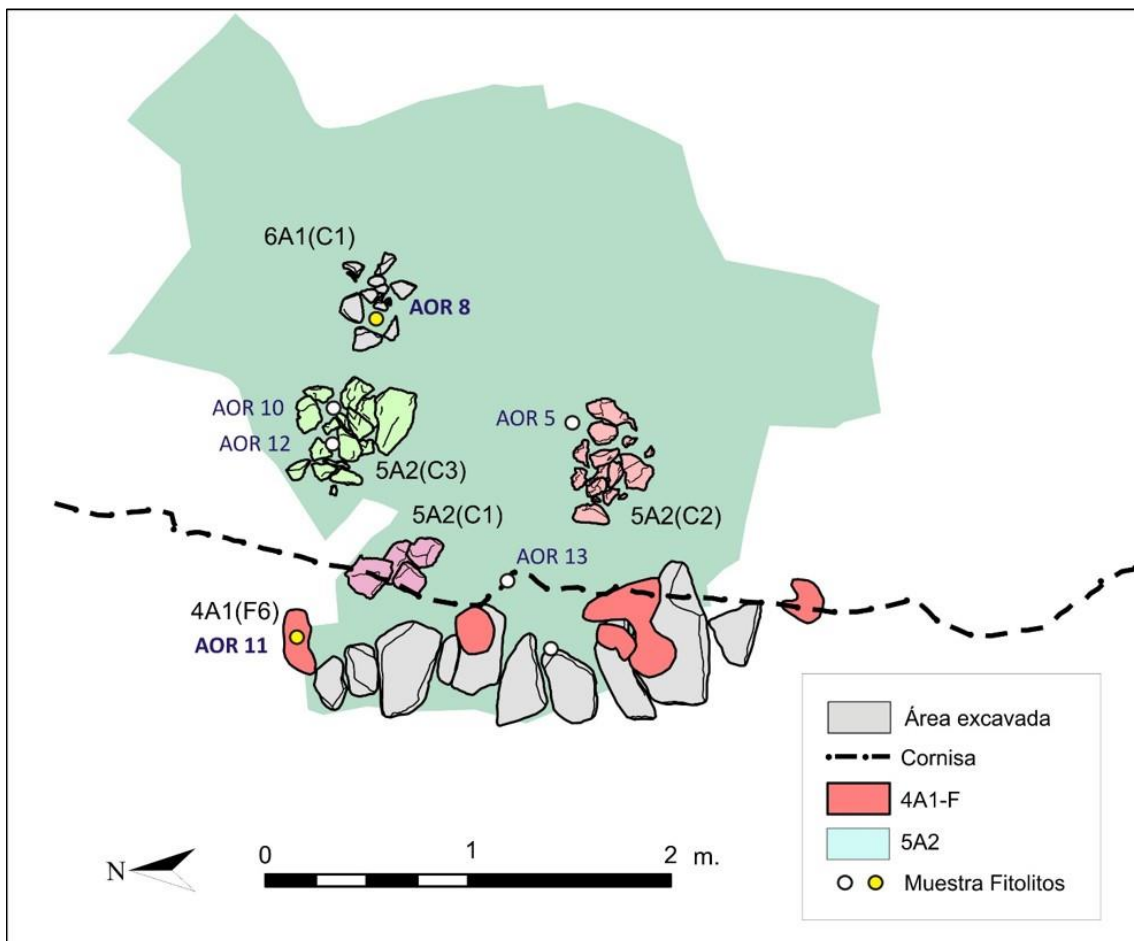
### **8.1.1 ABRIC DE LES OBAGUES DE RATERA - AOR**

---

#### ***Ocupaciones del Holoceno final (3,7 - 1,4 ka cal BP)***

Aunque el Abric de les Obagues de Ratera presenta una larga serie de ocupaciones que abarcan la mayor parte del Holoceno (Tabla 14.1) (Gassiot et al., 2019), el muestreo realizado en esta tesis, a partir del estudio de las 7 muestras extraídas (Tabla 6.2, Figuras 6.1 y 8.1), indica que el yacimiento presenta problemas postdepositacionales que no permiten una buena conservación de los fitolitos en el sedimento del interior del abrigo, en

cantidad suficiente para su análisis morfológico cuantitativo. A tenor de estos resultados, el análisis morfológico de fitolitos de los niveles de ocupación del Holoceno inferior y medio del Abric de les Obagues de Ratera ha sido descartado de la tesis. La baja concentración de fitolitos y su estado de disolución podrían ser un factor determinante en el resultado insuficiente del estudio.



**Figura 8.1. Planta de la excavación arqueológica del Abric de les Obagues de Ratera con la localización de las 7 muestras de fitolitos de los niveles de ocupación del Holoceno final (4 -1 ka cal BP). Únicamente las muestras señaladas en amarillo han podido ser analizadas a nivel morfológico cuantitativo, el resto no presentaban fitolitos en cantidad suficiente.**

Por este motivo, el análisis morfológico de fitolitos del Abric de les Obagues de Ratera se ha visto limitado, únicamente, a 2 muestras del Holoceno final, una procedente del interior del abrigo (AOR 8) y otra del exterior (AOR 11) (Figuras 6.1 y 8.1). Los resultados señalan importantes similitudes entre ambas muestras, tanto por lo que respecta a concentración de fitolitos (baja) y grado de alteración (alto) (Tabla 14.11), como a su composición a nivel morfológico cuantitativo (Figuras 7.3 y 7.5). Sin embargo, si atendemos a la procedencia y cronología de las muestras; una (AOR 8) de un hogar del interior del abrigo fechado por C14 en 1190-1000 cal ANE, y la otra (AOR 11), de un agujero de poste del exterior del abrigo datado por C14 en 550-650 cal DNE, observamos que, *a priori*, no puede tratarse de la misma muestra.

Ambas muestras presentan porcentajes muy elevados de fitolitos de gramíneas, especialmente de *C<sub>3</sub>Pooideae*, y bajos de dicotiledóneas y coníferas.

Los datos antracológicos preliminares, indican una selección continuada durante todo el Holoceno final de *Pinus mugo ssp. uncinata* frente a plantas ericáceas o betuláceas, como combustible, utilizado, preferentemente, en el interior del abrigo (Gassiot et al., 2019).

En todo caso, ambas muestras proceden de contextos con presencia de cenizas y carbones (Figuras 6.1 y 8.1). Nuestros resultados apuntarían a que los sedimentos, tanto del interior como del exterior del abrigo, contienen fitolitos producidos por las plantas del entorno, y no únicamente aquellos aportados para su uso como combustible, en las estructuras de combustión. Otra posibilidad, es que no sólo se estén quemando plantas leñosas en los hogares, sino también otras plantas, que no dejan rastro en forma de carbón, como las herbáceas.

Si tenemos en cuenta los resultados de la Cova del Sardo, como elemento de comparación, podemos afirmar que el Abric de les Obagues de Ratera parece funcionar de forma diferente. En este caso los resultados del AOR, se parecerían más a los del exterior de la CdS, que a los del interior del abrigo (Figura 7.12), mostrando ITP muy bajas (Figura 7.10), debidas al elevado porcentaje de fitolitos producidos por plantas *C<sub>3</sub>Pooideae*, respecto a otras plantas, dicotiledóneas o coníferas, habitualmente leñosas en la zona de estudio (familias *Pinaceae* y *Ericaceae*), que suponen una aportación secundaria en la muestra (Tabla 14.9, Figura 7.7).

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en Pleta d'Erdo – AS1, que se localiza a una altitud similar al AOR, en el piso subalpino superior (2200 – 2400 m snm) (Ninot et al., 2007); vemos claras semejanzas entre el estrato superior de AS 1 (O) y el Abric de les

Obagues de Ratera, a nivel de semejanza (Figuras 14.1). Las muestras AOR 11 y AS1\_16 presentan, prácticamente, el mismo ITP (0,45 - 0,45) (Figura 14.2).

Por lo tanto, pensamos que las muestras de fitolitos del AOR podrían estar reflejando tanto el medio ambiente local del yacimiento como las prácticas sociales realizadas en el sitio. Algo coherente con una dinámica de utilización esporádica del abrigo.

La aplicación, en un futuro, de técnicas de análisis arqueobotánicas adaptadas a una deficiente conservación de los restos vegetales podría modificar esta primera aproximación preliminar.

## **8.1.2 COVA DEL SARDO**

---

### ***Ocupaciones del Holoceno medio (7,5 - 4,5 ka cal BP)***

A continuación, pasaremos a interpretar los resultados del análisis de fitolitos procedentes de la ocupación prehistórica de la Cova del Sardo, a partir de las diferentes fases cronoestratigráficas estudiadas de las ocupaciones del Holoceno medio (5500 - 2500 cal ANE) (7,5 - 4,5 ka cal BP) (Figura 3.9, Tabla 14.3) (Gassiot, 2011, Gassiot et al., 2014 y 2015; Mazzucco et al., 2019). En este apartado vamos a desarrollar la interpretación de las diferentes estructuras, UE y fases de ocupación estudiadas en la Cova del Sardo (CdS), teniendo en cuenta principalmente los resultados de fitolitos, pero integrándolos con el resto de resultados arqueobotánicos publicados (polen, carbones y macrorestos vegetales) (Gassiot et al., 2012; Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

Una primera conclusión, de carácter general, que podemos extraer del estudio de los fitolitos de la Cova del Sardo, es que éstos nos han permitido diferenciar a dos escalas informativas, una topográfica y ambiental y otra estrictamente funcional. La primera aproximación nos ha permitido distinguir, a nivel morfológico, las muestras que presentan un mayor aporte de fitolitos procedentes del crecimiento natural de las plantas, especialmente de la terraza exterior, respecto a aquellos sedimentos que se han formado mediante la actividad humana en el interior del abrigo. Una segunda aproximación, nos ha

permitido observar el uso y abandono de las estructuras de combustión y las zonas de habitación dentro del yacimiento, tanto en el interior de la cornisa como en la terraza.

A partir del índice de tipos principales (ITP) podemos inferir, que las muestras con predominio de los morfotipos RONDEL+TRAPEZOID+CRENATE, provienen, en todos los casos, del exterior de la Cova del Sardo, mientras que las muestras del interior del abrigo presentan un comportamiento diferente, con predominio de los morfotipos ELONGATE ENTIRE+SPHEROID (Figura 7.10). En general, hemos determinado que los porcentajes altos de estos dos morfotipos (ELONGATE ENTIRE+SPHEROID) son una buena señal del aporte vegetal antrópico al sedimento.

Por otro lado, también se observa una correspondencia muy significativa entre bajas concentraciones de fitolitos en las muestras (Figura 7.1) y una elevada presencia de fitolitos de gramíneas (ITP bajas) (Figura 7.10), en sedimentos de unidades estratigráficas (UE) con escaso o nulo material arqueológico asociado (Gassiot, 2011). De modo que, pensamos que la concentración de fitolitos en los sedimentos también es un buen indicador de actividad antrópica en la formación de los mismos, consecuencia del uso de recursos vegetales, por ejemplo, en el mantenimiento de fuegos.

A nivel cuantitativo, el aporte natural de fitolitos en el exterior del abrigo siempre es mayor que en el interior, por lo que podemos inferir que la mayor parte de la aportación de fitolitos en el interior es antrópica y producto de una selección previa de los productos vegetales, en este caso, para su uso en los hogares, como combustible (Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

De modo que, tanto en el interior como en el exterior del abrigo, una elevada concentración de fitolitos puede ser un primer indicio de actividad humana. Las concentraciones elevadas parecen corresponderse con UE formadas en momentos de ocupación del abrigo. Mientras, el ITP podría ser, también, un valor indicativo de presencia o ausencia de ocupación en la formación de cada estrato, independientemente de la concentración de fitolitos (Figura 7.11).

Es decir, existe una diferencia morfológica y cuantitativa entre sedimentos formados en momentos de ocupación y en periodos de abandono del yacimiento. Esta evidencia reforzaría la hipótesis de que los fitolitos identificados durante los momentos de ocupación corresponden, en una buena medida, a la introducción de plantas para su uso en el yacimiento.

De hecho, esta diferenciación observada entre el espacio interior y exterior, nos aporta indirectamente otro tipo de información que se relacionara con las actividades llevadas a



cabo dentro de la Cova del Sardo, como el procesamiento de productos cárnicos y vegetales en hogares o la reparación de instrumentos líticos (Gassiot et al., 2015; Mazzucco et al., 2019).

Dentro de este contexto, el elevado porcentaje de SPHEROID, fitolito característico del tronco y la corteza de plantas leñosas (Albert, 2000; Carnelli, 2002; Tsartsidou et al., 2007), indicaría una utilización de madera, como combustible principal en los hogares. Sin embargo el elevado porcentaje de ELONGATE ENTIRE, característico de otras plantas, monocotiledóneas (Albert et al., 2018), nos estaría indicando una mayor diversificación en el uso de las plantas de lo indicado por los estudios antracológicos (Tabla 3.10) (Gassiot et al., 2015). Algo que ya apuntaban los resultados del análisis de macrorestos vegetales y semillas (Tabla 3.11) (Gassiot et al., 2012; Antolín et al., 2018).

Los resultados del análisis de fitolitos indican la selección de algunas plantas monocotiledóneas, como juncos y hierbas (de las familias *Cyperaceae* y *Poaceae*), que serían también utilizadas en actividades de acondicionamiento, consumo, preparación o mantenimiento de los fuegos, dependiendo de su funcionalidad (calor, cocina, limpieza, producción, etc.) (Gassiot et al., 2015; Tarifa et al., 2018; Mazzucco et al., 2019).

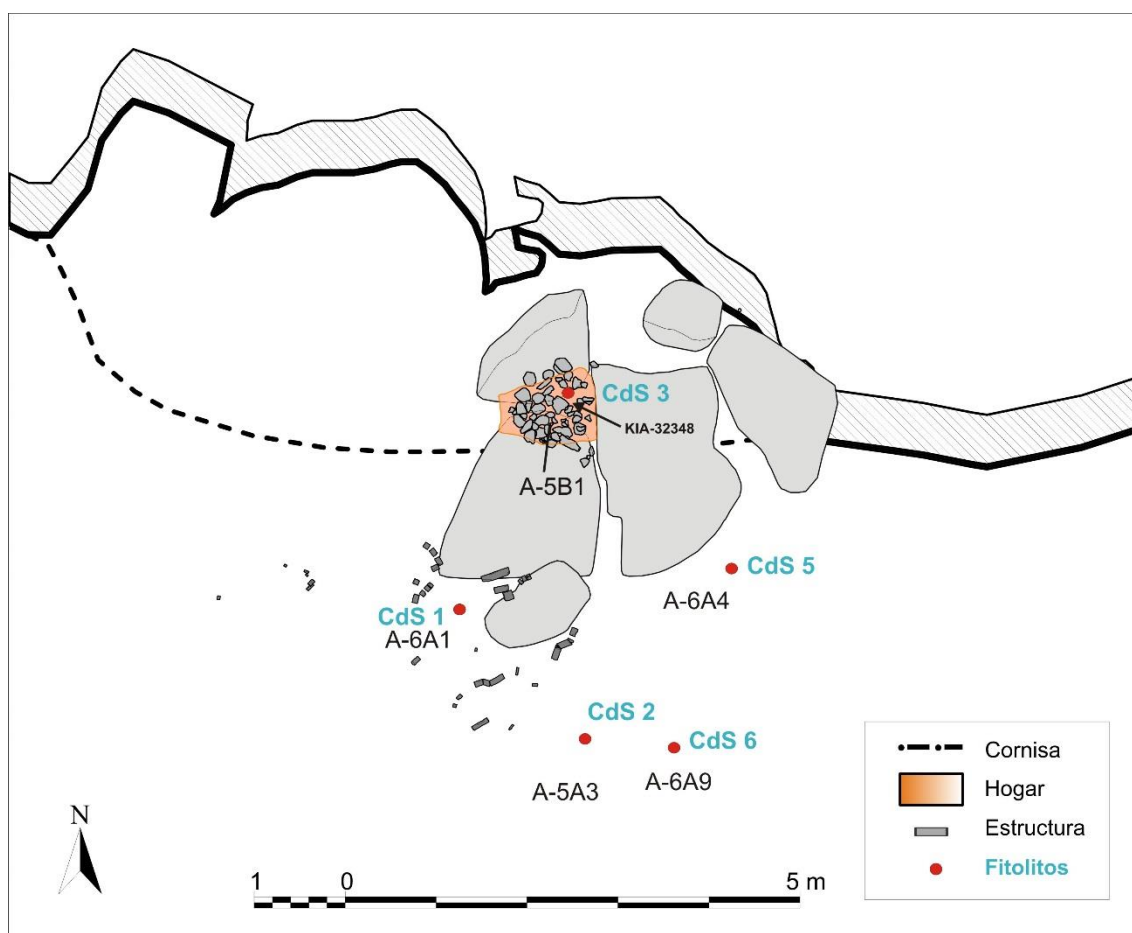
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, planteamos las siguientes conclusiones:

- 1) Hay una mayor presencia de gramíneas, por crecimiento natural, en el exterior del abrigo, respecto al interior, lo que produce un mayor porcentaje de RONDEL, TRAPEZOID y CRENATE.
- 2) Las estructuras y áreas de combustión, en general, tienen porcentajes más elevados de fitolitos asociables a coníferas y dicotiledóneas, que son los tipos de plantas más utilizados como combustible, lo que produce mayores porcentajes de SPHEROID. Los elevados porcentajes de ELONGATE ENTIRE observados en los hogares, podrían corresponderse con una aportación de otro tipo de plantas, probablemente monocotiledóneas, para ayudar a encender y mantener las estructuras de combustión o para obtener propiedades específicas del fuego, relacionadas con su funcionalidad.
- 3) El general, los sedimentos procedentes de áreas de ocupación presentan concentraciones más elevadas de fitolitos, en relación con los momentos de abandono o zonas de escaso uso del yacimiento. Este hecho sería debido a la acumulación de actividades productivas relacionadas con el procesamiento y consumo de plantas, sea como combustible, alimento, material constructivo, o en otros usos no determinados.

A continuación, abordamos la interpretación de los resultados de nuestro estudio en la ocupación del yacimiento, durante el Holoceno medio, diferenciada en 3 fases principales.

### 8.1.2.1 NEOLÍTICO FINAL / CALCOLÍTICO (3300-2500 CAL ANE)

Han sido analizadas 5 muestras de fitolitos de este periodo (CdS 1, 2, 3, 5 y 6). Todas proceden de la terraza exterior, menos CdS 3, que proviene de una estructura de combustión localizada entre bloques, en el interior este del abrigo (A-5B1) (Figura 6.2).



**Figura 8.2. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del Neolítico final / Calcolítico (3300-2500 cal ANE).** En la figura se muestra la localización de las 5 muestras de fitolitos analizadas de esta fase y sus correspondientes unidades estratigráficas. Se observa que la mayor parte de las muestras de este nivel se localizan en la terraza exterior.

Este periodo se compone de 2 momentos distintos de ocupación (fases 5 y 6), que se desarrollan tanto en el interior como en el exterior del abrigo (Figuras 6.2 y 6.3). Especialmente, en la zona este del yacimiento (Figura 8.2).

Del momento más reciente de ocupación (fase 5) han sido analizadas dos muestras, una (CdS 3) de un hogar del interior de abrigo (A-5B1) y la otra (CdS 2) de la terraza exterior (A-5A3) (Figuras 6.2 y 8.2). El análisis de fitolitos de las dos muestras de la fase 5 (CdS 2 y CdS 3), indica que ambas son muy diferentes entre sí (Figura 7.5). Este hecho podría explicarse por factores ambientales, como la aportación diferencial de fitolitos al sedimento en el exterior del abrigo. O bien, por la aportación de combustible vegetal al hogar. En todo caso, los resultados no indican ninguna correspondencia entre las muestras, por lo que también es posible que, en realidad provengan de contextos de ocupación diferentes, sin poderse afirmar, rotundamente, que la muestra CdS 3 (A-5A3) se corresponda, realmente, con la actividad en torno al hogar A-5B1 (muestra CdS 2).

La problemática de relacionar muestras procedentes de hogares localizados en el interior del abrigo con áreas de posible frecuentación exterior queda patente en estos resultados.

En cualquier caso, sería necesario disponer de un mayor número de muestras de la fase 5 para poder establecer la causa de las diferencias morfológico-cuantitativas observada entre las dos muestras, que podría haber sido causada tanto por la localización dentro/fuera del abrigo, como por usos distintos del espacio social de hábitat, o periodos de ocupación diferentes.

De las 3 muestras analizadas de la fase 6 (CdS 1, 5 y 6), CdS 1, se asocia con una estructura colapsada (A-6A1) que, probablemente, adosaba a la cornisa de la terraza. Ésta muestra es muy diferente, en términos cuantitativo-morfológicos de las otras 2, presentando un ITP elevado (1,1). CdS 1 resulta, sin embargo, muy similar a CdS 8, que es una muestra procedente también de la terraza exterior del abrigo (A-7A27) (Figuras 6.2 y 6.3, Tabla 6.2). Ambas muestras (CdS 1 y CdS 13) son muy similares, y dada su composición morfológica, son coherentes con áreas de ocupación y de fuegos. A tenor de los resultados, pensamos que la muestra que se corresponde con la estructura A-6A1 no es la procedente de A-6A4 (CdS 5), sino la de A-7A27 (CdS 13). Este hecho podría explicarse por la dificultad de la excavación de la estructura colapsada A-6A1 en una zona de terraza muy irregular, entre bloques, y grandes piedras, cuyos límites estratigráficos concretos resultan difusos (Gassiot, 2011).

Por tanto, CdS 1 y CdS 8, aunque provienen del exterior, parecen corresponderse con las áreas de ocupación del interior del abrigo, y no tanto de la terraza exterior. La explicación más sencilla es que funcionaron de forma análoga. Posiblemente, la cubierta de troncos que cerraba el abrigo por esta zona ampliaba, de facto, hacia el exterior, el espacio interior del abrigo, resultando un espacio anexo y cerrado con el abrigo (Figura 6.2) (Gassiot, 2011).

La explicación más sencilla, es que el sedimento de A-6A1 contiene parte de la estructura de madera quemada, así como el aporte de los posibles hogares que podrían haber funcionado en las zonas de hábitat de la parte del abrigo cerrada por la empalizada, mientras que, el sedimento de A-6A4 sería más bien el resultado de la frecuentación humana exterior al espacio de hábitat. Por lo tanto, creémos que la muestra CdS 5 (A-6A4) es diferente de CdS 1 y de CdS 13, porque proviene del exterior de la empalizada, mientras las otras dos muestras proceden del sedimento del interior de la estructura (Figura 6.2).

Por su parte, la muestra CdS 6, procedente del estrato A-6A9 podría representar, también, una zona de acumulación sedimentaria exterior al área de ocupación del abrigo, respondiendo la morfología cuantitativa de sus fitolitos más a variables ambientales que antrópicas. Resultando un estrato análogo a A-5A3, dado que CdS 2 es morfológicamente muy similar a CdS 6 (Figuras 7.5 y 7.10).

Por lo tanto, el estudio de las 5 muestras de fitolitos de los niveles del Neolítico final / Calcolítico (3300-2500 cal ANE), de la Cova del Sardo, nos indican que, efectivamente, había una estructura que cerraba el abrigo ocupando una parte de la terraza y que la diferenciación entre el interior y el exterior de esa empalizada ha quedado reflejada en la composición de los fitolitos en los sedimentos (Figura 6.2). El estudio también nos señala que el estrato A-7A27 (Figura 6.3), podría corresponderse con el interior de la empalizada, mientras a A-6A4 podría ser el exterior. Por su parte, las muestras procedentes de la zona más alajada de la terraza (A-6A9 y A-5A3) parecen comportarse de igual manera, recogiendo una acumulación de fitolitos, producto del crecimiento natural de las plantas en el exterior del yacimiento.

Un muestreo más detallado, seguramente permitiría delimitar mejor las fases de uso y abandono de la estructura y los límites de las áreas de actividad. En todo caso, las muestras analizadas nos han permitido apuntar algunas hipótesis y validar otras que ya habían sido formuladas (Gassiot, 2011).

### 8.1.2.2 NEOLÍTICO MEDIO (4200 – 3500 CAL ANE)

---

Este periodo de ocupación, que se corresponde con la fase 7, es el más continuado e intenso del interior de la Cova del Sardo, aunque se ha podido documentar, al menos, un momento de abandono, que será discutido en este apartado (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015; Mazzucco et al., 2019).

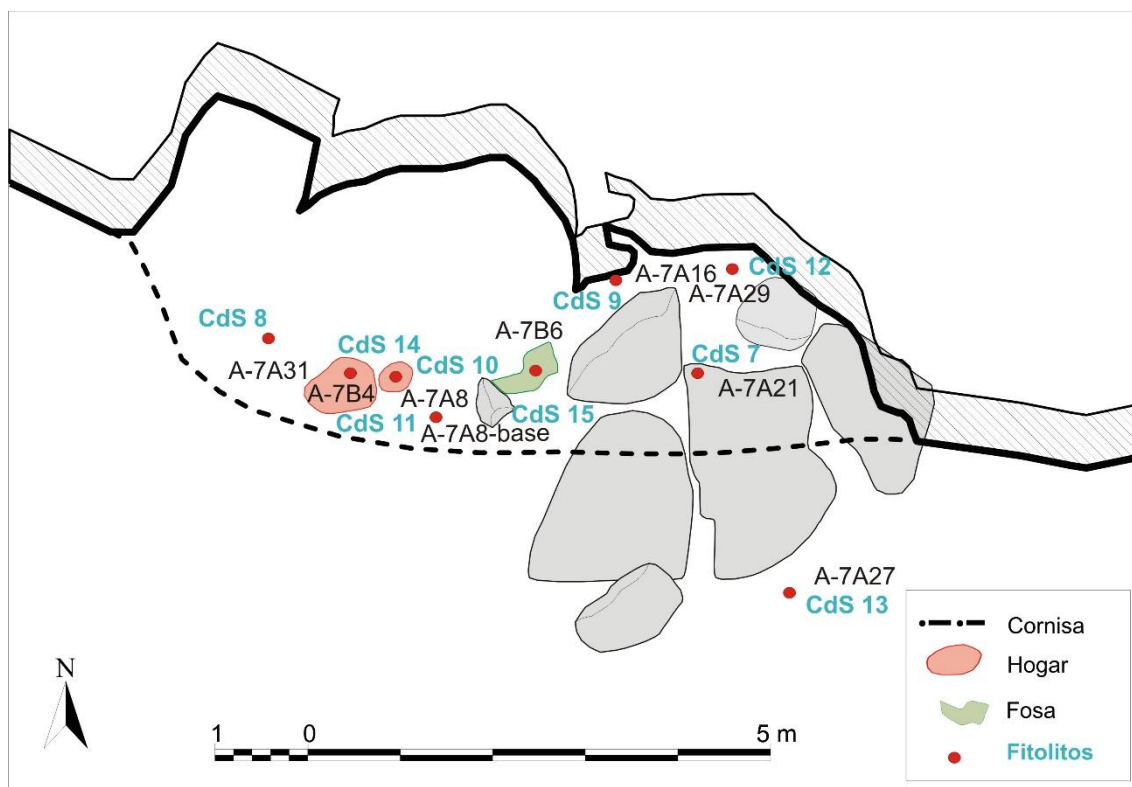
Hemos analizadas 9 muestras de fitolitos de la fase 7 (CdS 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). Salvo (CdS 13), que ya ha sido discutida, el resto proceden del interior del abrigo. Excepto CdS 15, que discutiremos al final, el resto de muestras presentan ITP elevadas ( $0,8 > 2$ ), por lo tanto, con menor contenido de fitolitos de gramíneas, que de dicotiledóneas o coníferas. Esta configuración morfológico-cuantitativa es coherente con su interpretación, como zonas de hábitat, donde se realizan estructuras de combustión y actividades de consumo y producción, principalmente. A partir de su elevada concentración de fitolitos ( $6,5 > 8,5$  mill / g AIF) y su semejanza interpretamos que las muestrapodrían contener un paquete sedimentario formado en similares condiciones.

Del estudio de las 8 muestras mencionadas, concluimos que se trata de una zona de frecuentación en el interior del abrigo, con actividad recurrente de estructuras de combustión, no necesariamente delimitadas en cubetas o entre piedras. Este paquete sería muy similar en todo el espacio interior del abrigo, como ya había sido señalado en la descripción del *continuun* estratigráfico de la fase 7 (Figuras 6.5 y 8.4) (Gassiot, 2011).

No obstante, un análisis detallado nos permite encontrar algunas diferencias significativas entre las muestras. Por ejemplo, las muestras (CdS 8 y 9), procedentes del sector interior oeste y central, respectivamente, parecen ser coherentes con áreas de combustión. Proviene de un paquete de sedimento negro, orgánico y rico en carbones (Gassiot, 2011). CdS 9 proviene de un estrato (A-7A16) situado por encima de una estructura de combustión más antigua, que habría quedado cubierta de sedimento (A-8B1). En realidad, ambas muestras (CdS 8 y 9) podrían pertenecer al mismo nivel de ocupación (Figura 7.3).

De la zona interior este, entre bloques (Figura 6.3), las dos muestras analizadas, CdS 7, asociada al estrato A-5B1, y CdS 3, asociada al hogar anteriormente discutido, A-5B1, parecen resultar muy similares (Figuras 7.5 y 7.10). Lo que nos lleva sugerir que, probablemente, en realidad, sean el mismo estrato, o bien, dos estratos equivalentes. Estos resultados sugieren que la zona entre bloques del interior este del abrigo, podría haber sigo

utilizada como área de combustión de manera recurrente a lo largo de diferentes periodos de ocupación entre el Neolítico medio y el calcolítico (fases 5, 6 y 7) (Figuras 6.2, 6.3 y 8.2)



**Figura 8.3. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del Neolítico medio / final (4200-3500 cal ANE).** En la figura se muestra la localización de las 9 muestras de fitolitos analizadas de esta fase y sus correspondientes unidades estratigráficas.

Por su parte, la muestra CdS 12 presenta la ITP más elevada de la Cova del Sardo (Figura 7.8 y 7.10). De esta muestra (CdS 12) habría que destacar su elevado porcentaje de SPHEROID (13,2%), superior al de RONDEL (12,8%), indicativo de una escasa aportación de gramíneas en el sedimento, dominado por las dicotiledóneas y las coníferas. Si observamos la procedencia de las muestras (CdS 12), el estrato A-7A29 (Figura 6.3), vemos que se localiza en la zona más interna del abrigo, lo que podría explicar que estuviera recogiendo directamente residuos de ceniza de hogares y no sedimento o plantas procedentes del exterior.

Las dos muestras (CdS 10 y 11), analizadas de un mismo estrato: A-7A8 y A-7A8-base, situado bajo la vertical de la cornisa del abrigo, también pueden agruparse por una similar

concentración, en este caso muy baja (0,15 y 0,09 mill / g sed). Su comparación estadística con el resto de muestras indica, sin embargo, que no se asocian tanto entre sí como con otras. CdS 10, procedente de la parte superior del estrato es muy similar a A-7A21 (CdS 7); mientras, CdS 11, procedente de la base del estrato se parece más a CdS 16, procedente de una estructura de combustión que se localizaba justo debajo del estrato (A-8B2). El análisis de fitolitos nos estaría sugiriendo que A-7A8-base, seguramente pertenezca ya a la fase 8 (Figuras 6.4, 6.5, 8.3 y 8.4).

Por último, habría que destacar la muestra CdS 15, procedente de un paquete de relleno en forma de fosa sinuosa (A-7B6), fechado en unos 3900 - 3700 cal ANE (Gassiot, 2011).

Esta muestra (CdS 15) presenta la concentración de fitolitos mas escasa de la Cova del Sardo (> 0,03 mill / g sed (AIF)). A partir de su estudio cuantitativo-morfológico no podemos asociarla con ninguna otra, quedando entre los dos conglomerados principales (Figura 7.5), ya que es muy diferente del resto. Por su concentración escasa de fitolitos y por su ITP baja (0,6), a las muestras a las que más se parece son a las de los niveles de desocupación de la fase 10, especialmente a CdS 27, procedente del estrato A-10A1-W. Por todo ello, concluimos que este estrato (A-7B6) marca un periodo de abandono del yacimiento, sin presencia antrópica aparente en el interior del abrigo.

### **8.1.2.3 NEOLÍTICO ANTIGUO (5500 – 4400 CAL ANE)**

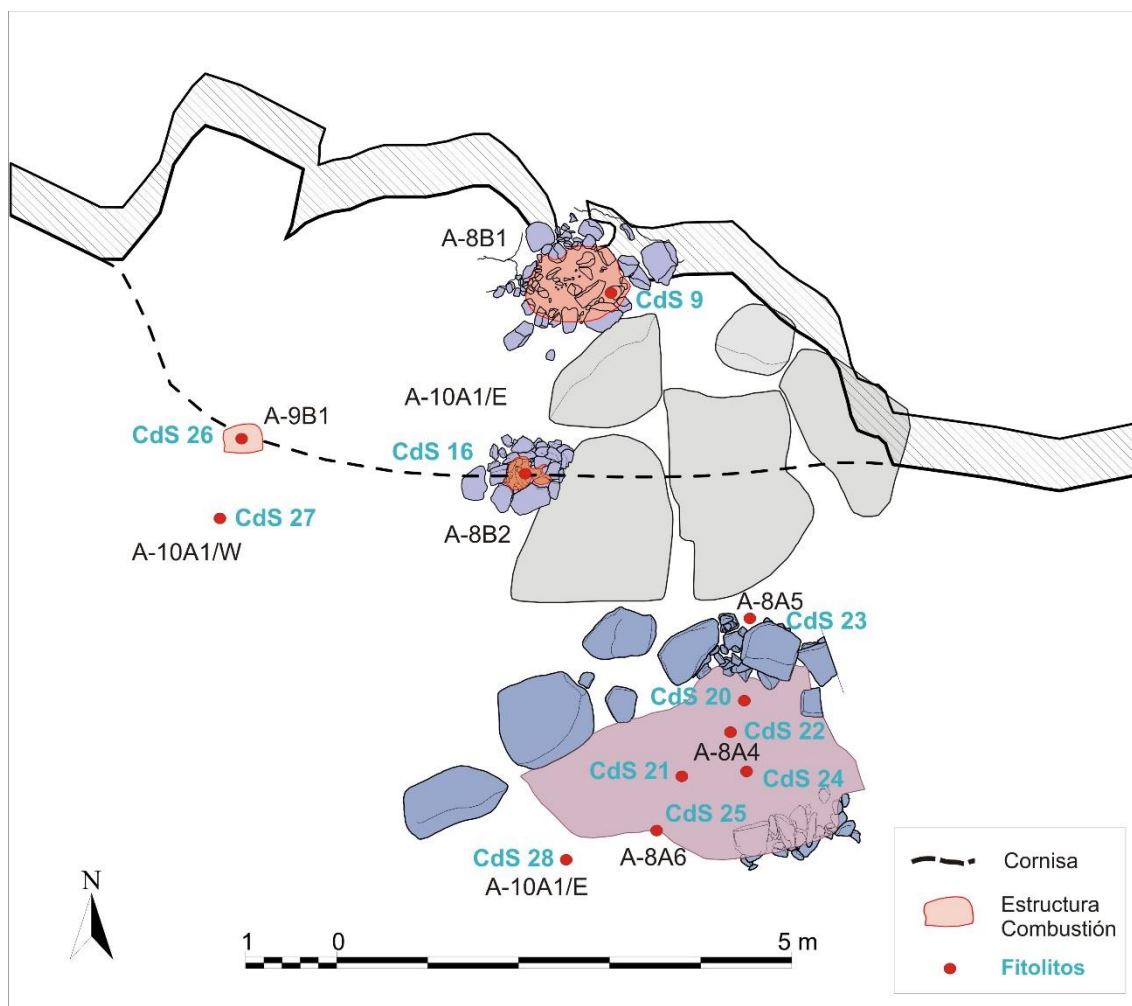
---

Las fases correspondientes con las primeras ocupaciones de la Cova del Sardo afectan tanto al interior, como, especialmente, al exterior del abrigo. Donde se localizaba una gran estructura de combustión (A-8A4) (Gassiot, 2011).

Hemos analizado 10 muestras de este periodo (CdS 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28), que se pueden distribuir en tres fases distintas (8, 9 y 10). No obstante, no descartamos que algunas muestras inicialmente situadas en la fase 7, como CdS 11 (A-7A8-base) o CdS 9 (A-7A16), en realidad, podrían proceder de estratos formados en el neolítico antiguo final.

La característica más notable de esta fase es la realización de importantes estructuras de combustión en diferentes lugares del yacimiento (Figuras 6.5 y 8.4). Todas ellas delimitadas por piedras (A-8B1 y A-8B2) o pequeños muros (A-8A4) (Gassiot, 2011). Se trata de la fase

de ocupación neolítica donde se han documentado un mayor número de estructuras (Gassiot, 2011).



**Figura 8.4. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del Neolítico antiguo (5500-4400 cal ANE).** En la figura se muestra la localización de las 10 muestras de fitolitos analizadas de esta fase, más una (CdS 9), cuya asociación estratigráfica ha sido discutida. Se puede ver que la mayor parte de las muestras provienen del exterior del abrigo y, especialmente, de las diversas estructuras de combustión.

La muestra CdS 16, procede de una estructura de combustión organizada en un círculo concéntrico de piedras (A-8B2), que se localizaba bajo la vertical de la cornisa, y que presenta características muy similares a CdS 26, procedente de un hogar contenido en una cubeta, unos 1000 años más antigua (A-9B1), según los fechados C14 (Tabla 14.3) (Figuras 6.5, 7.5 y 8.4). Ambas estructuras han sido interpretadas, indiscutiblemente, como hogares (Gassiot, 2011).



En CdS 16, procedente de A-8B2, observamos que efectivamente se documenta el porcentaje más elevado de la fase 8 de SPHEROID (11,5%), que habitualmente se encuentran en la madera y corteza de las plantas dicotiledóneas (Albert, 2000; Carnelli, 2002; Tsartsidou et al., 2007). Como ya indicamos anteriormente, la muestra más parecida a CdS 16 es CdS 11, procedente del estrato que cubría el hogar (A-7A8-base).

La segunda estructura de combustión estudiada es A-8A4. Se trata de una estructura muy peculiar por su gran tamaño (6 m<sup>2</sup>), y la única de este tipo que se localiza en la terraza. Las 3 dataciones radiocarbónicas de la estructura señalan a unos 80 años de diferencia en su fechado sin calibrar (Tabla 14.3). El análisis de fitolitos de las muestras CdS 20, 21, 22, 23, 24 y 25, procedentes de la estructura, ha permitido observar la diacronía en su uso (Figura 6.5 y 8.4).

Las muestras CdS 25 y CdS 22 podrían corresponderse con fases iniciales de condicionamiento del terreno (A-8A5) y primeros usos de la estructura (A-8A4-base). Estos primeros periodos de uso de la estructura de combustión vendrían marcados por una importante presencia de fitolitos de dicotiledóneas y coníferas, procedentes de la actividad combustiva, como señalan unas ITP elevadas (0,9 > 1,1) para la terraza exterior, que se define por muestras dominadas por las gramíneas, de ratios bajas (0,4 > 0,6).

En la zona central del paquete sedimentario que rellena la estructura, encontramos las muestras CdS 24 y CdS 20, que son muy parecidas a nivel morfológico (Figuras 7.1 y 7.5). Sin embargo, presentan algunas diferencias significativas. Mientras CdS 20, asociada a la parte central del relleno (A-8A4-cos) se puede definir, claramente, como un periodo de uso de la estructura de combustión, caracterizado por porcentajes elevados de SPHEROID (10%), CdS 24, asociada al nivel A-8A4-inferior, se caracteriza por presentar momentos de estancamiento de agua, como señala el elevado porcentaje de diatomeas observado en la muestra (28%), asociado a un descenso de las SPHEROID (3%). Interpretamos, que aunque se trata de muestras próximas estratigráficamente, pero que podrían estar reflejando situaciones temporales diferentes: momentos de uso y de abandono de la estructura de combustión.

Por último, disponemos de dos muestras (CdS 21 y CdS 23) que se corresponden con el techo de la estructura (A-8A4-sup) y el relleno del muro de contención situado al norte de la misma. Ambas muestras son estadísticamente muy similares (Figura 7.10), presentando ITP bajas (0,6), características de los conjuntos dominados por las gramíneas, típicos de las muestras del exterior del abrigo. Lo que nos estaría indicando el momento ya de abandono definitivo del uso de la estructura A-8A4.

Los análisis de carbones, procedentes de diferentes cotas y zonas de la estructura A-8A4 (Tabla 14.2) indican, como mínimo, dos momentos de uso diferentes (Figura 3.10 (b)). Uno, con mayor presencia de caducifolias (*Quercus* y *Betula*), localizado cerca de la base de la estructura, y que podríamos relacionar con las muestras CdS 22 y 25, y otro dominado por *Pinus*, pero con presencia de *Corylus*, antes ausente (Figura 3.10), asociado a la muestra CdS 20. Los dos momentos podrían sugerir variaciones en la disposición de las especies arbóreas del entorno del sitio, posiblemente debida al impacto humano, o bien a los criterios de selección de la leña recogida, en función del uso de la estructura (Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

El análisis de fitolitos no nos ha permitido reconocer estas variaciones en las especies de plantas leñosas utilizadas. Pero, si comparamos los resultados del estudio antracológico (Figura 3.10 (b)) con el análisis de fitolitos (CdS 20, 21, 22, 23, 24 y 25), ambas aproximaciones señalan cambios en la gestión de la estructura a lo largo de su vida útil. Lo cual confirmaría la recurrencia en la reutilización de la estructura de combustión a lo largo de un importante episodio temporal (de, al menos, 80 años, según el C14), modificándose, también, los patrones taxonómicos de las plantas que quedaron depositadas en el paquete sedimentario, tanto a nivel de carbones como de fitolitos. Aunque, en el caso de las muestras de fitolitos no se observan dos momentos, sino una secuencia. Un primer momento de preparación y primeros usos de la estructura (CdS 22 y 25), seguido de nuevos momentos de uso (CdS 20) y de abandono (CdS 21 y 23).

En conclusión, interpretamos A-8A4, como una estructura de combustión de vida larga, que se reutiliza a lo largo de decenas de años, con periodos de abandono y de reutilización.

Como último dato del estudio, debemos apuntar que a partir de los análisis cuantitativos realizados (Figura 7.10), pensamos que existe una alta probabilidad de correspondencia entre las 2 muestras (CdS 27 y 28) asociadas al estrato A-10A1 y las fases de desocupación de la fase 8 en la terraza (CdS 21 y 23), por lo que no podemos descartar que ambos niveles estratigráficos no sean contemporáneos. Por lo que podríamos situarlas en el intervalo referido por las dataciones de C14 (5500-4400 cal ANE). De hecho, proponemos que las diferencias estratigráficas entre las fases 8, 9 y 10, son coherentes con el largo periodo Neolítico antiguo, marcado por las primeras ocupaciones ocasionales del abrigo primero (fase 9), y por un uso reiterado de las áreas de combustión, ya durante el Neolítico antiguo final (fase 8) (Gassiot, 2011).

## 8.2 EL IMPACTO HUMANO EN EL PAISAJE

---

### *Áreas de frecuentación y gestión del medio*

Estudio sedimentario integral de los sondeos AS 1 y AS 2 y reconstrucción del paisaje.

Integración del análisis de fitolitos al estudio de la ocupación del curso medio del valle de Sant Nicolau.

El análisis arqueológico del exterior de los yacimientos, de cara a interpretar el impacto humano en el entorno y caracterizar la gestión del territorio, es uno de los objetivos centrales de esta tesis doctoral. Para ello, hemos empleado el análisis de fitolitos como una herramienta metodológica aplicada a la reconstrucción de los paleopaisajes.

A continuación, interpretaremos, en base a estos objetivos, los resultados del estudio morfológico cuantitativo de fitolitos realizado de dos sondeos de Aigüestortes: Pleta d'Erdo – AS 1 y Forcall de Sant Esperit – AS 2.

A un nivel general, si observamos analíticamente la distribución relativa de los diferentes 19 morfotipos clasificados en las 21 muestras geológicas analizadas a nivel cuantitativo morfológico, vemos una distribución estadística de los morfotipos principales, no muy diferente de la de los yacimientos arqueológicos, lo que, indudablemente, es debido a que ambos tipos de registros reflejan la continuidad del medio ambiente subalpino (Figuras 7.5 y 7.16).

La primera conclusión, cuando aplicamos nuestras atribuciones taxonómicas a los resultados (Figuras 7.9 y 7.19) es que, en la mayor parte de las muestras analizadas se documenta un predominio de los morfotipos RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID (Tablas 14.9 y 14.12). Estos tres morfotipos que hemos asociado a plantas herbáceas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (Tablas 5.1 y 6.6), representan un promedio del 40% de los fitolitos estudiados, lo que apunta a que este grupo de plantas herbáceas de patrón fotosintético *C<sub>3</sub>* habrían sido las mayores productoras de fitolitos en nuestro caso de estudio. Los géneros *Nardus* y *Festuca*, predominantes entre las hierbas que crecen en el valle de Sant Nicolau son, con toda probabilidad, las responsables de este registro, según indican los resultados de la colección de referencia de plantas estudiada (Figura 5.1, Tablas 5.1 y 5.2) (Gómez-García, 2008).

En segundo lugar, los fitolitos producidos por plantas dicotiledóneas supondrían entre el 6% y el 26% del total de los conjuntos de fitolitos estudiados, con un porcentaje promedio del 18% (Figura 7.19). Las especies más comunes de dicotiledóneas y coníferas en nuestra zona de estudio son plantas leñosas de las familias *Pinaceae*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Betulaceae* y *Fagaceae*, principalmente (Ninot et al., 2017b). Allí donde ha sido posible, hemos tratado de distinguir entre estas familias, pero la mayor parte de los morfotipos identificados en nuestro caso de estudio, no nos lo ha permitido (Tabla 6.6). Esto es así, debido a que, únicamente, dos morfotipos identificados en esta tesis son exclusivos de las dicotiledóneas (POLYGONATE y ACUTE BASE), pero sus porcentajes totales son siempre escasos en las muestras estudiadas (>1%). Siendo las SPHEROID comunes a las 5 familias de plantas leñosas antes referidas, según demuestran los resultados de estudio de la colección de referencia utilizada (Tabla 5.2, Figura 5.2) (Carnelli et al., 2001 y 2004) o de otras colecciones consultadas (Lisztes-Szabó et al., 2019).

Un tercer elemento destacado del conjunto es que aparecen morfotipos representativos de plantas hidrófilas como las ciperáceas, seguramente, producidas por el género *Carex*, común en el valle (Carrillo y Ninot, 1992). Entre estos morfotipos hay que destacar una constante presencia de PAPILLATE CONICAL (1>3%), que hemos atribuido a *Cyperaceae* (Stevanato et al., 2019). Los porcentajes elevados de ELONGATE ENTIRE (25>40%), en asociación con porcentajes importantes de diatomeas (10>40 %) y un descenso de RONDEL (5>15%), en un contexto de planicias aluviales con suelos inundables, podría asociarse a la presencia de ciperáceas (Albert et al., 2018). Una hipótesis perfectamente razonable en el contexto topográfico y medioambiental donde se localizan los dos sondeos en discusión (Figuras 5.5 y 5.9). No obstante, esta explicación ambiental no es la única posible para estos resultados, ya que el impacto antrópico podría ser otro factor condicionante en la disposición de las especies vegetales en Aigüestortes.

En conclusión, la interpretación taxonómica indica que la mayor parte de los fitolitos identificados en las muestras geológicas habrían sido producidos por plantas monocotiledóneas, de las familias *Poaceae* o *Cyperaceae* (56%) (Tabla 14.14 y Figura 7.19). De éstos, la mayor parte han podido ser asignados a un nivel taxonómico inferior, que se ha atribuido a las *Poaceae* subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* (40%), que incluye algunas de las gramíneas más comunes del piso subalpino, como los géneros *Nardus*, *Festuca* y *Poa* (Figura 5.1).

Hay que señalar una importante variabilidad en el porcentaje de fitolitos de *C<sub>3</sub>Pooideae* documentados en las distintas muestras, que pueden variar entre el 76% y el 16%, resultando esta variación un buen indicador de presencia o ausencia de praderas. Por el

contrario, debemos valorar el porcentaje de fitolitos atribuidos a plantas dicotiledóneas y coníferas, comunmente leñosas en las 5 familias predominantes en en nuestro contexto ecológico subalpino (*Pinaceae*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Betulaceae* y *Fagaceae*). Su porcentaje supone aproximadamente un 18% del total de fitolitos determinados en el conjunto de muestras sedimentarias, procedentes de sondeos. No obstante, su variabilidad es importante, entre el 6% y el 26%, aunque resulta más constante que el porcentaje de *C<sub>3</sub>Pooideae* (Figura 7.19 y Tabla 14.14).

Por lo tanto, podemos asumir que el porcentaje de morfotipos asociados a *C<sub>3</sub>Pooideae* (RONDEL, CRENATE Y TRAPEZOID), en relación a las SPHEROID, que asociamos a dicotiledóneas y coníferas, sería un buen indicador potencial de la apertura del paisaje. No obstante, hemos de considerar también otras monocotiledóneas como las ciperáceas o las juncáceas que pueden ser grandes productoras de algunos tipos de fitolitos como las ELONGATE ENTIRE. La relación entre estos 5 morfotipos ha sido expresada en el ITP (Figura 7.20).

### **8.2.1 PLETA D'ERDO - AS 1**

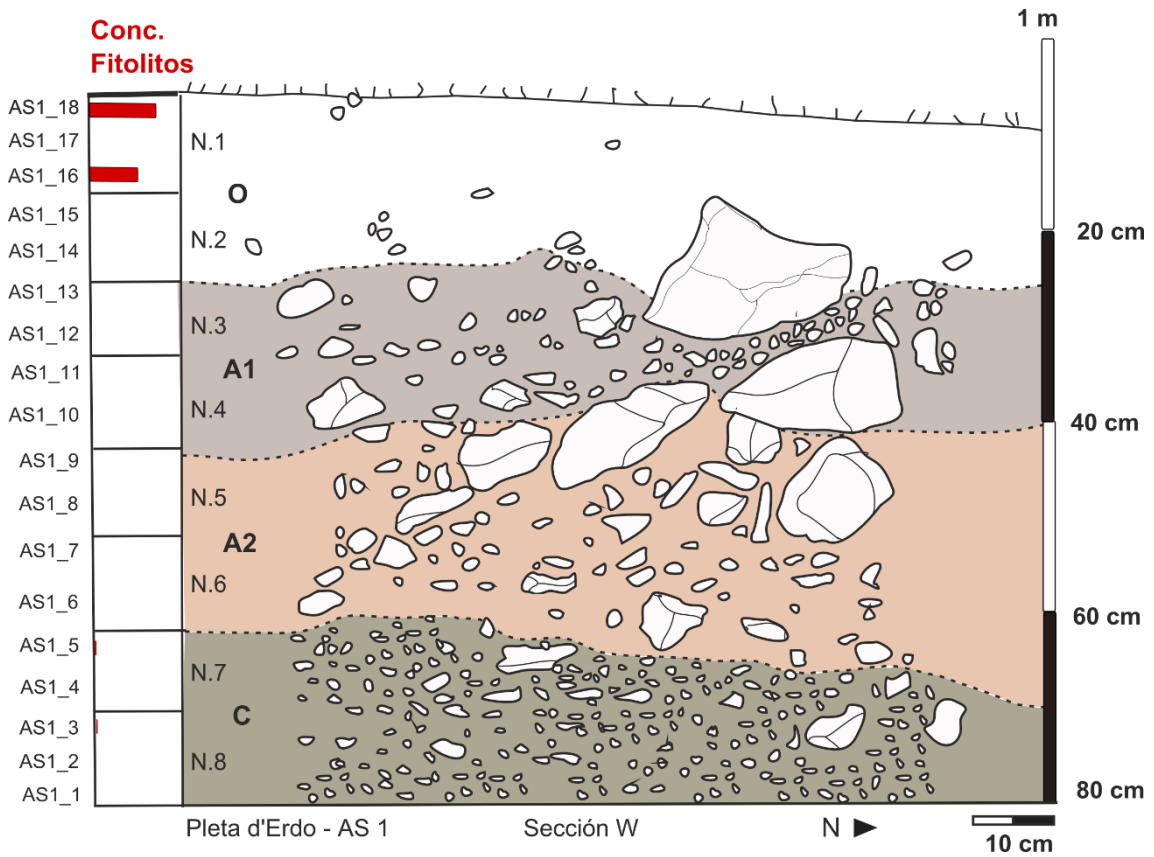
---

El primer sondeo paleosedimentario que vamos a analizar (Pleta d'Erdo – AS 1) (Figura 5.9) es el más alejado del yacimiento de la Cova del Sardo (2,5 km) (Tabla 14.2, Figura 8.5).

Aunque se han definido 5 horizontes sedimentarios en este perfil de suelo (O, A1, A2, B y C) (Tabla 6.3, Figura 8.5), únicamente dos de ellos, el suelo actual (orgánico) y el horizonte C, de gravas y limos (inorgánico), contenían muestras suficientemente ricas en fitolitos como para realizar un análisis morfológico cuantitativo (Figuras 7.14, 8.1 y Tabla 14.8).

A partir de los resultados del análisis morfológico de fitolitos, y comparándolos con el resto de muestras analizadas en esta tesis, especialmente las del sondeo AS 2, vamos a proponer una hipótesis cronológica para los dos horizontes sedimentarios analizados. Dicha hipótesis se basa en las relaciones de semejanza, entre las 4 muestras analizadas de la Pleta d'Erdo y las 43 restantes, según el análisis multivariante de Ward (Figura 14.1) y el índice de componentes principales ITP (Figura 14.2).

Como toda hipótesis cronológica requeriría de la realización de fechados absolutos C14, para poder afinar mejor la interpretación de los depósitos sedimentarios estudiados.



**Figura 8.5. Dibujo de la sección del perfil de Pleta d'Erdo - AS 1.** Se indica la localización precisa de las muestras de fitolitos extraídas de la columna de la cual han sido tomadas las 18 muestras de fitolitos, en relación a los horizontes estratigráficos discutidos. Únicamente 4 muestras presentaban fitolitos en cantidades suficientes para su análisis morfológico cuantitativo.

### 8.2.1.1 NIVEL O1. HORIZONTE SUPERFICIAL ORGÁNICO

---

#### *Altomedieval / Subactual*

Las dos muestras analizadas de este nivel más superficial (AS1\_16 y 18) son parecidas a nivel morfológico, pero no idénticas (Figuras 7.2), Por lo que podríamos confirmar efectivamente que se encuentran en el mismo horizonte sedimentario (O1) (Figura 8.5), como también señalaría su concentración y disolución similar (Tabla 14.10).

Se observan, sin embargo, algunas diferencias a nivel morfológico entre la muestra más superficial (AS1\_18) y la inferior (AS1\_16). Concretamente, el conjunto de fitolitos de la muestra inferior (AS1\_16) podría estar reflejando un paisaje algo más diversificado, con mayor presencia de ericáceas y de ciperáceas, posiblemente menos impactado que el paisaje actual, marcado por su uso como zona de pasto, que seguramente se ve reflejado en la muestra más superficial (AS1\_18) (Figura 8.5).

De hecho, dos muestras que presentan semejanza estadística entre ellas, al realizar la prueba de análisis multivariante de Ward entre las 47 muestras analizadas a nivel morfológico cuantitativo en esta tesis (Figura 14.1): son AS1\_16 y AOR\_11, la semejanza es significativa también es sus ITP (Figura 14.2).

La muestra AOR 11, ya discutida procede de un nivel de ocupación fechado por C14 (553-648 cal DNE), de un muro exterior del Abric de les Obagues de Ratera (Figuras 6.1 y 8.1) (Gassiot et al., 2019). Es justo remarcar que, aunque no disponemos de ninguna fechado directo de la muestra AS1\_16 del sondeo de Pleta d'Erdo - AS 1 (AS1\_16), una de las estructuras situadas en el yacimiento de Pleta d'Erdo, localizada a unos 111 m de distancia del sondeo y similar cota, presenta idéntica datación C14 (540-640 Cal DNE) (Tabla 14.1) (Gassiot, 2016, García-Casas, 2018). A tenor de los resultados, es posible que ambas muestras (AS1\_16 y AOR\_11) esten reflejando momentos de ocupación del piso subalpino superior, en torno al *timberline*, en época altomedieval (s. VI-VII). El fechado C14 de las muestras podría desmentir esta hipótesis.

### 8.2.1.2 NIVEL C. HORIZONTE INORGÁNICO DE GRAVAS Y LIMOS

---

#### *Holoceno antiguo*

Por debajo de este paquete de suelo reciente, del Holoceno final, han sido documentados varios eventos, posiblemente aluviales, dominados por grandes rocas y una total ausencia de fitolitos en las muestras sedimentarias, los horizontes A y B. Bajo este paquete de 40 cm, encontramos el nivel uniforme de gravas y limos, de tipo C, aluvial, y muy homogéneo (Figura 8.5). Es evidente, que si tomamos la secuencia sedimentaria en comparación con otros estudios de suelos alpinos (Carnelli, 2002) o simplemente en comparación con el suelo estudiado en el fondo del valle, en esta tesis (AS 2), es muy probable que nos encontremos en fases sedimentarias antiguas, pero, posteriores al último momento de glaciación que afectó el valle, a finales del Pleistoceno (Martínez-Rius et al., 2011). En tanto que la Pleta d'Erdo se sitúa en una cubeta de sobre excavación glacial a 2550 m snm y encarada al Norte, es muy probable que el horizonte sedimentario C sea posterior a la última terminación glacial, por lo que proponemos situarlo, tentativamente, en el Holoceno antiguo (11,7 – 8,2 ka cal BP).

En el horizonte basal del depósito han podido ser analizadas dos muestras procedentes de un contexto inorgánico aluvial muy homogéneo. Ambas muestras (AS1\_5 y AS1\_3) presentan, claramente, otro paisaje, muy diferente del observado en el suelo actual. A nivel de semejanza estadística son muy similares (Figuras 7.20 y 7.21).

En ambas muestras el porcentaje de fitolitos atribuidos a la subfamilia *C<sub>3</sub> Pooideae* supone porcentajes dominantes: el 76,5% (en AS1\_5) y el 64,8% (en AS1\_3). Por su parte las Ciperáceas parecen ser constantes, con un 3,5 % del porcentaje total. Si sumamos todos los morfotipos de fitolitos atribuibles a las familias *Poaceae* y *Cyperaceae*, incluidas las ELONGATE-ENTIRE alcanzarían en torno al 86% y 74%, respectivamente. Ambos resultados podrían ser coherentes con paisajes muy abiertos, de pradera alpina.

La mayor diferencia entre las muestras se encuentra en el porcentaje de fitolitos asociados a plantas dicotiledóneas y coníferas, que alcanza el 13,5% en la muestra inferior (AS1\_3), frente a un bajísimo 5,7% en la superior (AS1\_5). Ésta muestra (AS1\_5), de hecho, es la que presenta una mayor desproporción en toda la serie paleosedimentaria analizada en valle de Sant Nicolau, aunque podríamos compararla con la muestra AS2\_14, fechada en 6606-6443



cal ANE (8,4 – 8,6 ka cal BP) (Tabla 14.6), que presenta una correlación muy similar entre dicotiledóneas y coníferas (5,5%) y ciperáceas y poáceas (78%). Hay que destacar también que es la única muestra de toda la serie con un porcentaje de SPHEROID inferior al 1%.

Por su parte el morfotipo RONDEL, que hemos atribuido, especialmente, a las hierbas de los géneros *Nardus* y *Festuca*, a partir del estudio de la colección de referencia (Tabla 5.2, Figura 5.1); alcanza en las dos muestras estudiadas en este nivel, los mayores porcentajes de todas las muestras presentadas en esta tesis: 40% en AS1\_3 y 50% en AS1\_5. Las 19 muestras restantes de los dos sondeos analizados no superan el 25%. De hecho, si comparamos sus índices de tipos principales (ITP), vemos que entre AS1\_3 y AS2\_14, éstos son muy similares (0,23 y 0,27), indicativos ambos de un paisaje más abierto que el actual.

La baja concentración de fitolitos en ambas muestras (Tabla 14.10), podría deberse principalmente a factores postdeposicionales, pero también podría ser indicativa de un paisaje con baja productividad de fitolitos en las plantas, o con escasa formación vegetal.

En conclusión, estos resultados, solo pueden interpretarse en clave paleoambiental, como un momento climático posiblemente más frío que el actual, con paisajes abiertos en el piso subalpino superior, claramente dominados por las herbáceas alpinas de la subfamilia *C<sub>3</sub>Pooideae* y ciperáceas del género *Carex*, que actualmente dominan el paisaje unos 150 o 200 metros por encima de la cota en la que situamos la Pleta d'Erdo, entre 2400 y 2600 m snm.

Estos resultados difícilmente podrían ser debidos únicamente al impacto humano, pues si los comparamos con las muestras procedentes del Abric de les Obagues de Ratera (AOR 8 y 11), situado a mayor altura (2312 m snm), y en momentos de ocupación del medio y elevado impacto generalizado en el paisaje, durante el Holoceno final, vemos que ni siquiera son cercanos, en términos morfológico cuantitativos (Figura 7.20). De hecho, las muestras que más semejanza presentan con las de este estrato, según el análisis de clústers realizado, especialmente respecto a AS1\_3, son AS2\_15 y 16 (Figura 14.1).

Todas las muestras (AS1 3 y 5; AS2 14, 15, 16 y 17) que provienen de horizontes estratigráficos de tipo C (inorgánicos), situados en la base de los dos sondeos, presentan ITP muy bajas ( $0,5 < 0,1$ ) (Figura 14.2), coherentes con paisajes abiertos.

Por lo tanto, si tomamos como referencia el otro suelo estudiado en el fondo del valle (AS 2), cuyo horizonte C debe tener mas de 8,5 k cal BP, según el modelo cronológico que defendemos para el depósito sedimentario, los resultados serían coherentes también con un depósito paleosedimentario del Holoceno antiguo, en el caso de AS 1 (horizonte C) (Tabla

14.6, Figuras 6.5 y 6.6). En ambos casos, los resultados parece que están marcando un paisaje más abierto que el actual que, incluso podrían ser indicativos de un paisaje de pradera alpina en la muestra AS1\_5.

La cronología de estos paquetes sedimentarios es por lo tanto, únicamente una hipótesis de trabajo, basada en un único fechado C14 (Tabla 14.6) y en los resultados comparados del estudio de los fitolitos (Figura 14.1). No obstante, los resultados, de confirmarse, apuntan a que la base de los suelos de la zona de estudio estaría conteniendo material sedimentario del Holoceno antiguo, al menos en los dos casos analizados en esta tesis.

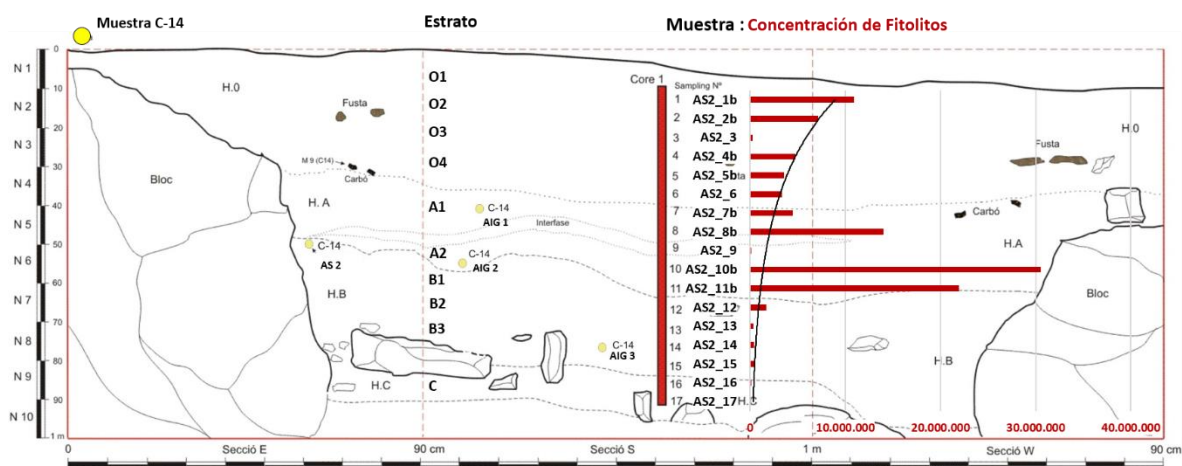
En todo caso serán necesarios nuevos estudios cronológicos y pedogenéticos, para poder afinar mejor esta hipótesis.

## **8.2.2 FORCALL DE SANT ESPERIT - AS 2**

---

El sondeo del Forcall de Sant Esperit – AS 2, se localiza a 1771 m snm, en una terraza aluvial, bajo un afloramiento rocoso (Figura 5.7) (Martínez-Rius 2011). Partiendo de su análisis pedológico (Hollyday 1992; Beverly et al., 2018), hemos definido 5 horizontes sedimentarios principales (O, A1, A2, B y C) (Figuras 6.6 y 8.6) que han sido interpretados a partir de las dataciones C14 absolutas, obtenidas (Tabla 14.6).

A continuación, presentaremos los distintos horizontes sedimentarios de forma secuenciada, según la estratigrafía excavada, del más reciente al más antiguo, según el modelo cronológico que hemos defendido (Figura 8.6, Tabla 14.6) (Rodríguez-Antón et al., 2018).



**Figura 8.6. Perfil del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS 2.** En el dibujo se señala la procedencia de las muestras de fitolitos y de C-14. Se incluye un diagrama con la concentración de fitolitos en relación a la estratigrafía discutida.

### 8.2.2.1 NIVEL O1. HORIZONTE SUPERFICIAL ORGÁNICO

#### *Subactual / Altomedieval*

El suelo actual, de unos 30/40 cm de potencia, presenta abundante materia orgánica y *humus*. Se encuentra bajo un pastizal de *Nardus stricta* y otras herbáceas, en el límite de un bosque abierto de *Pinus mugo ssp. uncinata*, *Abies alba* y *Betula pendula*, con un sotobosque de *Rhododendrom ferruginea* y *Junniperus commnis* (Notas de campo, del autor).

La productividad potencial de fitolitos también es un factor a tener presente en la interpretación, pues no todos los paisajes presentan una productividad similar. Mientras, una formación arbustiva de ericáceas suele presentar concentraciones de fitolitos bajas en el suelo ( $>0,5 \text{ g/m}^2$ ), incluso inferiores a un bosque subalpino ( $1,2 > 1,6 \text{ g/m}^2$ ), las praderas subalpinas presentan una productividad muy elevada de fitolitos ( $>9,4 \text{ g/m}^2$ ) (Carnelli et al., 2001). Evidentemente, hay factores postdeposicionales que pueden alterar la concentración inicial o potencial de fitolitos en el suelo, como procesos de erosión del suelo, que hemos detectado en algunos estratos (Strömberg et al., 2018; Beverly et al., 2018).

En el caso del suelo actual se documenta una concentración de fitolitos relativamente elevada en las muestras más superficiales (horizontes O1 y O2) (10,9 >7,1 mill /g sed), que tiende a decaer en las muestras inferiores del mismo suelo (4,7 >3,3 mill / g sed) (horizontes O3 y O4) (Figuras 7.12 y 8.6), pero no en las situadas en los horizontes A1 y A2, donde la concentración aumenta (14 > 30 mill / g sed) (Figura 8.6, Tabla 14.11).

El estudio morfológico cuantitativo de las 6 primeras muestras (procedentes del suelo O) apunta a un conjunto relativamente homogéneo, con pocos cambios en la distribución estadísticas de las muestras (Figura 7.20), salvo en AS3\_3, muestra que presenta una concentración baja de fitolitos (Figura 7.12) y relativamente elevada de diatomeas (28%) (Tabla 14.10). Algo que podría asociarse con eventos de inundación de la planicie aluvial de Aigüestortes. En todo caso, no parece alterar demasiado este nivel, en su conjunto, homogéneo, caracterizado por un índice ITP bajo (0,6 >0,7) (Figuras 7.19 y 7.21), que interpretamos con un paisaje estable durante el periodo reciente, con mantenimiento de pequeñas praderas en el entorno del Planell d'Aigüestortes y el bosque relativamente aclarado, por su uso como zona de pasto estacional de pequeños rebaños (Soriano et al., 2003).

Si comparamos los resultados de fitolitos con los carbones sedimentarios (Figura) y el polen (Figura 8.4), obtenidos en este mismo sondeo AS 2, vemos que el horizonte O se caracteriza por su relativa homegeneidad estratigráfica. Algo bastante coherente con los resultados del análisis de fitolitos, que presentan un conjunto relativamente homogéneo (Figura 7.16 y 7.21). El único cambio detectado en el suelo sería un incremento progresivo de la antracomasas y de la cantidad de microcarbones hacia la base del nivel estratigráfico (Figura 8.3), que podría relacionarse, muy probablemente con una gestión forestal "antigua", donde el uso del fuego era más frecuente, tanto para aclarar el bosque como para producir carbón (Pèlachs, 2004; Augé, 2012).

#### **8.2.2.2 NIVEL A1. HORIZONTE ORGÁNICO TIPO AO**

---

**Altomedieval (s. IX-XII)**

De las 3 muestras que hemos asociado a este estrato (A1), a partir del análisis de fitolitos (AS2\_6, 7b y 8b), justamente la inferior (AS1\_8b), que ha sido fechado en 858-988 cal DNE (Tabla 14.1), es la que presenta una concentración de fitolitos más elevada (Tabla 14.10), superando la muestra superficial (AS2\_1b) (Figura 7.12).

Si observamos las curvas de microcarbones, vemos que A1 presenta el pico máximo en la concentración de carbones sedimentarios y en la estimación de antracomasa del perfil de suelo AS 2 (Figura 5.17). Lo que sería coherente con los resultados del análisis de fitolitos, que apuntan a una mayor apertura del bosque que la actual, con una importante presencia de herbáceas de las familias *Poaceae* y *Cyperaceae* (48-58%), respecto a dicotiledóneas y coníferas, que descienden por debajo de los valores del suelo actual (12,5-14,5%). El ITP también aumenta significativamente en las muestras AS2\_6 y AS2\_7b, lo que indica una variación en el paisaje vegetal (Figura 7.20).

Una explicación posible, de los resultados del análisis de fitolitos y microcarbones, sería un uso más frecuente del fuego para mantener zonas abiertas en el fondo del valle, asociadas a la gestión agrícola y ganadera (Catalan et al., 2013; Gassiot, 2016).

De hecho, el periodo tardoantiguo y alto medieval, en general, (ss. V-XII) (500 – 1200 cal DNA) presenta una importante ocupación de yacimientos en el valle de Sant Nicolau, que se incrementarán aún más en época bajomedieval en torno a los siglos XIII – XV (1200 – 1500 cal DNE) (Garcia-Casas et al. 2013; Gassiot, 2016; Gassiot y Pèlachs, 2017; Garcia-Casas, 2018).

A nivel arqueológico, es un hecho muy significativo que la fase 3 de ocupación de la Cova del Sardo presente una fecha C14 (884-1013 Cal DNE) contemporánea a la obtenida en el sondeo AS 2 (Tabla 14.1) (Gassiot, 2011 y 2016), lo que nos podría estar señalando a una misma ocupación del abrigo y su entorno inmediato.

El descenso del Abeto (*Abies alba*) respecto al pino (*Pinus sylvestris* o *Pinus mugo* ssp. *uncinata*), observado en las muestras antracológicas del nivel A1 del sondeo AS 2 (Figura 5.16), podría apuntar a una presión selectiva hacia el abeto, que podría haber sido utilizado para la producción de carbón o como combustible (Pèlachs et al., 2009; Augé et al., 2012).

### 8.2.2.3 NIVEL A2. PALEOSUELO

---

#### *Neolítico antiguo (6 - 7,2 cal ANE)*

Seguramente, las muestras más interesantes del perfil son las procedentes del estrato A2, que ha sido definido, por sus características pedológicas como un paleosuelo (Rodríguez-Antón et al., 2018), cuya base ha sido fechada por C14 a partir de un carbón de abedul (*Betula sp.*) en torno a 7,2 - 7 ka cal BP (Figura 6.6) (Tabla 14.6). De este estrato han sido analizadas dos muestras de fitolitos AS2\_10b y AS2\_11b (Figuras 7.14 y 7.19, Tablas 14.8, 14.9 y 14.10) y dos de polen AS2\_10 y AS2\_11, respectivamente. (Tabla 14.5, Figura 5.18).

Este paleosuelo se define como un paquete orgánico de unos 12/8 cm de potencia, de coloración muy oscura y rico en carbones, que se desarrolla en el perfil entre un horizonte B (inorgánico) y un nivel de gravillas y limos (A2-techo), asociado a la muestra de fitolitos AS2\_9 (Figura 6.6). Hay que recordar que el carbón datado del nivel superior (A1) se localiza solo a 10 cm de distancia horizontal, y 6 mil años de distancia cronológica (Tabla 14.6, Figuras 8.1 y 6.6). De modo, que no sería extraño que el paquete paleosedimentario A2 concentre centenares o miles de años en pocos centímetros de sedimentación (Figura 8.6).

Las dos muestras analizadas de este nivel presentan algunas diferencias a nivel cuantitativo en la distribución de los morfotipos identificados, aunque las diversas pruebas estadísticas realizadas tienden siempre a agruparlas (Figura 7.21), por lo que sin ser la misma muestra, es coherente que pertenezcan a un mismo estrato de duración indeterminada. En muchos sentidos son dos muestras peculiares. En primer lugar se trata de las más ricas en concentración de fitolitos de las 47 estudiada en esta tesis. En segundo lugar AS2\_10b es la muestra con un cociente ITP más elevado (2,1) y AS2\_11b la cuarta de todas muestras y la segunda de las geológicas. Estos resultados se deben, principalmente, a un muy bajo porcentaje de fitolitos atribuidos a plantas *C<sub>3</sub>Pooideae* y a un porcentaje muy elevado de ELONGATE\_ENTIRE (36-43%), mientras el porcentaje de SPHEROID se mantiene en torno al promedio de la serie (5%), destacando un bajísimo porcentaje del tipo RONDEL (6%) asignados a la subfamilia *Pooideae*, y un elevado porcentaje de los tipos ELONGATE SINUATE (6,5%) y ELONGATE DENTATE (5%) (Tabla 14.12, Figuras 7.14 y 7.16).

En conjunto, podemos afirmar que estos parámetros registrados están muy alejados del resto de estratos geológicos estudiados en el Forcall de Sant Esperit - AS 2, encontrando mayores semejanzas cuantitativas con muestras arqueológicas de niveles de ocupación (CdS 1, CdS 26) de la Cova del Sardo, que con el resto de estratos del mismo sondeo (Figura

14.1). Lo que ya sería un primer elemento indicativo de una posible actividad antrópica relacionada con la formación del estrato A2.

Si atendemos al estudio de los carbones sedimentarios del estrato A2, el paleosuelo muestra un ligero descenso de la antracomasa y de los carbones de pequeño tamaño ( $0,5 > 1$  mm) respecto a A1, pero, en general, mantiene un promedio muy elevado de carbones de todos los rangos, por lo que es coherente con un uso del fuego recurrente en el momento de formación del estrato, en la zona de Aigüestortes. Por su parte, el resultado del estudio antracológico apunta a un total predominio del pino (*Pinus sylvestris* o *Pinus mugo ssp. uncinata*) en A2, sin apenas dicotiledóneas en el registro ( $>5\%$ ).

Los análisis polínicos señalan a un progresivo descenso del porcentaje de polen de arbóreas, y a un aumento moderado de las *Poaceae*, hacia la base del paleosuelo, y especialmente en el techo de B1, en las muestras AS2\_12, donde se identifica el taxón doméstico *Cerealia*, en porcentajes bajos ( $>1\%$ ) (Figura 5.18). Además, hay que destacar un porcentaje elevado de esporas de hongos coprófagos (*Cercophora-t*) en estas muestras (Rodríguez-Antón et al., 2018).

En suma, los resultados del estudio de los fitolitos nos indican que el paleosuelo A2 es un horizonte sedimentario formado, muy probablemente, debido a la acción humana el Planell d'Aigüestortes, que pudo implicar el uso recurrente del fuego, como señala el resultado del estudio pedoantracológico.

Por su parte, los fitolitos indican una vegetación muy alterada y diversa de la actual, sometida, probablemente, a una presión antrópica marcada, aumentado tanto la concentración total de fitolitos del suelo, como variando su composición morfológica respecto a la actual y a la registrada en la mayoría de muestras analizadas del Holoceno medio. No es un dato menor que las muestras del paleosuelo (AS2\_10 y AS2\_11) se parezcan, en términos cuantitativos y morfológicos (Figuras 14.1 y 14.2), a dos muestras arqueológicas de niveles de ocupación (CdS 1 y CdS 26), procedentes, respectivamente de A-6A1 (Figura 8.2) y A-9B1 (Figura 8.4), ambos contextos de ocupación de la Cova del Sardo (Figura 14.1).

Si tenemos en cuenta la correlación estadística entre los niveles arqueológicos de ocupación de la Cova del Sardo, que se expresa en la semejanza de las muestras referida (Conglomerado C1a), según el análisis multivariante realizado (Figura 14.1), y las muestras del paleosuelo; la explicación más simple es que ambos contextos sedimentarios estén reflejando actividades humanas análogas o similares, sobre el mismo entorno medio

ambiental. De hecho, la muestra CdS 26 procede justamente del momento más antiguo de ocupación de la Cova del Sardo, una pequeña cubeta situada bajo la cornisa del abrigo, fechada en 5563-5376 cal ANE. Mientras el nivel A2-base ha sido fechado en 5293-5044 cal ANE, ambas en cronología del Neolítico antiguo (Tabla 14.3).

Una hipótesis coherente con estos resultados sería un uso ganadero recurrente de las zonas aluviales de Aigüestortes, desde inicios del neolítico. Que podría implicar un uso sistemático del fuego para favorecer el desarrollo de zonas de pasto dentro del bosque. La misma teoría ha sido planteada en otros contextos aluviales del Valle del Ródano, a partir de registros sedimentario similares (Delhon et al., 2009).

#### **8.2.2.4 NIVEL B. HORIZONTE TIPO B**

---

##### ***Holoceno medio/antiguo (7,2 – 8,5 cal ANE)***

Un total de 3 muestras de fitolitos (AS\_12,13 y 14) han sido analizadas del horizonte sedimentario B (Figuras 6.6 y 8.6).

El techo del nivel ha sido fechado en 5070-4940 cal ANE y la base en 6606-6443 cal ANE, por lo que el evento sedimentario podría contener materiales de un intervalo de unos 1500 años de duración, entre 8,5 y 7 ka cal BP (Tabla 14.6).

Más allá del claro descenso en la concentración de fitolitos en el sedimento, respecto a las muestras anteriores (Figuras 7.12 y 8.6), así como la elevada disolución de las muestras AS2\_13 y AS2\_14 (figura 14.11), las mayores diferencias observadas se encuentran en la distribución relativa de morfotipos (Figura 7.14, Tabla 14.12).

Por un lado, las muestras AS2\_12 y AS2\_13 son muy similares entre sí, por lo que podrían perfectamente corresponderse con un mismo tipo de paisaje. Aparentemente mucho más próximo al actual que el de las muestras del paleosuelo A2, según la semejanza observada (Figura 7.15).

Por su parte, las muestras antracológicas del mismo horizonte B son coherentes con un paisaje forestal potencial del Holoceno antiguo, dominado por el pino (*Pinus sylvestris* o *Pinus mugo ssp. uncinata*), pero con una presencia significativa de algunas dicotiledóneas arbóreas, especialmente de la familia *Betulaceae* (*Betula pendula* y *Coryus aellana*). En estos



momentos no se registran aún carbones de *Abies*, que, sin embargo, presenta porcentajes cercanos al 20% en las muestras polínicas (Figura 5.18). La distribución de especies documentada podría ser indicativa de algún impacto muy sutil, al aparecer el taxón *Juniperus*, que podemos asociar a un cierto aclarado del bosque. Aunque, como indican los fitolitos, no podríamos hablar en este momento de una antropización clara del paisaje en el entorno del sondeo, como la que si apuntamos para el siguiente estrato A2-base (AS2\_11b).

La muestra superior (B1), presenta una importante concentración de carbones sedimentarios, inferior a los horizontes A1 y A2, pero similar a la base del suelo actual (O3-O4) (Figura 5.17). De hecho, habría que destacar que el porcentaje de microcarbones es el más elevado de todo el perfil, lo que sería indicativo de una presencia importante de fuegos en la zona o en su entorno. Estos datos podrían estar apuntando a momentos iniciales de apertura del bosque, asociados a la primera ocupación del valle por sociedades agroganaderas.

Por otra parte, los análisis químicos del perfil de suelo estudiado, señalan que, justamente, la muestra procedente del estrato B1 (M4), que se corresponde con las 3 muestras de fitolitos del mismo horizonte estratigráfico, presenta una concentración de fósforo que, prácticamente, dobla a la obtenida del suelo actual. Por su parte la concentración de materia orgánica (MO) en B1 prácticamente iguala a la de la base del suelo actual (Figura 5.18).

Un alto contenido en fósforo y materia orgánica, la presencia de esporas de hongos coprófagos y un elevado contenido de microcarbones, son tres indicadores que apuntan a un impacto antrópico en B1. Una presencia mínima (>1%) de polen de cereal en la muestra AS2\_12B, sería un cuarto indicador a tener presente (Rodríguez-Antón, et al., 2018).

Hacia la base del estrato (B2), extraímos la muestra de fitolitos AS2\_14, que procede de la base del estrato (B-base) (Figura 8.6), que ha sido fechado a partir de un carbón de *Pinus sp.* en 6606-6443 cal ANE. Ésta muestra (AS2\_14) presenta unos porcentajes muy elevados de fitolitos de *C<sub>3</sub>Pooideae* (57%), junto a un número escasísimo de fitolitos atribuibles a coníferas o dicotiledóneas, de los que el grupo más destacado serían las SPHEROID, con apenas un 3%. Estos resultados apuntarían a un descenso marcado del bosque en una cronología, relativamente cercana al cambio de periodo, el 8,2 cal BP, hipótesis que veremos si el resto de resultados paleoambientales permiten validar o refutar (González-Sampériz et al., 2009, 2017 y 2019; Walker et al., 2012 y 2018).

Si la comparamos con la muestra de carbones sedimentarios (Figura 5.17), procedente del mismo estrato (B2), ésta también presenta porcentajes bajos. La distribución estadística de

los taxones no señala a ninguna especie arbustiva, por lo que no tenemos ningún elemento que indique un impacto antrópico en el paisaje, o una deforestación por acción del fuego. No obstante, el cambio súbito observado en el valor ITP (0,3) de fitolitos en la muestra AS2\_14, apuntaría a una apertura del bosque.

### 8.2.2.5 NIVEL C. HORIZONTE INORGÁNICO TIPO C

---

#### *Holoceno antiguo*

Han sido analizadas 3 muestras del horizonte C, inorgánico, localizado en la base del perfil, y por tanto, anterior a 6606-6443 cal ANE. Se trataría, por lo tanto, de un paquete sedimentario que podríamos situar en el Holoceno antiguo (c. 10 - 8,5 cal ANE).

Aunque presentan algunas pequeñas diferencias entre sí, podríamos confirmar que las 3 muestras estudiadas son coherentes con un mismo paisaje, ya que la distribución de morfotipos a nivel cuantitativo es muy similar entre ellas (Figuras 7.19 y 7.21).

En general podrían estar reflejando un paisaje algo más abierto que al actual, al documentarse un porcentaje algo más elevado de fitolitos de *C<sub>3</sub>Pooideae* (45,5%), pero siempre compensado por porcentajes constantes y significativos de dicotiledóneas y coníferas, que alcanzan el 20% en las muestras AS2\_16 y AS2\_17, por lo que, en todos los casos, pensamos que reflejan el paisaje forestal potencial, característico del Holoceno antiguo.

Como hemos expuesto, anteriormente, a nivel morfológico cuantitativo y de concentración de fitolitos, se trata de un estrato comparable con el horizonte C del sondeo de Pleta d'Erdo-AS 1, aunque en este caso el porcentaje de fitolitos de dicotiledóneas y coníferas es muy superior, en relación a las *C<sub>3</sub>Pooideae*, si comparamos ambos grupos de muestras (Figuras 7.16 y 7.21). Lo que sería, *a priori*, indicativo de un paisaje más forestal en el fondo del valle, respecto a la Pleta d'Erdo, donde el paisaje podría ser más característico de una pradera alpina, especialmente en la muestra (AS1\_5). Estos resultados podrían ser indicativos de variaciones, posiblemente climáticas, del paisaje en torno al límite superior del bosque, que habría podido oscilar a lo largo del Holoceno (Carnelli, 2002; Cunill, 2010).

## 9. DISCUSIÓN

---

### ***Ocupación, impacto humano y paisajes sociales***

Integración de resultados de la tesis en el marco del programa de investigación.

Conclusiones sociales y ambientales para nuestro caso de estudio.

Al inicio de esta tesis doctoral nos planteamos la intención de abordar los objetivos de la investigación partiendo de un enfoque teórico y una aproximación metodológica, basada en tres puntos de partida:

- 1) Indagar sobre la relación existente entre el medio ambiente y la sociedad en la prehistoria.
- 2) Entender los sedimentos como un repositorio fundamental de la información social y ambiental del pasado, desde una arqueología que va más allá del objeto o de la cultura.
- 3) Probar el análisis de fitolitos como una herramienta metodológica útil para abordar una arqueología ecológica, social y del territorio.

El primer objetivo metodológico era abordar una arqueología de los sedimentos, que entiende éstos en tanto contenedores de información, que es tan ambiental como social, evitando encasillar o limitar la arqueología a una técnica (arqueobotánica) o a un determinado enfoque (ecológico social).

A este fin y desde esta premisa teórica, hemos desarrollado en este trabajo un programa de investigación que ha ido más allá del yacimiento arqueológico, del sitio y del contexto, y ha tratado de abordar, con las mismas herramientas metodológicas (en este caso el análisis de los fitolitos) una problemática social del paisaje y del territorio.

Hemos integrado el análisis de los fitolitos desde el interior de los abrigo, hasta el exterior, incluyendo el entorno del yacimiento, como área de explotación potencial del medio ambiente, por parte de las sociedades agroganaderas prehistóricas.

A la vista de los resultados obtenidos, debemos ser capaces de valorar el programa de investigación que hemos diseñado y aplicado en esta tesis doctoral. Comenzaremos por los elementos más satisfactorios.

En definitiva, los resultados aquí discutidos ponen en valor la metodología empleada ya que, gracias al análisis de fitolitos, como herramienta para el análisis social y ambiental de los sedimentos, hemos podido validar el propio método en contextos arqueológicos y geológicos de alta montaña.

El análisis cuantitativo nos ha permitido distinguir las diferencias morfológicas en los conjuntos de fitolitos analizados. A partir de este enfoque cuantitativo (Albert y Weiner, 2001; Albert et al., 2003), los resultados obtenidos nos han permitido distinguir actividades, como el uso del fuego, tanto en el interior como en el exterior de la Cova del Sardo, así como en zonas relativamente alejadas, como el Planell d'Aigüestortes.

El uso del análisis de componentes principales (PCA) (Figuras 7.6 y 7.17) para la generación de un índice de tipos principales (ITP) (Figuras 7.8, 7.11 y 14.2), no inductivo, sino basado en los resultados empíricos cuantificados, ha sido una herramienta estadística muy útil en el análisis cuantitativo de las muestras, pues nos ha permitido reconocer fácilmente, y desde una aproximación empírica, entre sedimentos producidos por la actividad humana de otros más naturales o menos alterados. Evidentemente, hemos valorado otras aproximaciones cuantitativas independientes a la hora de entender la formación de las muestras, como la concentración de fitolitos y otros biorestos presentes. De hecho, la estimación de la concentración de fitolitos en los sedimentos y su análisis estadístico cuantitativo también ha resultado una herramienta muy necesaria para validar los resultados morfológico-cuantitativos (Figuras 7.11 y 7.22).

A tenor de los resultados, creemos que el diseño de la investigación no era, en absoluto, desacertado, puesto que el análisis de fitolitos se ha mostrado una herramienta sumamente útil a la hora de aportar información, tanto arqueológica como ambiental, al estudio de los sedimentos, también, en zonas de alta montaña. Tanto en los espacios de hábitat y consumo, como en las zonas potencialmente explotadas del entorno del yacimiento, los fitolitos han aportado información sobre la formación de los depósitos sedimentarios, el uso de las plantas y la modificación del medio ambiente por la acción humana.

## 9.1 ESPACIOS DE HÁBITAT Y CONSUMO

---

### *Cova del Sardo de Boí*

A partir del estudio de la concentración y de la composición morfológica de los conjuntos de fitolitos observados en los sedimentos, hemos podido distinguir contextos de ocupación y de abandono de la Cova del Sardo y del Abric de les Obagues de Ratera. También hemos analizado áreas de uso del fuego, suelos de ocupación y estructuras de habitación, siempre, integrando los resultados del análisis de fitolitos en el análisis arqueológico del yacimiento y de cada uno de los estratos analizados (Figuras 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4).

Los análisis de fitolitos, en este caso han resultado una herramienta útil para abordar y ofrecer respuestas a algunos problemas arqueológicos, previamente planteados, como la delimitación de las áreas de combustión y el tipo de recursos vegetales empleados en los yacimientos. El análisis de fitolitos ha permitido documentar el uso de plantas monocotiledóneas, generalmente no leñosas que, generalmente, no dejan evidencia antracológica de su consumo.

Además, en el estudio de la Cova del Sardo, los fitolitos nos han permitido conocer mejor las pautas de gestión del abrigo, sus usos, dentro y fuera de la cavidad y la temporalidad y recurrencia de las ocupaciones, así como la gestión de las plantas, como recurso utilizado en diferentes usos (combustible, cocina, material constructivo, etc.).

No obstante, aunque hay algunos indicios arqueobotánicos y polínicos (Gassiot et al., 2012), los fitolitos analizados no indican el procesamiento de cereales u otras plantas domesticadas. Por lo tanto, no han sido detectadas actividades de producción, consumo o procesamiento de plantas domésticas, como cereales, en la Cova del Sardo, ni tampoco en el Planell d'Aigüestortes, durante el Neolítico.

El análisis de fitolitos en la Cova del Sardo también se ha mostrado una herramienta útil para definir la vida de algunas estructuras y evidenciar la reutilización del sitio, y la existencia de momentos de ocupación y de abandono de la cavidad, en diferentes periodos.

La funcionalidad de algunas posibles estructuras también ha sido abordada, observándose la utilidad del análisis de fitolitos para delimitar estructuras que habían sido documentadas arqueológicamente, como empalizadas (A-6A1, 4A1), pero cuyos límites eran difusos en la estratigrafía de la terraza de los abrigos. En la Cova del Sardo, los fitolitos nos han permitido definir el suelo interno y externo de esta estructura (A-6A1) y confirmar la hipótesis de que seguramente se trataba de una empalizada que adosaba a la cornisa este, ampliando el espacio del abrigo hacia la terraza.

El uso y reutilización de la gran estructura de combustión (A-8A4) de la terraza inferior ha sido confirmado mediante el análisis de fitolitos, observándose diferentes momentos de uso y abandono de la estructura, y validando así su diacronía.

En definitiva, el análisis de fitolitos, especialmente en la Cova del Sardo, ha sido una herramienta útil al estudio arqueológico de las ocupaciones neolíticas en el abrigo y en la terraza del yacimiento, aportando información novedosa o complementaria a la ya disponible (Gassiot, 2011; Gassiot et al., 2015 y Mazzucco et al., 2019).

Pero, además, el análisis de fitolitos nos ha permitido poner en relación la Cova del Sardo con su entorno, ya que algunas de las muestras de sedimentos neolíticos estudiados (CdS 1 y CdS 26), presentan características morfológico-cuantitativas muy similares a las muestras procedentes del Paleosuelo A2 (AS2\_10b y AS2\_11b), también fechado en el Holoceno medio (Figuras 14.1 y 14.2). Todas ellas podrían estar reflejando algunas actividades análogas, que implicarían el uso del fuego en la gestión ambiental del entorno del yacimiento. Algo que también apuntarían otros análisis independientes de los fitolitos, como los carbones (Figuras 3.10 (c) y 5.17) y los análisis polínicos de la Cova del Sardo y del Forcall de Sant Esperit – AS 2 (Figuras 3.12 y 5.18).

## 9.2 ÁREAS DE PRODUCCIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL

---

### *La zona de Aigüestortes*

El estudio de una secuencia temporal larga, mediante el uso de los perfiles sedimentarios obtenidos en sondeos, va más allá de la búsqueda de información para un solo periodo histórico. De hecho, es una metodología que nos ha permitido testar, al menos en dos contextos diferentes dentro del piso subalpino, la sedimentación de los fitolitos en depósitos aluviales de alta montaña. El resultado es, francamente, muy prometedor, especialmente, en zonas de fondo de valle. Ya que el sondeo del Forcall de Sant Esperit – AS 2 ha permitido localizar evidencias claras de ocupación humana y alteración del paisaje en el Holoceno medio, durante las ocupaciones neolíticas antiguas de la Cova del Sardo y del Planell d'Aigüestortes (7,5 – 6,4 ka cal BP).

Este resultado, es, en sí mismo una validación del método empleado, pues efectivamente, vemos que los depósitos sedimentarios aluviales pueden contener, también en zonas de alta montaña, paleosuelos de formación antrópica del Holoceno medio. Los cuales serían comparables con otros que han sido detectados, en otros medioambientes, como, por ejemplo, el curso medio del valle del Ródano, en los Alpes occidentales (Delhon et al., 2009; Berger et al., 2016).

En este sentido, los resultados aquí presentados, indican que la causa más probable de la generación del Paleosuelo AS 2 (Figura 6.6), es antrópica, y podría deberse a diversas actividades realizadas en la zona de Aigüestortes, que implicaban, necesariamente, el uso del fuego, como herramienta para modificar el bosque subalpino, generando paisajes más abiertos, en el entorno fluvial del río Sant Nicolau.

Los análisis de fitolitos realizados nos permiten descartar el uso agrícola del suelo, como campos de cultivo de cereales. Los resultados del análisis de fitolitos no son del todo concluyentes, pero serían coherentes con un uso ganadero, dado el aumento en la concentración de fitolitos en el paleosuelo AS 2. Este aumento en la concentración de fitolitos en pastizales ha sido documentado en otros casos de estudio, como los Alpes (Carnelli, 2002).

Otra característica particular de los fitolitos del paleosuelo AS 2 es el aumento de un morfotipo producidos por plantas monocotiledóneas (ELONGATE ENTIRE), pero no necesariamente por las comunes *C<sub>3</sub>Pooideae* que definen las praderas subalpinas potenciales, cuyos morfotipos más característicos (CRENATE, TRAPEZOID y RONDEL) decaen en este estrato (Figura 7.14, Tabla 14.12). El mantenimiento de los porcentajes habituales del morfotipo más diagnóstico de las plantas dicotiledóneas y coníferas en el caso de estudio, las SPHEROID, nos permite apuntar a un más que probable mantenimiento de la cobertura arbolada en la zona.

Este tipo de paisaje social ha sido propuesto en otros contextos neolíticos de media montaña del Valle del Ródano. Paisajes forestales alterados mediante el uso del fuego y la actividad ganadera, pero con un mantenimiento de la cobertura arbórea (Delhon et al., 2009).

Si comparamos los resultados del análisis de fitolitos con las otras analíticas realizadas en el marco del diseño del programa de investigación de esta tesis (Figura 6.6), vemos que hay diversos indicadores que nos permiten reforzar y complementar esta hipótesis.

Por un lado, el polen muestra un leve impacto antrópico (Figura 7.17), mayor en la Cova del Sardo (Figura 3.12), con un aumento de las *Poaceae*, y un descenso relativo del polen arbóreo. Estos valores no se corresponderían con una gran deforestación, pero sí con un aclarado del bosque. Por otro lado, los carbones sedimentarios indican un incremento del porcentaje de microcarbones en el sedimento del paleosuelo A2 (Figura 5.17).

Los análisis químicos muestran un aumento de la materia orgánica y del fósforo (Figura 5.19) y los polínicos detectan un gran número de hongos coprófagos (Figura 5.18).

Todos los indicadores analizados (fitolitos, polen, materia orgánica, carbones, microcarbones, etc.) apuntan a una, más que probable, formación antrópica del paleosuelo A2, fechado en cronologías del Neolítico antiguo (6,9 – 7, 2 ka cal BP) (Tabla 14.6).

Nuestra conclusión, es que el análisis de fitolitos ha resultado una aproximación muy útil a la hora de complementar el tipo de uso del suelo, al descartar su uso agrícola y apuntar más a un uso, muy probablemente, ganadero. Además, la semejanza entre la composición morfológica de fitolitos del paleosuelo AS 2 y algunos sedimentos neolíticos de la Cova del Sardo, permiten reforzar la tesis de una formación antrópica del paleosuelo.



### 9.3 EL PAISAJE COMO PRODUCTO ECOLÓGICO SOCIAL

---

#### *Una reflexión teórica y metodológica*

Una última línea de desarrollo epistemológico y metodológico futuros, que aborda esta tesis, sería la necesidad de definir mejor, a nivel práctico, el tipo de contextos sedimentarios que la arqueología considera susceptibles de estudio, frente a los que consideran otras disciplinas, como la paleoclimatología, la geología o la geografía. En realidad, cualquier depósito sedimentario puede estudiarse desde diferentes enfoques, pero siempre es posible integrarlo en la explicación del poblamiento humano en un territorio desde que ha sido habitado. Este hecho nos lleva a replantear la necesidad de hacer una arqueología del paisaje que incorpore el estudio del exterior de los yacimientos (su entorno medio ambiental), en los programas de investigación. De igual manera que se entiende la necesidad de excavar e interpretar, con metodología arqueológica los asentamientos en toda su extensión, no solo en las zonas de hábitat, sino también en las de procesamiento, producción y consumo. Pues, sin duda, una parte esencial de la producción se realiza fuera de los yacimientos, algo que ya ha sido abordado por innumerables trabajos en la arqueología del Neolítico de nuestro ámbito regional (Rius et al., 2009 y 2012; Antolín et al., 2014 y 2018; Kadowaki et al., 2015; Jacomet et al., 2016; Piqué et al., 2018; Mazzucco y Gibaja-Bao, 2018).

Una arqueología que busca la comprensión de las sociedades del pasado no debe limitarse a estudiar, por ejemplo, solo una parte del registro material, objetual o artefactual. De la misma manera que no debe limitarse a estudiar sólo el interior de las casas, donde generalmente se concentran más artefactos o evidencias de la vida social. Una arqueología integral, debe estudiar la ocupación humana, incluyendo el exterior de los espacios de hábitat, los recintos, los rediles, las terrazas, las áreas de cultivo, las zonas de pasto, los bosques y las áreas de caza o de avituallamiento de materias primas y productos. Para abordar ese objetivo, es necesaria otra arqueología, más allá del espacio limitante del sitio (el yacimiento). Por ello hemos analizado con el mismo interés el interior de los abrigos, su exterior y su entorno más cercano o sus territorios sociales, tratando de buscar indicios empíricos de esa gestión humana del espacio en la prehistoria.

## 10. CONCLUSIONES

---

### *Potencialidad del programa de investigación*

Discusión de los resultados potenciales del método de investigación en relación a los objetivos inicialmente planteados.

A continuación, vamos a exponer sintéticamente algunas conclusiones que se derivan, bien de los resultados obtenidos en esta tesis doctoral, o bien, de algunas de las reflexiones teóricas y metodológicas que hemos abordado.

En primer lugar, pensamos, que el estudio integral de los sedimentos debe ser incorporado, desde una perspectiva arqueambiental a los programas de investigación en arqueología. Pero no como una serie de análisis realizados, muchas veces de manera acumulativa o sumatoria en un registro sedimentario, sino de forma integrada y adaptada a los objetivos de cada caso de estudio desde el mismo diseño de la estrategia de muestreo.

La incorporación de los estudios pedológicos, micromorfológicos, físico-químicos y geológicos a los programas de investigación en arqueología es una necesidad, si queremos abordar la comprensión de la sociedad en su medio natural, más allá del sitio concreto, del lugar de hábitat, del poblado o del abrigo. Pero es un error plantearse estos estudios desde la geología o desde la geografía, pues ni las preguntas ni los enfoques metodológicos son los propios de la arqueología (Butzer, 1982). El diseño de la investigación geoarqueológica y bioarqueológica debe ser una parte más del muestreo en arqueología, desde las premisas de la propia investigación social e histórica (Buxó y Piqué, 2003 y 2008).

El análisis de fitolitos se ha mostrado un método ciertamente útil, en combinación con otros bioresos, como los carbones sedimentarios o el polen, a la hora de investigar la gestión de los recursos vegetales por las sociedades neolíticas en el valle de Sant Nicolau (Obea y Rodríguez-Antón, 2016).

Esta gestión de los recursos, en realidad, comprende tanto la producción y recolección de plantas, desde una dimensión alimentaria, como materia prima, fuente calorífica, o como parte potencialmente explotable del medio, dentro de una gestión ganadera de prados y bosques (Delhon et al., 2009; Piqué et al., 2018).

El análisis de fitolitos, también se ha mostrado una técnica útil, desde la arqueología, para abordar esta problemática a diferentes escalas (Albert et al., 2003). Tanto dentro de los abrigos, en torno a las áreas de combustión, consumo y ocupación, como marcador de espacios de ocupación, estructuras de combustión y áreas donde tuvieron lugar diferentes actividades productivas. Pero también en el exterior de los espacios de hábitat, donde se realizaban otras actividades complementarias de la vida social, al aire libre.

En otra escala, los fitolitos se han mostrado como un excelente marcador de cambios ambientales observados desde otros bioestros, con resultados diferentes, y no siempre equivalentes, pero si complementarios. Estos cambios ambientales que hemos podido documentar se relacionarían, a tenor de la interpretación argumentada y comparada con otros bioestros, esencialmente, a actividades socialmente productivas, de gestión ecológica del medio ambiente. El uso del fuego como generador de nuevos paisajes antropizados y la respuesta de las comunidades vegetales, observada en el registro sedimentario de fitolitos, son una línea de investigación abierta, y cargada de potencialidad.

El uso combinado, del análisis de carbones y polen con los fitolitos, ambos desde aproximaciones cuantitativas y taxonómicas, es una línea de investigación realmente útil a la hora de validar o complementar los resultados en la interpretación de los depósitos sedimentarios, tanto en áreas de actividad social, como en paisajes más o menos impactados por estas prácticas productivas.

Entre las actividades que hemos podido documentar y que se desprenden de nuestros resultados estaría la modificación del bosque mediante el uso del fuego, durante el Neolítico antiguo. Algo que ya ha sido documentado en otros contextos de montaña de los Pirineos y los Alpes occidentales (Galop et al., 2003; Delhon et al., 2009; Rius et al., 2012).

El clareado o la limpieza del bosque genera áreas forestales más abiertas, donde el ganado puede pastar, especialmente, en el entorno de cursos fluviales y planicies aluviales como el Planell d'Aigüestortes.

En nuestra opinión, los diversos resultados obtenidos del estudio del paleosuelo documentado en el Forcall de Sant Esperit – AS2, son coherentes con actividades de quema y de un uso de la planicie aluvial como zona de pasto para el ganado doméstico. No obstante,

los prometedores indicios presentados, deberían ser contrastados por un programa de muestreo ampliado, que incluyera el estudio de nuevos perfiles desde nuevos enfoques metodológicos, para poder entender mejor el desarrollo diacrónico de estas prácticas productivas.

En este caso, deducimos de nuestros resultados un uso recurrente del fuego para generar espacios de pasto en la zona (Figura 7.17), pero que, en ningún caso habría implicado la desaparición del bosque, si no, más bien, su alteración, como apuntarían los resultados del análisis de fitolitos, donde se observa una sustitución de las especies potenciales de gramíneas por otras plantas monocotiledóneas. Este es un posible resultado del uso del suelo como zona de pasto recurrente. Lo que explicaría el considerable aumento en la concentración total de fitolitos en el sedimento (Figura 8.6, Tabla 14.11), junto a otros indicadores diagnósticos de ganadería (hongos coprófagos) (Figura 5.18), elevada concentración de fósforo y materia orgánica (Figura 5.19), así como de microcarbones en el sedimento (Figura 5.17).

En todo caso, las especies dominantes en el paisaje no solo cambian debido a las actividades humanas, ya que el clima ha sido otro factor determinante en la modificación de los paisajes en alta montaña, también durante el Holoceno (Catalan et al., 2013). Como indicarían los resultados de los análisis de carbones obtenidos del sondeo del Forcall de Sant Esperit – AS2 (Figura 5.16)

Hemos comenzado apuntándonos un relativo éxito en el diseño de la investigación aplicado en esta tesis, que nos ha permitido el reconocimiento de una realidad social fuera de los yacimientos, que se plasma en la ocupación del territorio y en la gestión ambiental de los recursos explotados y producidos. Ese impacto en el medio ha sido probado, cuantificado y analizado desde un enfoque multidisciplinar que ha incluido, por primera vez, el análisis de fitolitos en medios de alta montaña en los Pirineos.

Ahora, es justo reconocer también las limitaciones de nuestro trabajo. No hemos logrado, con el estudio de dos yacimientos y dos sondeos, llegar a localizar las diferentes áreas de producción social que debieron caracterizar las sociedades que ocuparon Aigüestortes durante el Neolítico. No hemos podido localizar ni los campos de cultivo, ni los poblados al aire libre, si los hubo.

Nos hemos tenido que limitar a poder afirmar que, efectivamente, las sociedades prehistóricas intervinieron en el paisaje, que utilizaban el fuego de forma recurrente en el

entorno del fondo del valle para modelar el paisaje forestal, obteniendo zonas aclaradas, de pasto, óptimas para su uso ganadero y, eventualmente, también agrícola.

Los resultados obtenidos señalan a un mantenimiento del bosque en el entorno de los yacimientos y las áreas de ocupación, no a una deforestación activa. Sin embargo, el bosque fue transformado de forma consciente por las comunidades agroganaderas neolíticas, de cara a su explotación como zona de pasto para el ganado y la provisión de madera y otros recursos vegetales, como frutos, hierbas o materias primas (Delhon et al., 2009; Piqué, et al., 2018).

Pensamos que, esta falta relativa de éxito, no es fruto de un diseño erróneo del programa de investigación o de un enfoque insuficiente en el estudio multidisciplinar de los sedimentos, o en la técnica de muestreo empleada en los sondeos. Pensamos que el problema es de prospección. O, mejor dicho, de una falta de prospección sedimentaria suficiente en el contexto del área de estudio. Un valle de 65 km<sup>2</sup> no puede abordarse únicamente desde la investigación de 2 perfiles sedimentarios. Esta limitación la asumimos, plenamente, y sin disculpa ninguna. Hay una falta de desarrollo del método propuesto hacia una prospección sistemática más intensiva del área de estudio.

No obstante, esta tesis nos aporta varias pistas útiles, para la corrección futura de esa falta de recogida de información. Y sobre cómo y donde podrían focalizarse los esfuerzos de un nuevo programa de investigación que tratase de lograr los objetivos que no ha conseguido la presente tesis.

La realización de catas de 1 m<sup>2</sup> a lo largo de una zona de especial protección medio ambiental, como es el área nuclear del PNAESM, no parece la aproximación metodológica óptima para la conservación del medio y del paisaje sin alterarlo. Una posibilidad interesante sería trabajar con sondas mecánicas capaces de perforar y tomar pequeños tubos de muestras sedimentarias, en forma de columnas, donde testar la potencialidad de cada suelo, antes de realizar catas de sedimento de 1m<sup>2</sup>. Una vez localizados, gracias a las sondas, los lugares de mayor interés, las catas podrían realizarse con la metodología expuesta en el diseño del programa de investigación (Figura 5.4).

La inclusión de los medios altimontano y basal al programa de muestreo también sería muy útil, de cara a modelizar íntegramente un sistema de producción que debía incluir, seguramente, desde el piso alpino, hasta el basal; desde los fondos de valle más amplios como el Valle de Aran o el de Boí, hasta las zonas más elevadas, en el piso alpino.

Otro resultado interesante, respecta a la concentración de fitolitos en el sedimento en alta montaña. Hemos detectado un descenso en la concentración estimada en los sedimentos, tanto en muestras de contextos de hábitat como del entorno de los yacimientos, en función de la altura. Hemos cuantificado que la concentración de fitolitos en los sedimentos de las zonas cercanas al límite superior del bosque, en el piso subalpino superior (2200 – 2400 m snm), sería aproximadamente de un 10%, en relación a los fondos de valle del piso subalpino inferior (1700 – 1900 m snm). Apenas 500 m de altitud podrían condicionar un descenso muy marcado de los fitolitos presentes en el sedimento, por lo que de usarse este bioresto sedimentario en proyectos futuros habría que valorar su concentración en zonas situadas por encima de los 2000 m snm, como un factor determinante o limitante del método de análisis utilizado. Esta tendencia a concentraciones cada vez menores de fitolitos en función de la altura ya ha sido observada y teorizada en otros casos de estudio, como los Alpes occidentales (Carnelli, 2002) o los Montes Himalaya (An, et al., 2015), y sería debida, por lo tanto, a factores topográficos y bioclimáticos, no antrópicos (Gao et al., 2018c).

Otra línea de investigación futura, que creemos que sería muy útil al desarrollo del uso de los fitolitos, como herramienta metodológica en la arqueología en la cordillera, sería la realización de una colección de fitolitos en plantas de montaña de los Pirineos, que nos permita realizar análisis de morfometría detallados, de cara poder afinar la interpretación y el número de morfotipos clasificados y su asignación taxonómica más precisa. Esta, ha sido otra de las limitaciones que aqueja esta tesis.

Si fuera posible distinguir algunas familias de plantas características de la alta montaña pirenaica, a partir de su producción de fitolitos, podríamos abordar mejor la interpretación taxonómica de los fitolitos sedimentarios, como se ha realizado en otros casos de estudio (Alber, 2000; Carnelli, 2002; Esteban, et al., 2017a; Gao et al., 2018a; Lisztes-Szabó et al., 2019).

En conclusión, pensamos que esta tesis doctoral ha explorado un camino novedoso en la arqueología de zonas de montaña, como es la incorporación del análisis de los sedimentos del interior y del exterior de los yacimientos, incorporando el estudio de los fitolitos como registro de la huella que la gestión humana de las plantas deja en las áreas de habitación y de producción, generando paisajes sociales.

# 11. GLOSARIO

---

**Antropización:** Proceso de modificación del medio ambiente por acción humana.

**Antropoceno:** Periodo informal que se define por la influencia de la acción humana en la configuración del paisaje terrestre y sus ecosistemas (Gibbard y Walker 2014). La afectación por la actividad económica humana incluye toda la biosfera, la atmósfera, los océanos y el clima planetario, teniendo un alcance global a nivel bioclimático, al menos desde la Revolución Industrial en torno al 1800 DNE (Steffen et al., 2007; Dearing et al., 2015).

**Alpino** (*Piso bioclimático altitudinal*): Piso geobotánico característico de la Biorregión Eurosiberiana. Concretamente en los Pirineos se sitúa entre los 2200/2400 y los 2700/2900 m snm. Se caracteriza por un clima oceánico hiperhúmedo (precipitaciones generalmente superiores a 1400 mm anuales) y frío (inferior a 3 C<sup>º</sup> de temperatura media anual y a -8 C<sup>º</sup> el mes más frío). Su ciclo estacional se basa en un periodo caracterizado por las precipitaciones sólidas y la acumulación de nieve, en invierno/primavera, y otro de deshielo, más seco, en verano/otoño. Entre noviembre y mayo las precipitaciones suelen producirse en forma nieve. Las temperaturas, aunque muy variables, suelen oscilar entre los 5 y -15 C<sup>º</sup> en los meses de invierno y entre los 0 y 25 C<sup>º</sup>, en verano, en función de la altura, insolación y situación geográfica de cada zona. A nivel geobotánico, los paisajes alpinos se caracterizan por presentar formaciones vegetales de tipo boreal estépico, con dominio de plantas herbáceas (*Festuca*, *Nardus*, *Carex*, *Artemisia*, etc.) y presencia de matorrales o arbustos (*Junniperus*, *Rhododendrum*, *Vaccinium*, etc.). Aunque este piso se encuentra sobre el límite superior del bosque *timberline*, pueden encontrarse bosquejos abiertos de Pino negro (*Pinus mugo*), en vertientes favorables, en su límite inferior (2200 – 2400 m snm) y algunas plantas leñosas, más o menos aisladas, en diferentes alturas (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007, Cañellas-Boltá et al., 2009).

**Altimontano** (*Piso bioclimático altitudinal*): Piso geobotánico de la Región Eurosiberiana. En los Pirineos se sitúa entre los 900/1100 y los 1600 / 1800 m snm. Se caracteriza por presentar unas condiciones bioclimáticas oceánicas, con pluviometrías situadas entre 1400 y 900 mm anuales. Las heladas son frecuentes entre noviembre y abril, periodo de mayor pluviometría y cuando suelen producirse precipitaciones en forma sólida. Las temperaturas medias anuales suelen situarse entre

6 y 9 Cº, con temperaturas situadas entre -4 y 0 Cº el mes más frío. Se caracterizan por el desarrollo de bosques mixtos con dominio de las coníferas, sobre todo de pinares albares (*Pinus sylvestris*) con presencia de algunas caducifolias (*Betulas pendula*, *Corylus avellana*, *Texas baccata*, *Salix pirenaica*, *Sorbus aucuparia*, etc.). En zonas de umbría y fondo de valle pueden desarrollarse abetales (*Albies alba*) hayedos (*Fagus sylvatica*) y robledales caducifolios (*Quercus pyrenaica*) (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007).

**Atlántico** (Periodo paleoclimático): Periodo cálido que tuvo lugar entre 8 y 5,3 ka cal BP. Se asocia, en el hemisferio norte, con el máximo desarrollo del clima templado oceánico y los bosques de caducifolias. Ocupa la mayor parte del periodo Norgripiense, u Holoceno medio (8,2 - 4,2 ka cal BP) (Walker et al., 2012 y 2018).

(Región bioclimática): Zona bioclimática que comprende el área más occidental de la región medio-europea. Se caracteriza por climas húmedos o hiperhúmedos templados, de baja continentalidad (Rivas-Martínez 2007).

**Biocenosis:** Conjunto de las diversas comunidades bióticas (vegetales, microbianas y faunísticas) que habitan en cada ecosistema. Entendemos por biocenosis a todas las comunidades de seres vivos y sus relaciones entre ellas y con el medio abiótico.

**Bioclimatología** (Fitoclimatología): Ciencia ecológica que estudia la reciprocidad entre el clima, los territorios geográficos y la distribución de los seres vivos terrestres, y particularmente de las formaciones vegetales. A partir de esta síntesis se distinguen actualmente 5 zonas bioclimáticas terrestres principales, determinados a partir de las regiones latitudinales: Polar, Boreal, Templada, Mediterránea y Tropical (Rivas-Martínez 2007).

**Biogeografía:** Ciencia que estudia la distribución de las comunidades de seres vivos en la tierra, en función de las condiciones orográficas, climáticas y medio ambientales, que las condicionan.

**Bioma:** Formación biogeográfica de extensión planetaria, junto con todos los sistemas bióticos y abióticos que le son propios. Vienen definidos principalmente por variables climáticas, marcadas por límites térmicos e hídricos. Pueden ser terrestres o acuáticos.



**Biomasa:** Peso de todos los seres vivos (animales, plantas, hongos, etc.) que conforman un medio biogeográfico.

**Biosfera:** Sistema material formado por el conjunto de los seres vivos propios del planeta Tierra, junto con el medio físico que les rodea. Opera conformando cada ecosistema en un espacio geográfico, mediante la relación dinámica que se establece entre el medio biótico y el abiótico (biocenosis). En ella se desarrollan las diversas comunidades bióticas (vegetales, microbianas y faunísticas) propias de ese ecosistema.

**Biotopo:** Espacio físico donde se desarrolla un determinado ecosistema.

**Bond (Ciclos climáticos):** Eventos climáticos más fríos y áridos de lo normal, que se producen con una regularidad estimada en 1,5 ka, aproximadamente, y una duración aproximada de 300-400 años, durante el actual periodo interglacial Holoceno. El último ciclo Bond se asocia a la Pequeña Edad del Hielo (1450-1850 DNE) (Bond et al., 1997, Pèlachs et al., 2011, Wanner et al., 2011).

**Böwling / Alleröd (Fase paleoclimática):** Fase templada y húmeda del Tardiglacial, que favorece la deglaciación progresiva de los glaciares alpinos en Europa, generándose la primera gran expansión forestal tras el último máximo glacial (LGM), entre 14,7 y 12,6 ka cal BP, definiéndose un evento más frío y seco intermedio, denominado Older Dryas, hace 14 ka cal BP (Rivera-Arrizabalaga 2004, Estévez 2005).

**Boreal (Periodo paleoclimático):** Fase húmeda y suave del Holoceno antiguo que tuvo lugar entre 9,8 y 8 ka Cal. BP, que se caracterizó por una progresiva mejoría climática y la terminación del retroceso del indlansis ártico iniciado en el Tardiglacial, alcanzándose temperaturas similares a las actuales. El periodo concluyó con un corto episodio de enfriamiento (200 – 300 años) denominado 8,2 ka BP Could Event, que precede al periodo Atlántico, inmediatamente posterior (Estévez 2005).

(Región bioclimática): Macrorregión bioclimática localizada entre los bioclimas templado y polar, característica del tercio norte de Eurasia y Norteamérica. Se define por un clima frío y continental. Se caracteriza por el desarrollo de extensos bosques boreales de coníferas y Taigás. Al sur de la ecorregión pueden desarrollarse bosques mixtos con caducifolias, y al norte áreas estépicas cubiertas de matorrales de ericáceas. Suelen formarse suelos húmicos (*podzoles*) y, en las zonas más frías, suelos permanentemente helados (*permaforst*) (Rivas-Martínez et al., 2011).

**Boreoalpino** (Bioclima): microrregión bioclimática característica de los pisos superiores (*Alpino y subalpino*) de las montañas alpinas europeas. Se caracteriza por una vegetación de tipo boreal húmedo, adaptada a una elevada pluviometría (entre 1000 y 2000 mm anuales) y bajas temperaturas en invierno (entre -12 y -6 Cº el mes más frío) (Rivas-Martínez et al., 2011).

**Brezal** (*Landas*): formaciones vegetales arbustivas compuestas por matorrales de la familia de las ericáceas (*Erica, Calluna, Rhodeodendron*). En zonas de montaña de la ecorregión alpino-pirenaica son indicativas de la degradación del bosque por procesos de antropización del paisaje (Rivas-Martínez 2007, Ninot y Ferrè 2008).

**Calcolítico/a**: a) sociedades de la prehistoria reciente europea, mayoritariamente tribales o de jefatura, caracterizados por la aparición de la metalurgia del cobre y el desarrollo incipiente de estructuras jerarquizadas no estatales. En Europa occidental el periodo se circunscribe a una cronología de aproximadamente un milenio de duración, entre 5,3 – 4,3 ka cal BP, aproximadamente y se asocia con movimientos de poblaciones. b) Conjuntos materiales arqueológicos característicos de dichas sociedades.

**Clima**: Promedio estadístico en una escala temporal larga (más de 30 años) del tiempo atmosférico en un espacio biogeográfico determinado. Ciertos umbrales de precipitación y temperatura, desarrollados a nivel estacional, marcan la existencia de diversos bioclimas, que caracterizarán unas u otras formaciones vegetales típicas (Rivas-Martínez 2007).

**Cultura**: Conjunto de modos de vida, conocimientos y grado de desarrollo tecnológico, científico, económico e industrial, de un grupo social, en una época concreta. Es la experiencia acumulada por la sociedad en forma de información, que es aprendida, transmitida y aplicada en las estrategias de producción económicas y en la reproducción de la vida social en su conjunto.

**Dansgaard-Oeschger** (Ciclos): Fases globales de brusco calentamiento climático, y deglaciación, de entre 1,5 y 3 ka de duración, que tienen lugar durante los ciclos glaciales, y que suceden generalmente a los eventos fríos *Heinrich*. Se suelen asociar con los interestadiales (Estévez 2005, Uriarte-Cantolla 2004, Rivera-Arrizabalaga 2004, Furundarena et al. 1998).

**Dialéctica:** Proceso lógico originado en la contraposición entre tesis y antítesis, que se ve superado por la síntesis, en cuanto unidad de contrarios (Engels 1876, Lenin 1915, Valverde 1979).

**Ecorregión:** Zona geográfica definida por una orografía, un clima y unos ecosistemas concretos, diferenciables de los de otras regiones limítrofes (Rivas-Martínez 2007).

**Edad del Bronce:** a) Periodo de la prehistoria reciente caracterizado en Europa occidental por el desarrollo de sociedades agroganaderas, generalmente de jefatura, con producción metalúrgica, intercambio de bienes de prestigio y especialización técnica. En Europa occidental el periodo se sitúa aproximadamente entre 4,2 y 3 ka cal BP (Castro et al. 1998; Richard et al., 2007). b) Conjunto de material arqueológico asociado a este periodo.

**Edad del Hierro:** a) Periodo protohistórico caracterizado en Europa occidental por el desarrollo de sociedades estatales o preestatales, con producción metalúrgica, redes comerciales y especialización tecnoeconómica. En Europa occidental el periodo se sitúa aproximadamente entre el final de la Edad del Bronce y la irrupción de las estructuras estatales, debidas habitualmente a procesos de expansión de los estados del mediterráneo occidental, *grosso modo*, en el transcurso del primer milenio antes de Cristo. b) Conjunto de material arqueológico asociado a este periodo.

**Equilibrio dinámico:** Teoría matemática expresada en ciertas ecuaciones no lineales que, aplicadas a los sistemas bióticos autoorganizados, expresan la dinámica que les rige. Así cuando un sistema dinámico pierde el equilibrio puede alcanzar un nuevo equilibrio diferente o salto de estado (*según* Butzer 1982).

**Ecosistema:** Sistema biótico en el que se integran tanto los componentes ambientales abióticos como los seres vivos que forman parte del mismo. Sistema en el que se reproducen e interrelacionan las diversas especies vivas dentro de un medioambiente.

**Ecotono:** zona de frontera ecosistémica, donde las comunidades bióticas se encuentran entre dos regiones medio ambientales distintas, sometidas a fuertes tensiones climáticas y medio ambientales.

**Estadial:** Fase climática glacial fría. Se relacionan con los ciclos Bond, de unos 7-10 ka de duración, y los eventos Heinrich, de 1,5 – 3 ka de duración. El último tuvo lugar entre 24,5 y 14,7 ka cal BP, con un máximo glacial entre 22,5 y 18,5 ka cal BP (Furendarena et al. 1998, Rivera-Arrizabalaga 2004, Estévez 2005).

**Estadios isotópicos marinos (OIS):** Periodos geológicos determinados por las mediciones isotópicas del Oxígeno-18 de conchas de los foraminíferos béticos fósiles marinos. Dada la sedimentación constante de estas conchas y dado que la proporción del O18 varía en función de la concentración de hielo continental y de la temperatura del agua oceánica profunda (Furendarena et al. 1998, Rivera-Arrizabalaga 2004, Estévez 2005).

**Entropía:** Parte no utilizable de la energía contenida en un sistema y, por tanto, medida de su equilibrio o desorden (Butzer 1982, Estévez 2005).

**Fitolito:** Bioresto microscópico de sílice (Si) procedente de la silicificación de la estructura celular de las plantas, generalmente de la epidermis de las plantas vasculares (Piperno 2006).

**Fitosociología (Sociología vegetal):** Disciplina de la geobotánica que estudia las series florísticas y asociaciones vegetales características de cada zona biogeográfica concreta (Rivas-Martínez 2007, Ninot et al., 2007).

**Geobotánica (Ecología vegetal):** Ciencia ecológica que estudia la reciprocidad entre la vida vegetal, sus asociaciones y la biosfera terrestre, a nivel climático y geográfico (Rivas-Martínez 2007).

**Glaciación:** Periodo climático frío y seco de entre 70 y 120 ka de duración, característico del Cuaternario (últimos 2,6 ma). Se distingue geológicamente por el desarrollo de formaciones glaciares de montaña y del indlansis boreal en el norte de la Tierra. Las glaciaciones, no obstante, están regidas por ciclos más cortos e irregulares de glaciación y deglaciación, denominados estadiales cuando son más fríos (ciclos Bond o Heinrich) e interestadiales cuando son más suaves (ciclos Dansgaard-Oeschger) (Uriarte-Cantolla 2004).

**Groenlandiense:** Periodo geológico equivalente al Holoceno antiguo (11,7 – 8,2 ka cal BP) (Walker et al., 2012 y 2018). Se caracteriza por un clima postglacial templado, aunque con importantes oscilaciones térmicas, que facilita la expansión de los bosques boreales y tropicales a nivel global, en paralelo al rápido retroceso del inlandsis ártico y la desaparición definitiva del finoescandinavo y del laurentiano (Estévez 2005, Walker et al., 2018).

**Holística:** Propiedad de los sistemas complejos, según la cual éstos no pueden explicarse a partir de sus partes, sino que requieren la integración de todas ellas en un mismo sistema. Hablamos de enfoque holístico para referirnos a una aproximación capaz de estudiar el sistema a partir de todas sus partes, de manera integrada.

**Holoceno:** Último periodo climático interglaciar que comenzó hace 11,7 ka cal BP y se discute si aún dura en la actualidad. Se define por un clima atemperado suave y relativamente estable, que ha favorecido el desarrollo de formaciones vegetales en la mayoría de los territorios emergidos. Durante este periodo se han mantenido helados los casquetes polar y antártico, reduciéndose el inlandsis que cubría durante el Pleistoceno el tercio norte de Eurasia y Norteamérica, a la isla de Groenlandia. A pesar de la estabilidad característica de este periodo, se aprecian algunas variaciones climáticas significativas, diferenciándose los periodos Groenlandiense (11,7 - 8,2 ka cal BP), Norgripiense (8,2 - 4,2 ka cal BP) y Megalayense (4,2 - 0,15 ka cal PB) (Estévez 2005, Bardají 2018, Walker et al., 2018). A partir del año 1800 DNA se considera el inicio del Antropoceno (Steffen et al., 2007).

**Industria:** Conjunto de procesos de trabajo y operaciones materiales que tienen como finalidad la obtención, el transporte y la transformación de las materias primas en productos. Por tanto, todo artefacto, en cuanto objeto socialmente producido, es resultado de una producción industrial, pasando a integrarse en la industria como medio de producción si es empleado como instrumento de trabajo. En caso contrario, cuando el artefacto es abandonado se trataría de un desecho industrial, que forma parte de un proceso de producción (Risch 2002, Mazzucco 2014).

**Interstadial:** Fase climática atemperada, de deglaciación, dentro de un periodo glacial. Se relaciona con los ciclos Dansgaard-Oeschger, de unos 1,5 - 3 ka de duración. La última, denominada Bøwlling/Alleröd en Europa, tuvo lugar entre 14,7 y 12,9 ka cal BP. (Furendarena et al. 1998, Rivera-Arrizabalaga 2004, Estévez 2005).

**Interglacial:** Fase climática templada, relativamente estable de unos 5 a 20 ka de duración, en la que los inlandsis retroceden a Groenlandia y la Antártida. La última se denomina Holoceno y dura desde hace 11,5 ka Cal BP hasta la actualidad (Rivera-Arrizabalaga 2004).

**Materia Prima:** Todo recurso natural, ya sea biótico (animales, vegetales, hongos, etc.) o abiótico (minerales, etc.), que se integra en un proceso de producción (Risch, 2002; Mazzucco, 2014).

**Medios de Producción:** Comprende todo elemento (ya sea tecnológico, estratégico u organizativo) destinado a implementar la productividad de los procesos de trabajo. Esta categoría implica a la tecnología, a los Procesos de Producción, a los Sistemas de Complementación Económica y al desarrollo de las Fuerzas Productivas (Gassiot 2001, Risch 2002).

**Medio ambiente:** Conjunto de factores bióticos (vegetación, fauna, sociedad) y abióticos (Orografía, Clima) que determinan un paisaje y sus características *naturales*.

**Megalayense:** Último periodo geológico formal, equivalente al Holoceno final. Comienza oficialmente en el 4250 cal BP (Walker et al., 2018). Se discute si aún dura en la actualidad (Gibbart y Walker 2014) o ya estaríamos entrando otro periodo denominado Antropoceno (Steffen et al., 2007).

**Mesolítico/a:** a) Sociedades cazadoras-recolectoras prehistóricas holocénicas. b En Europa occidental se denominan así a los conjuntos tecnológicos características de las sociedades del Holoceno antiguo (11,7 – 8,2 ka cal BP), que preceden a la aparición de las primeras sociedades con economías agroganaderas, denominadas neolíticas.) Sistema técnico y económico característico de dichas sociedades o aquello que esté en relación con ellas.

**Montano** (*Piso bioclimático altitudinal*): Piso geobotánico de la Región Eurosiberiana meridional. En la región pirenaica se puede desarrollar entre 500/700 y 1600/1800 m snm, entre los pisos Colino y Subalpino. Sus condiciones bioclimáticas pueden ser muy variadas en función de la zona de la cordillera donde nos situemos. En la vertiente norte y Pirineo axial occidental de la región pirenaica las pluviometrías son oceánicas húmedas (entre 1400 y 900 mm anuales). Sin embargo, en algunas zonas del Prepirineo central las condiciones bioclimáticas son más mediterráneas, con marcados periodos secos en verano/otoño y precipitaciones más escasas, entre 900 y 500 mm anuales. En todo

caso, se trata de un piso bioclimático de marcada vocación forestal, caracterizado por el desarrollo de bosques mixtos con dominio de las coníferas, sobre todo de pino rojo o albar (*Pinus sylvestris*), que conforma pinares albares. En otros casos las especies dominantes son del género *Quercus*, formando robledales caducifolios, o incluso encinares, en el estrato montano inferior prepirenaico. Otros bosques que podemos encontrar en el estrato altimontano de la región pirenaica más oceánica son los hayedos (*Fagus sylvatica*) y los abetales (*Abies alba*), que pueden combinarse, formando bosques mixtos en zonas umbrías y de fondo de valle (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007, Cañellas-Boltá et al., 2009).

**Naturaleza:** Medio ecológico, biológico y geológico, que configura el paisaje.

**Neolítico/a:** a) Sociedades prehistóricas tribales (no estatales) que desarrollan la domesticación productiva de animales y plantas. En Europa occidental se denominan neolíticas a las sociedades agroganaderas con producción cerámica que se desarrollan en el Holoceno medio (8 – 5 ka Cal. BP), previas al desarrollo de la metalurgia. b) Sistema técnico y económico característico de tales sociedades agrícolas y ganaderas que preceden a las sociedades con metalurgia y/o estado.

**Norgripiense:** Periodo geológico y climático también denominado Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) (Walker et al., 2012 y 2018). Se caracteriza por un clima ligeramente más cálido y húmedo que el actual, que implica la máxima expansión conocida de los bosques de caducifolias a nivel global (Mayewski et al., 2004).

**Objeto de Trabajo:** Materia que sirve de base y soporte para las transformaciones que, mediante el trabajo, generan el Producto. Serán objeto de trabajo, por tanto, todos los recursos naturales, susceptibles de ser consumidos, aprovechados o transformados por las sociedades humanas, en función del desarrollo de las fuerzas productivas (Risch 2002, Castro et al., 2002).

**Orografía:** Parte de la geografía física que estudia las superficies terrestres emergidas sobre el nivel del mar.

**Paisaje social:** Producto histórico, resultado de una interacción dinámica ente la acción humana en el medio y el propio geosistema, a lo largo de un periodo temporal. Parte de un ecosistema social.

**Paisaje natural:** Producto de la configuración biogeográfica y bioclimática de un determinado ecosistema en el medio natural, sin intervención humana. Desde la geobotánica se han definido 5 grandes bioclimas globales que pueden desarrollar 28 paisajes vegetales potenciales (Rivas-Martínez et al., 2011). El número de paisajes potenciales puede multiplicarse a escala regional o altitudinal, exponencialmente.

**Paleolítico:** a) Periodo de la prehistoria caracterizado por sociedades con economías cazadoras, recolectoras y pescadoras y sistemas técnicos basados en la producción de instrumentos de piedra tallada, piel y madera, que se desarrollaron a lo largo del Pleistoceno (2,58 ma – 11,7 ka cal BP). El periodo se divide en Paleolítico inferior, asociado con humanos arcaicos (2,6 ma – 200 ka cal BP); Paleolítico medio, asociado a los *Neandertales* en Europa (200 – 40 ka cal BP); y Paleolítico superior (40 – 12 ka cal BP), caracterizado por la expansión de las sociedades anatómicamente modernas (*Homo sapiens*) en todo el planeta. b) Conjuntos materiales arqueológicos de este periodo.

**Permafrost:** Suelo permanentemente congelado, característico de la tundra ártica, en el bioclima polar.

**Pleistoceno:** Época geológica comprendida entre hace 2,6 ma y 11,7 ka cal BP. Comprende al menos 6 fases glaciales (o hasta 10 según los estadios isotópicos marinos), denominadas por la geología alpina: Würm, Riss, Mindel, Donau, Günz y Biber (Uriarte-Cantolla 2010).

**Postglacial:** a) Fase climática atemperada, caracterizada por el deshielo generalizado a nivel global, inmediatamente posterior a la última terminación glacial. b) Equivalente a la fase climática *Preboreal* del Holoceno (11,7 – 10,2 ka cal BP), dentro del periodo Groenlandiense (11,7 – 8,2 ka cal BP) (Walker et al., 2012 y 2018).

**Preboreal (PBO):** Periodo paleoclimático determinado por la irrupción de un clima cálido y húmedo que favoreció la extensión de los grandes bosques boreales y el retroceso del inlandsis al Círculo Polar Ártico. Se sitúa entre 11,7 y 10,2 ka Cal. BP, en el Holoceno temprano o *Postglacial*.



**Producción:** a) Resultado de las actividades económicas productivas de una sociedad, que permiten su mantenimiento y reproducción. b) Generación material de todo orden de objetos (sean alimentos, bienes de consumo o instrumentos), socialmente útiles, y dotados de un *valor social*. (Castro et al., 1998 y 2002; Gassiot 2002)

**Producto:** Toda materia transformada mediante el trabajo humano (Marx y Hobsbawm 1858, Risch 2002).

**Relieve:** Medio orográfico y geográfico abiótico, su geología y geomorfología, modeladas por la acción geodinámica de los elementos atmosféricos, como el viento, el agua, el hielo o la nieve, a lo largo del tiempo, por la acción del clima. Entre las unidades principales del relieve están las cordilleras, valles y mesetas que configuran los paisajes terrestres.

**Retroalimentación** (*Feedback*): Retroacción en un proceso que se genera mediante la reintroducción de las respuestas (*out-puts*) en el sistema (*in-puts*) (*según* Butzer 1982).

**Social:** Producto de la actividad humana colectiva organizada.

**Sial:** es la parte de la corteza terrestre que se encuentra sobre las masas continentales. Está formada por rocas ricas en sílice y aluminio, tales como los granitos.

**Sistemas de Complementariedad Económica:** Comprenden la racionalidad económica global de una formación económico-social, que implican la manera en que cada sociedad gestiona la productividad del medio ambiente (sus recursos naturales) y el desarrollo tecnológico aplicado a la Producción (Bate 1998, Gassiot 2002).

**Sociedad:** Unidad económica que permite el desarrollo del grupo humano (Castro et al., 1996; Gassiot 2001, Risch 2002). Implica una producción material, una reproducción biológica y unas relaciones sociales de producción, basadas en reglas de tipo cultural (Harris 1968), económico (Sahlins 1974, Gassiot 2001) y social (Castro et al., 1998 y 2002; Barceló et al., 2006).

**Subalpino** (*Piso bioclimático altitudinal*): Piso bioclimático de la Región Eurosiberiana. En los Pirineos se sitúa entre los 1600/1800 y los 2.250/2400 msnm. Se caracteriza por un clima oceánico, algo más atemperado que el del piso alpino, con temperaturas medias anuales situadas entre 3 y 6 Cº, mientras que, en el mes más frío, las temperaturas medias son ampliamente negativas, entre -4 y -8 Cº. Las precipitaciones son abundantes, entre 900 y 1400 mm anuales, generalmente en forma de nieve entre diciembre y abril, teniendo lugar el deshielo en mayo, aunque con un buen balance hídrico, que favorece el desarrollo *podzoles*, ricos en materia orgánica y relativamente ácidos. La formación vegetal potencial característica del piso subalpino es el bosque boreal de coníferas, con presencia de caducifolias y ericáceas. En el estrato subalpino superior (entre 2000 y 2400 m snm) la especie dominante es el pino negro (*Pinus mugo ssp. uncinata*) y el rododendro (*Rhododendron ferrugineum*) en el piso arbustivo. En estrato subalpino inferior presenta mayor biodiversidad, especialmente en fondos de valle, desarrollándose bosques de *Pinus mugo* o *Pinus sylvestris*, que pueden aparecer combinados en bosques mixtos con dominio del abetal en las umbrías (*Abies alba*), así como con algunas especies caducifolias, especialmente en zonas de ribera, como abedules (*Betula pendula*) y avellanos (*Corylus avellana*). También se desarrollan numerosas especies de carácter arbustivo (*Juniperus communis ssp. nana*, *Salix pyrenaica*, *Vaccinium myrtillus*, *Arctostaphylos uva-ursi*, etc.), así como hierbas (fam. *Poaceae*) y cañas (fam. *Cyperaceae*) muy diversas, en zonas hidrófilas, nitrófilas o con escaso suelo (Rivas-Martínez 1987, Ninot et al., 2007, Fillat et al., 2008).

**Territorio social:** Sistema socio-ecológico que reúne la sociedad y el medio que ésta habita. Así un territorio es *social*, en cuanto es un territorio habitado por una sociedad concreta, que lo explota y habita, transformándolo mediante el trabajo, socialmente organizado (Gassiot 2001).

**Tecnología:** Producción industrial o manufactura de instrumentos de trabajo o medios de producción, que permiten a las sociedades producir y reproducir la vida social (Risch 2002).

**Tardiglacial:** Fase de relativa inestabilidad climática y progresiva deglaciación que siguió al máximo glaciario (20 ka Cal BP) y que se caracteriza por la alternancia de fases climáticas frías (Dryas) y atemperadas (Böwling/Alleröd). Finalizó bruscamente hace 11,7 ka Cal. BP., tras un rápido calentamiento que dio lugar al actual interglacial Holoceno (Rivera-Arrizabalaga 2004; Estévez 2005).

**Timberline:** Línea altitudinal máxima de formaciones montañosas, a partir de la cual las condiciones ambientales hacen imposible el desarrollo de formaciones forestales. En el Pirineo esta línea se sitúa

entre los 2300 y los 2400 m snm, en función del desarrollo del suelo y de la orientación e insolación de las vertientes y de los valles.

**Tipología:** Sistema de clasificación de objetos en función de sus características morfológicas.

**Trabajo:** a) Energía y tiempo aplicados por los sujetos en la Producción, generando la transformación de la materia, y en consecuencia también del medio *natural*, que pasa a ser *social*. b) Cualquier actividad orientada a la reproducción o mantenimiento de la vida social (Marx y Hobsbawm 1964).

**Trashumancia:** Actividad económica basada en el traslado del ganado a diferentes pisos ecológicos, con el objeto de maximizar la productividad de la cabaña ganadera, aprovechando de la mejor manera los recursos de pasto disponibles en un territorio amplio. A diferencia del nomadismo, la trashumancia se caracteriza por la recurrencia estacional del circuito de movilidad explotado, reutilizando sistemáticamente los mismos asentamientos y vías.

**Würm (*Würmiense*):** Nombre con el que la geología alpina denomina en Europa el último ciclo glacial, que se divide en 6 estadios isotópicos marinos y se prolonga entre 120 y 11,7 ka cal BP. Se caracteriza por una primera fase de frío más suave (120 – 73 ka Cal BP), correspondiente con los estadios isotópicos *mis* 5 y *mis* 6, y una segunda etapa de glaciación más intensa, correspondiente con los estadios isotópicos *mis* 2, 3 y 4. El último máximo glacial (LMG), tuvo lugar entre 19 y 23 ka Cal. BP, y fue seguido de una fase de gran inestabilidad climática y progresiva deglaciación denominada *Tardiglacial* (18,5 – 11,6 ka Cal BP). El *Würminese* finalizó con un brusco calentamiento climático global entre 11,8 – 11,4 ka Cal. BP, que dio paso al actual interglacial Holoceno (Rivera-Arrizabalaga 2004, Estévez 2005).

**Younger Dryas (YD):** Último episodio climático glacial, de uno 1100 años de duración, caracterizado por inviernos secos y de frío intenso en el hemisferio norte, que sucedió a un episodio de deglaciación templado denominado Böwling /Alleröd. Comienza hace 12,8 ka cal BP y finaliza hace 11,7 cal BP, dando lugar al Holoceno (Uriarte Cantolla 2004, Estévez 2005).

## 12. BIBLIOGRAFÍA

---

Albert, R.M., Lavi, O., Estro, L., Weiner, S., 1999. Mode of Occupation of Tabun Cave, Mt Carmel, Israel During the Mousterian Period: A Study of the Sediments and Phytoliths, *Journal of Archaeological Science* (1999) 26, 1249-1260.

Albert, R.M., 2000. *Study of ash layers through analyses from the Middle Palaeolithic levels of Kebara and Tabun caves*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 251pp.

Albert, R.M., Weiner, S., 2001. Study of Phytoliths in Prehistoric Ash Layers from Kebara and Tabun Caves Using a Quantitative Approach. En: Meunier J.D., Coline F. (Eds.) *Phytoliths, Applications in Earth Sciences and Human History*, Edition, Vol. I, 251-266.

Albert, R.M., Bar-Yosef, O., Meignem, L., Weiner, S., 2003. Quantitative Phytolith Study of Hearths from the Natufian and Middle Palaeolithic Levels of Hayonim Cave (Galilee, Israel), *Journal of Archaeological Science* (2003) 30, 461-480.

Albert, R.M., 2003. Phytolith and spherulites study of herbivores dung from the african savannah as a tool for palaeocological reconstruction, *Pyrenae*, 33-34, 11-23.

Albert, R.M., 2006. Reconstrucción de la vegetación en África Oriental durante el Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: La Garganta de Olduvai (Tanzania), *Ecosistemas* 15 (1), 47-58.

Albert, R.M., Bamford, M.K., Cabanes, D., 2006. Taphonomy of phytoliths and macroplants in different soils from Olduvai Gorge (Tanzania) and the application to PlioPleistocene palaeoanthropological samples, *Quaternary International* 148 (2006), 78-94.

Albert, R.M., Cabanes, D., 2008. Fire in prehistory, an experimental approach to combustion processes and phytolith remains, *Israel Journal of Earth Sciences Vol. 56, 2007*, 175-189.

Albert, R.M., Portillo, M., 2014. Aportaciones de los estudios de fitolitos en la prehistoria, formación, metodología y casos de estudio, *Treballs d'Arqueologia*, 2014 (20), 79-93

Albert, R.M., 2015. Anthropocene and early human behavior, *The Holocene 2015, Vol. 25(10)*, 1542-1552

Albert, R.M., Ruíz, J.A., Sans, A., 2016. PhytCore ODB: A new tool to improve efficiency in the management and exchange of information on phytoliths, *Journal of Archaeological Science* 68 (2016), 98-105.

Albert, R.M., Bamford, M.K., Stanistreet, I.G., Stollhofen, H., Rivera-Rondón, C.A., Njau, J.K., Blumenschine, R.J., 2018. River-fed wetland palaeovegetation and palaeoecology at the HWK W site, Bed I, Olduvai Gorge, *Review of Palaeobotany and Palynology* 259 (2018), 223-241.

Alcalde, G., Saña, M., Molits, M., 2005. Les ocupacions neolítiques de la Balma del Serrat del Pont (Garrotxa), *Tribuna d'Arqueologia 2001-2002*, 29-40.

Alday, A. (Coord.), 2006. *El mesolítico de muescas y denticulados en la cuenca del Ebro y el litoral mediterráneo peninsular*, Diputación Foral de Álava, VitoriaGasteiz, 317pp.

Alday, A., 2007. Mésolithique et Néolithique au Pays Basque d'après l'abri de Mendandia (8500-6400 BP): l'évolution de l'industrie lithique, le problème de la céramique et les stratégies d'occupation, *L'anthropologie* 111 (2007), 39-67.

Alday, A., 2009. El final del Mesolítico y los inicios del Neolítico en la Península Ibérica: cronología y fases, *Munibe (Antropologia-Arkeologia)* 60, 157-173.

Alday, A., Soto, A., 2017. La sociedad mesolítica de la Península Ibérica. En: Pérez Díaz, S., Ruiz Fernández, J., López-Sáez, J.A., García Hernández, C. (Eds.) 2017. *Cambio climático y cultural en la Península Ibérica: una perspectiva geohistórica y paleoambiental*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo, 75-91.

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 (South eastern PrePyrenees, Spain), *C. R. Palevol* 11 (2012), 507-518.

Alonso-Eguíluz, M., 2012. Estudio de los fitolitos en conjuntos de la Prehistoria reciente en la Sierra de Cantabria. El caso de los niveles de redil de San Cristóbal (Laguardia, Álava), *CKQ Estudios de Cuaternario* 2, 3-14.

Alonso-Eguíluz, M., Fernández-Eraso, J., Albert, R.M., 2017. The first herders in the upper Ebro basin at Los Husos II (Álava, Spain): microarchaeology applied to fumier deposits, *Veget. Hist. Archaeobot.* 26 (2017), 143-157.

Álvarez-Solas, J., Montoya, M., Ritz, C., Ramstein, G., Charbit, S., Dumas, C., Nisancioglu, K., Dokken, T., Ganopolski, A., 2001. Heinrich event 1: an example of dynamical icesheet reaction to oceanic changes, *Clim. Past* 7, 1297-1306.

An, X., Lu, H., Chu, g., 2015. Surface soil phytoliths as vegetation and altitude indicators: a study from the southern Himalaya, *Nature Scientific Reports* 5, 15523, 13pp.

An, X., 2016. Morphological characteristics of phytoliths from representative conifers in China, *Palaeoworld* 25 (2016), 116-127.

Andrade-Olalla, A., 2012. *Apuntes de micropaleontología vegetal*, Universidad de Alcalá de Henares, 29pp.

Antolín, F., Buxó, R., Jacomet, S., Navarrete, V., Saña, M., 2014. An integrated perspective on farming in the early Neolithic lakeshore site of La Draga (Banyoles, Spain), *Environmental Archaeology* (2014) Vol. 19, 3, 241-255.

Antolín, F., 2015. Entre agricultores primitivos, cultivos de rozas y pastores trashumantes. Una mirada crítica a los modelos económicos propuestos para los grupos del noreste peninsular y una aportación desde el registro carpológico, *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 25 (2015), 11-45.

Antolín, F., Jacomet, S., 2015. Wild fruit use among early farmers in the Neolithic (5400-2300 cal BC) in the northeast of the Iberian Peninsula: an intensive practice? *Veget. Hist. Archaeobot.* (2015) 24, 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 (2015), 90-104.

- Antolín, F., Navarrete, V., Saña, M., Viñerta, A., Gassiot, E., 2018. Herders in the mountains and farmers in the plains? A comparative evaluation of the archaeobiological record from Neolithic sites in the eastern Iberian Pyrenees and the southern lower lands, *Quaternary International* 484 (2018), 75-93.
- Antón, S.C., Potts, R., Aliello, L.C., 2014. Evolution of early Homo: An integrated biological perspective, *Science* 2014: Vol. 345, Issue 6192, 45-58.
- Asscher Y., Weiner, S., Boaretto, E., 2017. A new method for extracting the insoluble occluded carbon in archaeological and modern phytoliths, Detection of <sup>14</sup>C depleted carbon fraction and implications for radiocarbon dating, *Journal of Archaeological Science* 78 (2017), 57-65.
- Aubert, S., 2001. *Limite supérieure de la forêt, climat et anthropisation: dynamique tardiglaciaire et holocène de la végétation dans la vallée du Marcadau (Hautes-Pyrénées, France)*, Tesis Doctoral, Université de Toulouse III, Toulouse.
- Aubert, S., Belet, JM., Bouchette, A., Otto, T. Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Jalut, G., 2004. Dynamique tardiglaciaire et holocène de la végétation à l'étage montagnard dans les Pyrénées centrales. En: *Écologie C.R. Biologies* 327 (2004), 381-388.
- Augé, O., Gassiot, E., Pèlachs, A., 2012. La producció de ferro a la protohistòria i època romana al Pallars Sobirà. L'exemple del Bosc de Virós a la Vall Ferrera. En: VVAA, 2012. *Bosc de Ferro. Actes de les Primeres Jornades de Recerca i Desenvolupament de la Vall Ferrera*, Grasineu Edicions, Tremp, 9-40.
- Babault, J., Teixell, A., 2007. El Relieve de los Pirineos, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2007 (15.2), 135-150
- Babot, M.P., Musaubach, M.G., Plos, A., 2017. An archaeobotanical perspective in the study of inflorescence phytoliths of wild grasses from arid and semi-arid environments of Argentina, *Quaternary International* 434 (2017), 129-141
- Badal, E., Bernabeu, J., Martí, B., (Eds.) 2002. *Neolithic landscapes of the Mediterranean*, Saguntum, N°Extra 5, 250pp.
- Badal, E., Carrión, Y., Rivera, D., Uzquiano, PP., 2003. 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, *MAC*, 72pp.
- Bal, M.C., Rendu, C., Ruas, M.PP., Campmajo, PP., 2010. Paleosol charcoal, reconstructing vegetation history in relation to agropastoral activities since the Neolithic. A case of study in the Eastern French Pyrenees, *Journal of Archeological Science* 37 (2010), 1785-1797.
- Bal, M.C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Julià, R., Cunill, R., 2011. Fire history and human activities during the last 3300 calyr BP in Spain's Central Pyrenees, the case of the Estany de Burg, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 300 (2011), 179-190.
- Bal, M.C., Allée, Ph., Morgane, L., 2015, The origins of a *Nardus stricta* grassland through soil charcoal analyses: Reconstructing the history of a mountain cultural landscape (Mont Lozere, France) since the Neolithic, *Quaternary International* 366 (2015), 3-14.
- Ball, T.A., Chandler-Ezell, K., Dickau, R., Duncan, N., Hart, Th.C., Iriarte, J., Lentfer, C., Logan, A., Lu, H., Madella, M., Pearsall, D. M., Piperno, D. R., Rosen, A. M., Vrydaghs, L., Weisskopf, A., Zhang, J., 2016a. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world, *Journal of Archaeological Science* 68 (2016), 32-45.

- Ball, T.A., Davis, A.L., Evett, R.R., Ladwig, J.L., Tromp, M., Out, W.A., Portillo, M., 2016b. Morphometric analysis of phytoliths, recommendations towards standardization from the International Committee for Phytolith Morphometrics, *Journal of Archaeological Science* 68 (2016), 106-111
- Banh, P.P. G., 1983. *Pyrenean Prehistory: a paleoeconomic survey of french sites*, A&P Warmister, 499pp.
- Bailey, G., 2007. Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time, *Journal of Anthropological Archaeology* 26, 198-223.
- Barboni, D., Bremond, L., 2009. Phytoliths of East African grasses, an assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data, *Review of Palaeobotany and Palynology* 158 (2009), 29-41.
- Barceló, J.A., Briz, I., Clemente, I., Estévez, J., Mameli, L., Maximiano, A., Moreno, F., Pijoan, J., Piqué, R., Terradas, X., Toselli, A., Verdun, E., Vila, A y Zurro, D., 2006. Análisis etnoarqueológico del valor social del producto en sociedades cazadoras recolectoras. En: Vila, A. (Ed.), 2006. *Etnoarqueología de la Prehistoria: más allá de la Analogía*. Treballs d'Etnoarqueologia 6, 189-207.
- Barceló, J. A., 2008. La seqüència cronocultural de la prehistòria catalana. Anàlisi estadística de les datacions radiomètriques. *Cypsela* 17, 65-88.
- Bardají, T., 2018. Subdivisión formal del Holoceno, *Cuaternario y Geomorfología Vol. 32, Núm. 3-4 (2018)*, 7-8.
- Bargalló, A., Morales, J.I., Solé, Á., Martín, P.P., Gabucio, M.J., Burjachs, F., 2013. La Balma de la Massana. Intervencions arqueològiques 2008-2010 i resultats preliminars (Alsamora, Sant Esteve de la Sarga). En: *2013 Primeres jornades d'Arqueologia i Paleontologia del Pirineu i Aran*, Generalitat de Catalunya, 135-141.
- Barnolas, A., Pujalte, V. (Eds.) 2004. La Cordillera Pirenaica. En: Vera, J.E., (Ed.), 2004. *Geología de España*, SGE-IGME, Madrid, 233-343.
- Barrio, I.C., Bueno, C.G., Nagy, L., Palacio, S., Grau, O., Munilla, I., García, M.B., Garcia-Cervigón, A.I., Gartzia, M., Gazol, A., Lara-Romero, C., Anadon-Rosell, A., Ninot, J.M., Chocarro, C., Alados, C.L., Fillat, F., Zamora, R., 2013. Alpine Ecology in the Iberian península: What Do We Know, and What Do We Need to Learn?, *Mountain Research and Development*, Vol. 33, No. 4 (Nov 2013), 437-442pp.
- Bate, L.F., 1998. *El Proceso de Investigación en Arqueología*, Crítica, Barcelona, 278pp.
- Battarbee R.W., 1986. Diatom analysis. En: Berglund B.E. (Ed.) 1986. *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, Wiley, Chichester, 527-570.
- Battentier, J., Binder, D., Guillon, S., Maggi, R., Negrino, F., Sénépart, I., Tossi, C., Théry-Parisot, I., Delhon Cl., 2018. The environment of the last hunters gatherers and first agropastoralists in the western Mediterranean region, between the Rhone and the Northern Apennines (7th 6th millennium cal. BCE): Attractiveness of the landscape units and settlement patterns, *Quaternary Science Reviews* 184 (2018), 167-182.
- Beverly, E.L., Lukens, W.E., Stinchcomb, G.E., 2018. Paleopedology as a Tool for Reconstructing Paleoenvironments and Paleoecology, En: Croff, D.A., Su, D.F., Simpson, S.W., (Eds.), 2018. *Methods in Paleoecology. Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*, Springer, 151-183.

- Berger, J.F., 2005, Sédiment, dynamique du peuplement et climat au néolithique ancien. En: Guilaine, J. (Ed.), 2005, *Populations néolithiques et environnement*, Errance, Paris, 155-212
- Berger, J.F., Guilaine, J., 2008. The 8200 calBP abrupt environmental change and the Neolithic transition: A Mediterranean perspective, *Quaternary International*, 200 (2009), 31-49.
- Berger, J.F., Delhon, Cl., Magnin, F., Bonté S., Peryc D., Thiébault, S., Guilbert, R., Beeching, A., 2016. A fluvial record of the mid Holocene rapid climatic changes in the middle Rhone valley (EspelucheLalo, France) and of their impact on Late Mesolithic and Early Neolithic societies, *Quaternary Science Reviews* 136 (2016), 66-84
- Berger, J.F., Shennan, S., Woodbridge, J., Palmisano, A., Mazier, F., Nuninger, L, Guillon, S., Doyen, E., Begeot, C., Andrieuonnel, V., Azuara, J., Bevan A., Fyfe, R., Roberts, C.N., 2019. Holocene land cover and population dynamics in Southern France, *The Holocene* 2019, Vol. 29(5), 776-798
- Bernabeu, J., Aura, J.E., Badal, E. 1993. *Al oeste del edén. Las primeras sociedades agrícolas en la Europa mediterránea*, Síntesis, 336p
- Beroutchachvili, N., Bertrand, G., 1978, Le géosystème ou système territorial naturel, *Revue géographique des Pyrénées et du SudOuest* 49(1978), 167-180.
- Bertrand, C., Bertrand, G., 2000. Le géosystème: un espace temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale. En: Barrué Pastor, A. M., Bertrand, G. (Eds.), *Le temps de l'environnement*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, (2000), 65-78.
- Bini, M., Zanchetta, G., Perçoiu, A., Cartier, R., Català, A., Cacho, I., Dean, J.R., Di Rita, F., Drysdale, R.N., Finnè, M., Isola, I., Jalali, B., Lirer, F., Magri, D., Masi, A., Marks, L., Mercuri, A.M., Peyron, O., Sadori, L., Sicre, M.A., Welc, F., Zielhofer, Ch., Brisset, E., 2019. The 4.2 kaBP Event in the Mediterranean region: an overview, *Clim. Past*, 15, 555-577.
- Binford, L.R., 1962. Archaeology as anthropology, En: Leone, M. (Ed.), 1962. *Contemporary Archaeology*, Southern Illinois University, Carbondale, 93-101.
- Binford, L.R., 1968. Methodological Considerations of the Archaeological Use of Ethnographic Data, en. L.R. Lee e I. De Vore (eds.), *Man de Hunter*, Chicago: Aldine Publishinf Company, ppp. 268-273.
- Binford, L.R., 1972. *An Archaeological perspective*, Seminar Press, New York, 464pp.
- Binford, L.R., 1980. Willow Smoke and Dogs' Tails: Hunter Gatherer Settlement Systems and Archaeological Site Formation, *American Antiquity*, Vol. 45, No. 1 (1980), 4-20
- Binford, L.R., 2001. *Constructing Frames of Reference. An Analytical Method for Archaeological Theory Building Using Ethnographic and Environmental Data Sets*, University of California Press, 563pp.
- Bocquet-Appel, J.PP., 2005. La Transition Démographique néolithique. En: Guilaine, J. (Coord.), 2005. *Populations néolithiques et environnement*, Ed. Errance, Paris, 11-20.
- Bocquet-Appel, J. PP., Naji, S., Vander Linden, M., Kozłowski, J., 2011. Understanding the rates of expansion of the farming system in Europe, *Journal of Archaeological Science* 39, 531-546
- Boogard, A., 2004. Neolithic Farming in Central Europe: An Archaeobotanical Study of Crop Husbandry Practices C. 5500-2200 BC, Routledge, 226p,
- Bond G, Showers W, Cheseby M, Lotti R, Almasi P, De Menocal PP, Priore, PP., Cullen, H., Hajdas, I., Bonani, G., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates, *Science* 278, 1257-1266.



- Bonsall, C., Mackin, M.G., Anderson, D.E., Payton, R.W., 2002. Climate change and the adoption of agriculture in north-west Europe, *European Journal of Archaeology*, Vol. 51(1), 9-13.
- Bordes, F., 1984, *Leçons sur le Paléolithique, Tome 2, Le paléolithique en Europe*. CNRS, Paris, 459pp.
- Bordonau, J. 1992. *Els complexos glaciolacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*, Geoforma, 251pp.
- Bordonau, J. 2006. El glaciariismo cuaternario en los Pirineos, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2006. (13.3), 252-229.
- Bosch-Gimpera, PP., 1919. *Prehistòria catalana*. Vol. 16. Barcelona: Enciclopedia Catalana.
- Bremond, L., Alexandre, A., Véla, E., Guiot, J., 2004. Advantages and disadvantages of phytolith analysis for the reconstruction of Mediterranean vegetation: An assessment based on modern phytolith, pollen and botanical data (Luberon, France), *Review of Palaeobotany and Palynology* 129(4), 213-228.
- Bremond, L., Alexandre, A., Wooller, M.J., Hély, Ch., Williamson, D., Schäfer, PP.A., Majule, A., Guiot, J., 2008. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains, *Global and Planetary Change* 61 (2008), 209-224.
- Bronk-Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon* 51(1) (2009), 337-360.
- Brown, A.C., 1997. *Alluvial Geoarchaeology: Floodplain Archaeology and Environmental Change*, Cambridge University Press, 404pp.
- Bujan, E., 2013. Elemental composition of phytoliths in modern plants (Ericaceae), *Quaternary International* 287 (2013), 114-120.
- Burjachs, F., López-Sáez, J.A., Iriarte, M.J. 2003. Metodología arqueopalinológica. En: Buxó, R. Y Piqué, R. (Eds.) 2003. *La recogida de muestras en arqueobotánica, objetivos y propuestas metodológicas*, Museu d'Arqueologia de Catalunya, 11-18.
- Butzer, K. W., 1982. *Arqueología, una ecología del Hombre*, Bellaterra, Barcelona, 345pp.
- Buxó, R., Piqué, R. (Eds.) 2003. *La recogida de muestras en arqueobotánica, objetivos y propuestas metodológicas*. En: Museu d'Arqueologia de Catalunya, Barcelona, 71pp.
- Buxó, R., Piqué, R. 2008. *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la Península Ibérica*, Ariel Prehistoria, Barcelona, 336pp.
- Cabanes, D., Weiner, S., Shahack-Gross, R. 2011. Stability of phytoliths in the archaeological record, a dissolution study of modern and fossil phytoliths, *Journal of Archaeological Science* 38 (2011), 2480-2490.
- Cabanes, D., Shahack-Gross, R. 2015. Understanding Fossil Phytolith Preservation: The Role of Partial Dissolution in Paleoecology and Archaeology, *PLoS ONE* 10(5): e0125532, 16pp.
- Cacho, I., Grimalt, J.O., Canals, M., Saffi, L., Shackleton, N.J., Schoenfeld, J., Zahn, R., 2001. Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes, *Paleoceanography*, 16, (1), 40-52.
- Calegari, M., Madella, M., Vidal-Torrado, PP., Otero, X.Ll., Macias, F., Osterrieth, M., 2013. Opal phytolith extraction in oxisols, *Quaternary International* 287 (2013), 56-62.

- Calero, M.A., Valero-Garcés, B.L., Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Garcés-Pastor, S., López-Vila, J., Camarero, J.J., 2016. El registro sedimentario del lago Sant Maurici (Pirineos Centrales), *Geogaceta* 59 (2016), 11-14.
- Calinski, T., J. Harabasz. 1974. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics*. Vol. 3, No. 1, 1-27.
- Canti, M.G., 1998. The Micromorphological Identification of Faecal Spherulites from Archaeological and Modern Materials, *Journal of Archaeological Science* (1998) 25, 435-444.
- Cañellas-Boltà, N., Rull, V., Vigo, J., Mercadé, A. 2009. Modern pollen vegetation relationship along an altitudinal transect in the Pyrenees (southwestern Europe), *The Holocene* 19, 8 (2009), 1185-1200.
- Carcaillet, Ch., Thion, M., 1996. Pedoanthracological contribution to the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (north French Alps): Methodology and preliminary data, *Review of Palaeobotany and Palynology* 91, 399-416.
- Carcaillet, Ch., 2001. Are Holocene woodcharcoal fragments stratified in alpine and subalpine soils? Evidence from the Alps based on AMS <sup>14</sup>C dates, *The Holocene* 11, 2 (2001), 231-242.
- Carnelli, A.L., Madella, M., Theurillat, J.P., 2001. Biogenic Silica Production in Selected Alpine Plants Species and Plant Communities, *Annals of Botany* 87, 425-434.
- Carnelli, A., 2002. *Long Term dynamics of the vegetation at the subalpinealpine ecocline during the Holocene, comparative study in the Aletsch region, Val d'Arpette, and Furka Pass (Valais, Switzerland)*, Tesis doctoral, Section des Sciences de la Terra, Université de Genève, Suiza, 349pp.
- Carnelli, A.L., Madella, M., Theurillat, J.P., Ammann, B., 2004. Aluminum in the opal silica reticule of phytoliths: a new tool in palaeoecological studies, *American Journal of Botany* 89 (2), 346-351.
- Carnelli, A.L., Theurillat, J.P., Madella, M., 2004. Phytoliths types and type frequencies in subalpine-alpine plant species of the European Alps, *Review of Palaeobotany and Palynology* 129 (2004), 39-65.
- Carozza, L., Galop, D., Marembert, F., Monna, F. 2005. Quel statut pour les espaces de montagne durant l'âge du Bronze? Regards croisés sur les approches sociétéenvironnement dans les Pyrénées occidentales, *Documents d'Archéologie méridionale* 28, 7-23.
- Carrillo, E., Ninot, J.M. 1992. *Flora i vegetació de les valls d'Espot i Boí*, Institut d'Estudis Catalans, Arxius Secció Ciències (Vol. I-II), Barcelona, 824pp.
- Carrión, J.S., Munera, M., Navarro, C., Saèz, F., 2000. Paleoclimas e historia de la vegetación cuaternaria en España a través del análisis polínico. Viejas falacias y nuevos paradigmas, *Complutum* 11: 115-142.
- Carrión, J.S. (Coord.), 2012. *Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares. Plioceno Cuaternario*, Ministerio de Economía y Competitividad, Murcia, 972pp.
- Carrión-Marco, Y., 2005. *La vegetación mediterránea y atlántica de la península Ibérica: nuevas secuencias antracológicas*, Diputacion Provincial de Valencia, 314 pp.
- Castro, P.V., Chapman, R.W., Gili, S, Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., SanahujaYll, M.E. 1996. Teoría de las prácticas sociales, *Complutum Extra*, 6 (II), 35-48.
- Castro, P.V., Gili, S., Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., Sanahuja Yll, M.E., 1998. Teoría de la producción de la vida social. Un análisis de los mecanismos de explotación del Sudeste peninsular (c. 3000-1550 Cal ANE), *Boletín de Antropología Americana* 33, 24-77.

- Castro, P.V., Chapman, R. W., Gili, S., Lull, V., Micó, R., Rihuete, C., Risch, R., Sanahuja Yll, M.E., 1999. Proyecto Gatas. 2. La dinámica arqueoecológica de la ocupación prehistórica. Monografías de Arqueología, Junta de Andalucía.
- Castro, PV., Escoriza, T., Sanahuja, M.E., 2002. Trabajo y espacios en el ámbito doméstico. Producción y prácticas sociales en una unidad doméstica de la prehistoria de Mallorca, *IV Coloquio Internacional de Geo Crítica, Barcelona, Scripta Nova, Vol. VI, núm. 119 (10)*, 1-18.
- Catalan, J., 2015. Història natural de l'ecosistema microscòpic, *L'Atzavara 25 (2015)*, 1-10.
- Catalan, J., Pérez-Obiol, R., Pla, S., 2001. Canvis climàtics a Aigüestortes durant els darrers 15.000 anys. En: *V Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (2000)*, Lleida, Departament de MediAmbient, 45-51.
- Catalan, J., Pèlach, A., Gassiot, E., Antolín, F., Ballesteros, A., Batalla, M., Burjachs, F., Buchaca, T., Camarero, L., Clemente, I., Clop, X., García, D., Giralt, S., Jordana Lluch, L., Madella, M., Mazzuco, N., Mur, E., Ninyerola, M., Obea, L., Oltra, J., Pérez-Obiol, R., Piqué, R., Pla, S., Rivera-Rondón, C., Rodríguez, J.M., Rodríguez-Antón, D., Sáez, A., Soriano, J.M., 2013. Interacción entre clima y ocupación humana en la configuración del paisaje vegetal del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici a lo largo de los últimos 15.000 años. En Ramírez, L., Asensio, B., (Eds.) 2013. *Proyectos de investigación en Parques Nacionales, 2009-2012, Naturaleza y Parques Nacionales*. Madrid, Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 71-92.
- Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.) 2017. *High Mountain Conservation in a Changing World*, Advances in Global Change Research 62, Springer, 413pp.
- Cava, A., Barandiarán, I., (Coords.) 2002. *Cazadores recolectores en el Pirineo navarro: sitio de Aizpea entre 8000 y 6000 años antes de ahora*, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, 534pp.
- Cava, A., 2004. Los procesos culturales del comienzo del Holoceno en la Cuenca del Ebro y su contextualización, *Saldvie 4 (2004)*, 17-40.
- Ceballos, R., Cabeza, O.J., 2013. El principio del determinismo en el Materialismo Cultural, *Revista Temas 7 (2013)*, 263-273.
- Clarke, 1968. *Analytical Archaeology*, Methuen, 684 pp.
- Childe, V.G., 1953. *The Constitution of Archaeology as a Science*. Var. Eds., 15 pp.
- Childe, V.G., 1956. *Piecing Together the Past. The interpretation of archaeological data*. Routledge y Kegan Paul, 176 pp.
- Clemente, I., Gassiot, E., Rey, J., Mazzuco, N., Obea, L., 2014. "Cort o Tránsito" –Coro Tránsito- p corral de tránsito: una Cueva pastoral del Neolítico antiguo en el corazón del Sobrarbe. En: Clemente, I., Gassiot, E., Rey, J. (Eds.), 2014. *Sobrarbe antes del Sobrarbe. Pinceladas de historia de los Pirineos*, Centro de Estudios de Sobrarbe, 206pp, 11-32.
- Connor, S.E., Vannière, B., Colombarili, D., Anderson, R.S., Carrión, J.S., Ejarque, A., GilRomera, G., González-Sampériz, PP., Hofer, D., MoralesMolino, C., Revelles, J., Scheneider, H., Knaap, W.O., Leeuwen, J.F.N., Woodfridge, J., 2019. Humans take control of fire-driven diversity changes in Mediterranean Iberia's vegetation during the mid-late Holocene, *The Holocene 2019, Vol. 29(5)*, 886-901.

- Copons, R., Bordonau, J. 1996. El registro sedimentario del Cuaternario reciente en el lago Redó d'Aigüestortes (Pirineos centrales). En: Grandal-Danglade, A. y Pagés-Valcarlos, J., (Eds.) 1996. *IV Reunión de Geomorfología, Sociedad Española de Geomorfología, O Castro (A Coruña)*, 249-260.
- Cordier, S., Kathryn, A., Delmas, M., Calvet, M., Harmand, D., 2017. Of ice and water: Quaternary fluvial response to glacial forcing, *Quaternary Science Reviews* 166 (2017), 57-73.
- Cordoba, C.E. 2013. C<sub>3</sub>Poaceae and Restionaceae phytoliths as potential proxies for reconstructing winter rainfall in South Africa, *Quaternary International* 287 (2013), 121-140.
- Crest, Y., Delmas, M., Braucher, R., Gunnell, Y., Calvet, M., ASTER Team, 2017. Cirques have growth spurts during deglacial and interglacial periods: Evidence from 10Be and 26Al nuclide inventories in the central and eastern Pyrenees, *Geomorphology* 278 (2017), 60-77.
- Criado-Boado, F., 2016. Arqueológicas del espacio: aproximación a los modos de existencia de los "xscapes". En: Flores-Blanco, L., (Ed.) 2016. *Lugares, monumentos, ancestros. Por una Arqueología Andina del paisaje*, 27-54.
- Croft, D.A., Su, D.F., Simpson, S.W., (Eds.), 2018. *Methods in Paleoecology. Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*, Springer, 410pp.
- Cueto, M, Marín, M., Estévez, J., 2006. Apuntes para un cambio de ritmo en la explicación del cambio al Postglaciar, *Munibe (Antropología Arkeologia)* nº 57, 399-412.
- Cugny, C., 2013. *Apports des microfossiles nonpolliniques à l'histoire du pastoralisme sur le versant nord pyrénéen. Entre référentiels actuels et reconstitution du passé*, Tesis Doctoral, Université de Toulouse 2 Le Mirail, Toulouse, 280pp.
- Cunill, R., 2010. *Estudi interdisciplinari de l'evolució del límit superior del bosc durant el període holocènic a la zona de Plaús de Boldís Montarenyo, Pirineu central català*. Pedoantracologia, palinologia, carbons sedimentaris i fonts documentals, Tesis Doctoral, UAB, 146pp.
- Cunill, R., Soriano, J.M., Bal, M.C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., 2012. Holocene treeline changes on the south slope of the Pyrenees, a pedoanthracological analysis, *Vegetation History and Archaeobotany* 21 (45), 373-384.
- Cunill, R., Soriano, J.M., Bal, M.C., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., 2013. Holocene high altitude vegetation dynamics in the Pyrenees, A pedoanthracology contribution to an interdisciplinary approach, *Quaternary international* Vol. 289 (2013), 60-70.
- Davis, J.C., 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley & Sons.
- Darwin, Ch. 1859. *El origen de las especies*, Espasa (1998), Barcelona, 704pp.
- Darwin, Ch. 1871. *El origen del hombre*, Crítica (2009), Barcelona, 864pp.
- Delhon, C., 2001. L'analyse phytolithique : un nouvel outil pour l'étude des paléoenvironnements, *Revue d'Archéométrie*, 25, 53-63.
- Delhon, C., Alexandre, A., Berger, JF., Thièbault, S., Brochier, JL., Meunier, JD. 2003. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation. *Quaternary Research* 59 (2003), 48-60.
- Delhon, C., 2005. Anthropisation et paléoclimats du Tardiglaciaire à l'Holocène en moyenne vallée du Rhône: études pluridisciplinaires des spectres phytolithiques et pédoanthracologiques de séquences naturelles et de sites archéologiques. Tesis doctoral, Université du Sorbonne, Paris I, 843pp.

Delhon, C., Martin, L., Argant, J., Thiébault, S. 2008. Shepherds and plants in the Alps, multiproxy archaeobotanical analysis of neolithic dung from “La Grande Rivoire” (Isère, France), *Journal of Archaeological Science* 35 (2008), 2937-2952.

Delhon, C., Thiébault, S., Berger, J.F., 2009. Environment and landscape management during the Middle Neolithic in Southern France: Evidence for agrosylvopastoral systems in the Middle Rhone Valley, *Quaternary International* 200 (2009), 50-65.

Dearing, J.A., Acma, B., Bub, S., Chambers, F.M., Chen, X., Cooper, J., Crook, D., Dong, X.H., Dotterweich, M., Edwards, M.E., Foster, T.H., Gaillard, M.J., Galop, D., Gell, P.P., Gil, A., Jeffers, E., Jones, R.T., Krishnamurthy, A., Langdon, P.P.G., Marchant, R., Mazier, F., McLean, C.E., Nunes, L.H., Raman, S., Suryaprakash, I., Umer, M., Yang, X.D., Wang R., Zhang, K. 2015. Socioecological systems in the Anthropocene: the need for integrating social and biophysical records at regional scales, *The Anthropocene Review*, 2015, Vol. 2(3), 220-246

Delmas, M., 2015. The last maximum ice extent and subsequent deglaciation of the Pyrenees, *CIG* 41 (2) (2015), 359-387.

Díaz-Bonilla, S., Obea, L., Gassiot, E., Clemente, I., Quesada, M., García-Casas, D., Rodríguez-Antón, D., (2016). Una cueva redil del Neolítico Antiguo en la alta montaña, *Actas VI Congreso de Neolítico de la Península Ibérica* (en prensa),

Dincauze, D.F. 2000. *Environmental Archaeology, principles and practice*, Cambridge University Press, 587pp.

Domingo, M. (Coord.) 2000. *Geopirineos. Espacios naturales y geología pirenaica. Sector central y centro oriental*, AEPECT, Girona, 124pp.

Dumontier, P.P., Courtaud, P.P., Armand, D., Convertini, F., Ferrier, C., 2016. Entre montagne et piémont, témoignages agropastoraux du Néolithique à l'Âge du Fer, En: Rendu, Ch., Calastrenc, C., Le Couedic, M., Berdoy, A., (Coords.) 2016. *Estives d'Ossau. 7000 ans de pastoralisme dans les Pyrénées*, Edicions Le Pas d'oseau, 175-203.

Dunseth, Z.C., Shahack-Gross, 2018. Calcitic dung spherulites and the potential for rapid identification of degraded animal dung at archaeological sites using FTIR spectroscopy, *Journal of Archaeological Science* 97 (2018), 118-124.

Ejarque, A., Julià, R., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., Miras, Y., Gascón, C., 2009. Tracing the history of highland human management in the eastern PrePyrenees, an interdisciplinary palaeo environmental study at the Pradell fen, Spain, *The Holocene* 19 (8), 1241-1255.

Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H.A., 2010. Testing microregional variability in the Holocene shaping of high mountain cultural landscapes, a palaeoenvironmental case study in the eastern Pyrenees, *Journal of Archaeological Science* 37, 1468-1479.

Ejarque, A., 2009. *Génesis y configuración microregional de un paisaje cultural pirenaico de alta montaña durante el Holoceno: estudio polínico y de otros indicadores paleoambientales en el valle del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*, Tesis Doctoral, ICAC, Universitat Rovira i Virgili, 363pp.

Engels, F. 1886. *Dialéctica de la Naturaleza*, Akal (2017), 328pp.

Esteban, I., 2016. *Reconstructing past vegetation and modern human foraging strategies on the south coast of South Africa*, Tesis Doctoral, UB, Barcelona, 309pp.

- Esteban, I., Vlok, J., Kotina, E.L., Bamford, M.K., Cowling, R.M., Cabanes, D., Albert, R.M., 2017a. Phytoliths in plants from the south coast of the Greater Cape Floristic Region (South Africa), *Review of Palaeobotany and Palynology* 245 (2017), 69-84.
- Esteban, I., De Vynck, J.C., Vlok, J., Singels, E., Marean, C.W., Cowling, R.M., Fisher, E.C., Cabanes, D., Albert, R.M., 2017b. Modern soil phytolith assemblages used as proxies for Paleoscape reconstruction on the south coast of South Africa, *Quaternary International* 434 (2017), 160-179.
- Esteban-Amat, A., (Coord.), 2003. *La humanización de las altas cuencas de la Garona y las Nogueras (4500 aC- 1955 dC)*, Madrid, Servicio Nacional de Parques Nacionales, 467pp.
- Estévez, J., Vila, A., Terradas, X., Piqué, R., Taulé, M., Gibaja-Bao, J., Ruíz, G., 1998, Cazar o no cazar, ¿es ésta la cuestión? *Boletín de Antropología Americana*, 33, 5-24.
- Estévez, J., Gassiot, E., 2002. El cambio en sociedades cazadoras litorales: tres casos comparativos, *Revista Atlántica de Prehistoria y Arqueología Social*, Vol.V, 43-85.
- Estévez, J. 2005. *Catástrofes en la Prehistoria*, Ed. Bellaterra Arqueología, Barcelona, 336 pp.
- FAO/UNESCO, 1988. Soil map of the world. Revised legend. *World Soil Resources Report* 60.
- Everitt, B., Landau, S., Leese, M., Stahl, D., 2011. *Cluster Analysis*, 5th ed., New York: John Wiley.
- Farhad, Sh., 2012, Los sistemas socioecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica, *XIII Jornadas de Economía Crítica*, 265-280.
- Feng, Y., Jie, D., Guo, M., Dong, S., Chen, X., Liu, H., Liu, L., Li, N., 2017. Phytolith loss and enrichment in soil phytolith assemblages revealed by comparisons of phytoliths in vegetation and surface soils of altitudinal belts in the Changbai Mountains, Northeast China, *Flora* 236-237 (2017), 84-93.
- Fernandes, M., Oliva, M., Palma, PP., Ruiz-Fernández, J., Lopes, L. 2017. Glacial stages and postglacial environmental evolution in the Upper Garonne valley, Central Pyrenees, *Science of the Total Environment* 584-585 (2017), 1282-1299.
- Ferré, A., Ninot, J.A., Batllori, E., Carreras, J., Carrillo, E., Monje, X., Vigo, J., 2013. From Vegetation Mapping to a prediction for landscape evolution in the Catalan Pyrenees, *Colloques Phytosociologiques* 24, 227-235.
- Fillat, F., García González, R., Gómez-García, D., Reiné, R., 2008. *Pastos del Pirineo*. CSIC-Diputación de Huesca. 319pp.
- Finné, M., Woodbridge, J., Labuhn, I., Roberts, N., 2019. Holocene hydroclimatic variability in the Mediterranean: A synthetic multiproxy reconstruction, *The Holocene* (2019), Vol. 29(5), 847-863.
- 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 (2008), 451-464.
- Fletcher, W.J., Debert, M., Sánchez-Goñi, M.F., 2012. Mid-Holocene emergence of a low-frequency millennial oscillation in western Mediterranean climate: Implications for past dynamics of the North Atlantic atmospheric westerlies, *The Holocene* (2013) 23 (2), 153-166.
- Folke, C., 2006. Resilience, The emergence of a perspective for socioecological systems analyses, *Global Environmental Change* 16 (2006), 253-267.

- Fortó, A., Vidal, A., (Coords.) 2016. *Comunitats agrícoles al Pirineu. L'ocupació humana a Juberrí durant la segona meitat del Vè mil·lenni cal AC (Feixa del Moro, Camp del Colomer i Carrer Llinàs 28, Andorra)*, Monografies del Patrimoni Cultural d'Andorra, 306pp.
- Fredlund, G., Tieszen, L., 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography* 21, 321-335.
- French, C., 2003. *Geoarchaeology in action. Studies in soil micromorphology and landscape evolution*, Routledge, 320pp.
- Furundarena, J., Jiménez, J.M., 1998. Los conceptos de estadio e interestadio. Bases para un análisis ecosistémico, *Munibe (Antropología Arkeologia)* 50, 15-91.
- Gallego-Lletjós, N., 2013. *El Mesolítico en la Península Ibérica. Historia crítica de la investigación y estado actual del conocimiento*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 794pp.
- Galop, D., 2006. La conquête de la montagne pyrénéenne au Néolithique. Chronologie, rythmes et transformations des paysages à partir des données polliniques. En: Guilaine, J. (Coord.), 2006. *Populations néolithiques et environnement*, Ed. Errance, Paris, 279-295.
- Galop, D., 2016. Évolutions paléo-environnementales en vallée d'Ossau du Néolithique à l'Époque contemporaine. En: Rendu, Ch., Calastrenc, C., Le Couedic, M., Berdoy, A., (Coords.) 2016. *Estives d'Ossau. 7000 ans de pastoralisme dans les Pyrénées*, Edicions Le Pas d'oseau, 161-173.
- Galop, D., Vannière, B., Fortugne, N. 2002. Human activities and fire history since 4.500 BC on the northern slope of the Pyrenees, a record from Cuguron (central Pyrenees, France). En: Thiebault, S. 2002 (Ed.), *Charcoal Analysis, Methodological approaches, Palaeoecological results and wood uses*. BAR International Series 1063, 43-51.
- Galop, D., Vannière, B., Lopez-Saez, J.A., 2003. Des abattis brûlés néolithiques au système agropastoral pyrénéen actuel. Mise en évidence pluridisciplinaire de l'évolution du système agraire dans une vallée du piémont nord pyrénéen entre le Néolithique ancien et l'Antiquité tardive. En: *Actes du XII<sup>e</sup> Colloque international d'archéologie de Puigcerda. Pirineus i veïns al 3r Mil·lenni AC*, Puigcerda, 82-94.
- Galop, D., Carozza, L., Marembert, F., Bal, M.C., 2007. Activités agropastorales et climat durant l'Âge du Bronze dans les Pyrénées, l'état de la question à la lumière des données environnementales et archéologiques. En: Richard, H., Magny, M., Mordant, C. (Eds.) 2007 *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale*, CTHS, France, 395pp.
- Galop, D., Rius, D., Cugny, C., Mazier, F., 2013. A History of Long Term Human-Environment Interactions in the French Pyrenees Inferred from the Pollen Data. En: Lozny, L.R. (Ed.), 2013. *Continuity and Change in Cultural Adaptation to Mountain Environments. From Prehistory to Contemporary Threats*, Springer, 19-30.
- Gao, G., Jie, D., Wang, Y., Liu, L., Liu, H., Li, D., Li, N., Shi, J., Leng, C., 2018a. Phytolith reference study for identifying vegetation changes in the forest grassland region of northeast China. *Boreas (Vol. 47)*, 481-497.
- Gao, G., Jie, D., Li, D., Li, N., Liu, L., Liu, H., Shi, J., Leng, C., Wang, J., Liu, b., Li, PP., 2018b. Reliability of phytoliths for reconstructing vegetation dynamics in northern temperate forest regions: A case study in northeast China, *Quaternary Science Reviews* 201 (2018), 1-12.
- Gao, G., Jie, D., Wang, Y., Liu, L., Liu, H., Li, D., Li, N., Shi, J., Leng, C., Qiao, Z., 2018c. Assessment and calibration of representational bias in soil phytolith assemblages in Northeast China and its implications for paleovegetation reconstruction

Garcés-Pastor, S., Cañellas-Boltà N., Pèlachs A., Soriano J.M., Pérez-Obiol R., Pérez Haase A., Calero M.A., Andreu O., Escolà N., Vegas-Vilarrúbia T., 2017. Environmental history and vegetation dynamics in response to climate variations and human pressure during the Holocene in Bassa Nera, Central Pyrenees, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 479 (2017), 48-60.

García-Ruiz, J. M., Moreno, A., González-Sampériz, P., Valero-Garcés B., Martí Bono C., 2010. La cronología del último ciclo glaciario en las montañas del sur de Europa. Una revisión. *Rev. Cuaternario y Geomorfología*, 24 (1-2), 35-46.

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

García-Casas, D. 2013 Aproximación al poblamiento de las zonas de alta montaña pirenaicas desde la arqueología y la etnografía, *SAGVNTVM (PP.L.A.V.)*45 (2013), 221-239.

García-Casas, D. 2018. *Arqueologia d'un territori d'altamuntanya del Pirineu Central. Persones, ramats i prats al llarg de la història al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, 495 pp.

García-Casas, D., Gassiot, E., Mazzucco, N., Obea, L., Rodríguez-Antón, D. 2013. Mes de 2.000 anys d'arquitectura ramadera al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. En: *L'Investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, Boí (Alta Ribagorça), 17,18 y 19 d'octubre de 2012*. Ed. Generalitat de Catalunya, 261-274.

García-Casas, D., Gassiot, E., Mazzucco, N., Obea, L., Puig, E., Rodríguez-Antón, D., 2015. On són els vius? El poblament de l'Alt Pirineu occidental durant el II mil·lenni cal ANE. En: *La Transició Bonzeze Final - 1ª Edat del ferro en els Pirineus i Territoris Veïns*. Institut d'Estudis Ceretans, 153-166.

García-Martínez de Lagrán, I., Rojo-Guerra, M.A., Iriarte, E., García-Gazólaz, J., Tejedor-Rodríguez, Cr., Gibaja-Bao, J.F., Moreno-García, M., Pérez-Jordá, G., Ruiz-Alonso, M., Sesma-Sesma, J., Garrido-Pena, R., Carrancho-Alonso, Á., Peña-Chocarro, L., 2014, Paleoambiente y cambios culturales en los inicios del Holoceno: el abrigo de Artusia (Unzué, Navarra), *Trabajos de Arqueología Navarra Nº26, Separata*, 7-98.

García-Martínez de Lagrán, I., Iriarte, E., García Gazólaz, J., Tejedor Rodríguez, Cr., Gibaja-Bao, J.F., Moreno-García, M., Pérez-Jordá, G., Ruiz-Alonso, M., Sesma-Sesma, J., Garrido-Pena, R., Carrancho-Alonso, Á., Peña-Chocarro, L., Rojo-Guerra, M.A., 2016. 8.2 ka BP paleoclimatic event and the Ebro Valley Mesolithic groups: Preliminary data from Artusia rock shelter (Unzué, Navarra, Spain), *Quaternary International* 403 (2016), 151-173.

García-Moreno, A., 2007. La evolución del paisaje en la transición al Holoceno. Desarrollo de un modelo predictivo de vegetación en el valle del Asón (Cantabria), *Trabajos de Prehistoria* 64, N.2 (Julio-Diciembre 2007), 55-71.

García-Pausas, J., Romanyà, J., Moutané, F., Rios, A.I., Taull, M., Casals, PP., 2017. Are Soil Carbon Stocks in Mountain Grasslands Compromised by Land-Use Changes?, En: Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.) 2017. *High Mountain Conservation in a Changing World*, Advances in Global Change Research 62, Springer, 207-230.

García-Ruiz, J. M., Moreno, A., González-Sampériz, PP., Valero-Garcés, B., Martí-Bono C., 2010. La cronología del último ciclo glaciario en las montañas del sur de Europa. Una revisión. *Cuaternario y Geomorfología* 24 (12), 35-46.



Gardes, Ph., 1996. La néolithisation des piémonts pyrénéens occidentaux: un phénomène de longue durée?, *Actas del I Congreso de Neolítico en la Península Ibérica, Rubricatum* 1(2), 863-877.

Gassiot, E., 2001. *Anàlisi arqueològica del canvi cap a l'explotació del litoral*, Tesis Doctoral, Departament de Prehistòria, UAB, 543pp.

Gassiot, E., 2002. *Producción y cambio en las formaciones sociales cazadoras recolectoras*, Boletín de Antropología Americana 38, México D.F., 5-95.

Gassiot, E. 2011. Excavació arqueològica a la Cova del Sardo (Boí). Memòria final de les intervencions de 2006, 2007 i 2008. *Memòria d'intervenció arqueològica Núm. 8479*. Barcelona, Servei d'Arqueologia.

Gassiot, E. (Ed.), 2016. *Montañas humanizadas. Arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, Naturaleza y Parques Nacionales, 254 pp.

Gassiot, E., Pèlachs, A., 2017. La ocupación ganadera de los Pirineos occidentales de Catalunya en época romana e inicios de la Edad Media. *Treballs d'Arqueologia*, 2017, núm. 21, pp. 287-306.

Gassiot, E., Pèlachs, A., Bal, M.C., Garcia, V., Julià, R., Rodríguez-Antón, D., Astrou, A.Ch., 2010. Dynamiques des activités anthropiques sur un milieu montagnard dans les Pyrénées occidentales catalanes durant la Préhistoire: une approche multidisciplinaire. En: Tzoertzis, S., Delestre, X., Greck, J.(Dir.), 2010. *Archéologie de la Montagne Européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap (29 septembre 1er octobre 2008)*, Bibliothèque d'Archéologie de la Méditerranéenne et Africaine - 4, Errance, Paris, 33-43.

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. En: *Cuaternario y Geomorfología*, Vol 26 (34), 29-45.

Gassiot, E., Garcia-Casas, D., Mazzucco, N., Obea, L., Oliva, M., Rodríguez-Antón, D., Burjachs, F., Antolín, F., 2013. Una historia de llarga durada. L'ocupació humana del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de San Maurici i àrees properes durant els darrers 10.000 anys. En: *2013 Primeres jornades d'Arqueologia i Palentologia del Pirineu i Aran*, Ed. Generalitat de Catalunya, 102-109.

Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D., Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Julià, R., Bal, M., C., Mazzucco, N., 2014. La alta montaña durante la Prehistoria, 10 años de investigación en el Pirineo Catalan occidental, *Trabajos de Prehistoria* 71, N° 2 julio diciembre 2014, 262-282.

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, *Tribuna d'arqueologia* 2013-2014, 199-218.

Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Obea, L., Garcia-Casas, D., Rodríguez-Antón, D., 2016. Surface surveying in high mountain areas, is it possible? Some methodological considerations, *Quaternary International* 402 (2016), 35-45.

Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Rodríguez-Antón, D., Obea, L., Quesada, M., Díaz-Bonilla, S., 2017. The beginning of high mountain occupations in the Pyrenees. Human settlements and mobility from 10.500 cal BP to 4.500 cal BPP. En: Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.) 2017. *High Mountain Conservation in a Changing World*, Advances in Global Change Research 62, Springer, 75-106.

Gassiot, E., Rey, J., Clemente, I., Obea, L., Díaz-Bonilla, S., Quesada, M., García-Díaz, V., Carcia Casas, D., Rodríguez-Antón, D., 2018. Estructuras de almacenaje prehistóricas en la cueva redil de Coro Trasito

(Tella-Sin, Huesca). En: *II Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés: Actas, Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón*, 41-48.

Gassiot, E., Díaz-Bonilla, S., Mazzucco, N., Obea, L., Clemente, I., Quesada, M., Rodríguez-Antón, D., 2019. Ocupacions humanes reiterades al llarg del temps: excavació arqueològica de l'Abric de les Obagues de Ratera. En: *La investigación al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, XI Jornades sobre Recesca, Boí, Generalitat de Catalunya*, 237-249.

Gassiot, E., Garcia, D., Nunes, J., Salvador, G. (2020). Modelización de territorios ganaderos en la alta montaña al final del Neolítico: una integración de análisis espacial e información etnográfica. *Trabajos de Prehistoria*, 77 (1), (en prensa).

Gavrilov, D.A., Loiko, S.V., Klimova, N.V., 2018. Holocene Soil Evolution in South Siberia Based on Phytolith Records and Genetic Soil Analysis (Russia), *Geosciences* 2018, 8, 402, 17pp.

Geddes, D., Guilaine, J., Coularou, J., Le Gall, O., Martzluff, M., 1985. Postglacial Environments, Settlement and Subsistence in the Pyrenees, the Balma Margineda, Andorra. En: Clive Bonsal (Ed.) 1985. *Mesolithic in Europe*, Edinburgh, 561-571

Gibbard, P.P., Walker, M.J.C., 2014. The term 'Anthropocene' in the context of formal geological classification. En: *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene, Geological Society of London, Special Publications*, Vol. 395, 29-37.

Gómez-García, D., 2008. Pastos del Pirineo: Breve descripción ecológica y florística, En: Fillat, F., García González, R., Gómez-García, D., Reiné, R., 2008. *Pastos del Pirineo*. CSIC-Diputación de Huesca, 111-140.

Gómez-González, C., Ruíz-Zapata, M.B., López-Sáez, J.A., 2009. Algunos palinomorfos polínicos y no polínicos como indicadores de antropización: un ejemplo, *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, Vol. 8, Nº. 1 (enerojunio de 2009), 2-7.

González-Álvarez, D., 2015. *Poblamiento y antropización de la montaña occidental cantábrica durante la prehistoria reciente: una aproximación desde la arqueología del paisaje*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 523pp.

González-Sampériz, P.P., Valero-Garcés, B.L., Moreno, A., Jalut, G., García-Ruiz, J.M., Martí-Bono, C., Delgado-Husrtas, A., Navas, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees during the last 30.000 yr revealed by the El Portalet sequence. En: *Quaternary Research* 66 (2006), 38-52.

González-Sampériz, P.P., Utrilla, P.P., Mazo, C., Valero-Garcés, B., Sopena M.C., Morellón, M., Sebastián, M., Moreno, A., MartínezBea, M., 2009. Patterns of human occupation during the early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in response to the 8.2 ka climatic event, *Quaternary Research* 71 (2009), 121-132.

González-Sampériz, P.P., Aranbarri, J., Pérez Sanz, A., Gil Romera, G., Moreno, A., Leunda, M., Sevilla Callejo, M., Corella, J.P.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 (2017), 668-688.

González-Sampériz, P.P., Montes, L., Aranbarri, J., Leunda, M., Domingo, M., Laborda, R., Sanjuán, Y., Gil-Romera, G., Lasanta, T., García Ruiz, J.M., 2019. Escenarios, tempo e indicadores paleoambientales para la identificación del Antropoceno en el paisaje vegetal del Pirineo central (NE Iberia), *Cuadernos de Investigación Geográfica* 45(1), 167-193.

- Guilaine, J. (Ed.), 2006. *Populations néolithiques et environnement*, Errance, Paris, 295 pp.
- Guilaine, J., 2018. A personal view of the neolithisation of the Western Mediterranean, *Quaternary International* 470 (2018), 211-225.
- Gurevitch, J., Scheiner, S.M., Fox, G.A., 2002. *The Ecology of Plants*, Sinauer Associate, 518pp.
- Gutiérrez F., Gutiérrez M. (Eds.), 2014. *Landscapes and Landforms of Spain, World Geomorphological Landscapes*, Springer, 348pp.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, o., Akhalkatsi, M., Benito Alonso, J.L., Coldea, G., Dick, J., Erschbamer, B., Fernández Calzado, R., Ghosn, D., Holten, J.I., Kanka, R., Kazakis, R., Kollár, J., Larsson, PP., Moiseev, PP., Moiseev, D., Molau, U., Molero Mesa, J., Nagy, L., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A.O., Theurillat, J.PP., Tomaselli, M., Unterluggauer, PP., Villar, L., Vittoz, PP., Grabherr, G., 2012. Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits, *Science* 336 (6079), 353-355.
- Hamon, C., Emery-Barbier, A., Messenger, E., 2011. Quelle fonction pour les meules du Néolithique ancien de la moitié Nord de la France? Apports et limites de l'analyse phytolithique, *Revue archéologique de Picardie. Numérospecial 28* (2011), 515-521.
- geos, M., 1968. *The Rise of Anthropological Theory: A History of Theories of Culture*, Alta Mira Press (2001), 822 pp.
- Harris, E.C., 1979. *Principles of archaeological stratigraphy*, Academic Press, New York, 136pp.
- Hart, T.C., 2016. Issues and directions in phytolith analysis, *Journal of Archaeological Science* 68 (2016), 24-31.
- Haslam, M., Hernandez-Aguilar, A., Ling, V., Carvalho, S., De la Torre, I., De Stefano, A., Du, A., Hardy, B., Harris, J., Marchant, L., Matsuzawa, T., McGrew, W., Mercader, J., Mora, R., Petraglia, M., Roche, H., Visalberghi, E., Warren, R., 2009. Primate archaeology. *Nature* 460, 339-344.
- Hempel, C.G., 1962. Deductive-nomological vs. statistical explanation, En: Feigl, H., Maxwell, G., (Eds.), 1962. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 3, University of Minnesota Press, Minneapolis, 98-169.
- Hodder, I., Hutson, S., 2003. *Reading the Past. Current approaches to interpretation in archaeology*, Cambridge University Press, 293 pp.
- Hollyday, C.T., 1992. *Soils in Archaeology: Landscape Evolution and Human Occupation*. Smithsonian Institution Press, 254pp.
- Jacomet, S., Ebersbach, R., Akeret, O., Antolín, F., Baum, T.G., Bogaard, A., Brombacher, C., Bleicher, N., Heitz Weniger, A., Hüster Plogmann, H., Gross, E., Kühn, M., Rentzel, PP., Schibler, J., Steiner, B., Wick, L., 2016. Onsite data casts doubt on the hypothesis of shifting cultivation in the Late Neolithic (c. 4300-2400 cal. BC). Landscape management as an alternative paradigm, *Holocene* 26 (11), 1858-1874.
- Jalut, G., 2006. Le Climat, la végétation et l'home en Méditerranée à l'Holocène, En: Guilaine, J., (Ed.), 2006, *Populations Néolithiques et enivremments*, Errance, Paris, 215-240.
- Jattisha, PP. I., Sabu, M., 2012. Phytoliths as a Tool for the Identification of Some Chloridoideae Grasses in Kerala, *ISRN Botany, Vol. 2012*, 9pp.

- Jiménez, J., 2006. *La imagen de los espacios de alta montaña en la prehistoria: El caso de los Pirineos Catalanes Occidentales*, Trabajo de investigación, Dept. Prehistòria, UAB, 292pp.
- Kadowaki, S., Maher, L., Portillo, M., Albert, R.M., Akashi, Ch., Guliyev, F., Nishiaki, Y., 2015. Geomorphological and palaeobotanical evidence for prehistoric cereal storage in the southern Caucasus: the Neolithic settlement of Göytepe (mid 8th millennium BP), *Journal of Archaeological Science* 53 (2015), 408-425.
- Katz, O., Cabanes, D., Weiner, St., Maeir, A.M., Boaretto, E., Shahack-Gross, R., 2010. *Rapid phytolith extraction for analysis of phytolith concentrations and assemblages during an excavation, an application at Tell esSafi/Gath, Israel*, *Journal of Archaeological Science* 37 (2010), 1557-1563.
- Kuhn, T., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 240pp.
- Lacan, M., Keyser, C., Ricaut, F. X., Brucato, N., Tarrús, J., Bosch, A., Guilaine, J., Crubézy, E., Ludes, B., 2011. Ancient DNA suggests leading role played by men in the Neolithic dissemination. *Proceedings of the National Academy of Science*, 108, 18255-18259.
- Langlais, M., Costamagno, S., Laroulandie, V., Pétilion, J.M., Discamps, E., Mallye, J.B., Cochard, D., Kuntz, D., 2012., The evolution of Magdalenian societies in SouthWest France between 18.000 and 14.000 calBP: Changing environments, changing tool kits, *Quaternary International* 272-273 (2012), 138-149.
- Lakatos, I., 1982. *La Metodología de los programas de investigación científica*, Alianza, 315pp.
- Le Couédic, M., Rendu, Ch., Garcia-Casas, D., Gassiot, E., Calastrenc, C., Clemente, I., Forto, A., Guillot, Fl., Nunes, J., Pujol, F., Rey, J., Contamine, T., Mazzucco, N., Obea, L., Quesada, M., Rodríguez-Antón, D., 2016. Comparer et modéliser les sites, les territoires et les systèmes pastoraux pyreneens dans la diachronie, présentation et premiers résultats du projet collaboratif Dynamiques des Espaces Pyrénéens d'Antitude (Départ). En: Debofle, PP., Sanchez, JCh. (Eds.), 2016. *Pays Pyrénéens et Environnement*, 321-338.
- Leeuw, S. V.d., Favory, F., Fiches, J.L., 2003. *Archéologie et systèmes socio-environnementaux : études multiscalaires sur la vallée du Rhône dans le programme ARCHAEOEDEDES*, CNRS Editions. Paris, 403pp.
- Leigh, D.S., Gragson, Th.L., Coughlan, M.R., 2015. Chronology and pedogenic effects of mid to lateHolocene conversion of forests to pastures in the French western Pyrenees, *Zeitschrift für Geomorphologie*, Vol. 59 (2015), Suppl. 2, 225-245.
- Leigh, D.S., Gragson, Th.L., Coughlan, M.R., 2016. Colluvial legacies of millennial landscape change on individual hillsides, placebased investigation in the western Pyrenees Mountains, *Quaternary International* 402 (2016), 61-71
- Lenin, V., 1933. *Cuadernos filosóficos*, Madrid, Ed. Ayuso (1974), 598 pp.
- Leunda, M, González-Sampériz PP., GilRomera, G., Aranbarri, J., Moreno, A., Corella, J.PP., Oliva Urcía, B., Sevilla Callejo, M., Valero-Garcés, B., 2017. The Late Glacial and Holocene Marboré Lake sequence (2612 m a.s.l., Central Pyrenees, Spain): Testing high altitude sites sensitivity to millennial scale vegetation and climate variability, *Global and Planetary Change* 157 (2017), 214-231.
- Li, D.H., Jie, D.M., Liu, L.D., Liu, H.Y., Gao, G.Z., Gao, Z., Li, N.N., 2018. Herbaceous phytoliths from forest and grassland in Northeast China: Potential significance for determining past forest–grassland boundaries, *Flora* 243 (2018), 19-31.

- Lillios K.T., Blanco González, A., Lee Drake B, López-Sáez, J.S., 2016. Midlate Holocene climate, demography, and cultural dynamics in Iberia: A multiproxy approach, *Quaternary Science Reviews* 135 (2016), 138-153.
- Lisztes-Szabó, Z., Braun, M., Csik, A., Peto, A., 2019. Phytoliths of six woody species important in the Carpathians: characteristic phytoliths in Norway spruce needles, *Vegetation History and Archaeobotany* (2019) 28, 649-662.
- Lozny, L.R. (Ed.), 2013. *Continuity and Change in Cultural Adaptation to Mountain Environments. From Prehistory to Contemporary Threats*, Springer, 410pp.
- Lu, H., Liu, K., 2003a. Phytolith of common grasses in the coastal environments of southwestern USA, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 58 (2003), 587-600.
- Lu, H., Liu, K., 2003b. Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the south-eastern United States, *Diversity and Distributions* (2003), 9, 73-87.
- Lumley, M.A., 2015. L'homme de Tautavel. Un Homo erectus européen évolué. Homo erectus tautavelensis, *L'anthropologie* 119 (2015), 303-348.
- Lyell, Ch., 1833. *Principles of Geology*, Penguin Classics (1998), London, 528pp.
- Madella, M., PowersJones, A.H., Jones, M.K., 1998. A Simple Method of Extraction of Opal Phytoliths from Sediments Using a Non-Toxic Heavy Liquid, *Journal of Archaeological Science* 25 (1998), 801-803.
- Madella, M., Alexandre, A., Ball, T. (ICPN Working Group), 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0, *Annals of Botany* 96, 253-260.
- Madella, M., Zurro, D. (Eds.) 2007. *Plant, people and places. Recent studies in phytolith analysis*, Oxbow Books Limited, Oxford, 272pp.
- Madella, M., Lancelotti, C., 2012. Taphonomy and phytoliths, A user manual, *Quaternary International* 275 (2012), 76-83.
- Madella, M., Lancelotti, C., Osterrieth, M. (Eds.), 2013. Comprehensive perspectives on phytolith studies in Quaternary Research, *Quaternary International* 287, 180pp.
- Maluquer, J., 1948. Notas sobre la Cultura Pirenaica catalana, *Pirineos* 7, 113-127.
- Mander, L., Punyasena, S.W., 2018. Fossil Pollen and Spores in Paleoecology, En: Croff, D.A., Su, D.F., Simpson, S.W., (Eds.), 2018. *Methods in Paleoecology. Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*, Springer, 215-234.
- Mann, D.G., 1989. The species concept in diatoms: evidence for morphologically distinct, sympatric gamodemes in four epipelagic species, *Plant Systematics Evolution* 164, 215-237.
- Mangado, X., Bergedà, M.M., Langlais, M., Esteve, X., Tejero, J.M., Estrada, A., Nadal, J., Mercadal, O., Fullola, J.M., 2010. Monlleó: un gisement des chasseurs magdaléniens Dans la plaine de la Cerdagne. L'occupation d'un espace montagnard Dans les Pyrénées de la Catalogne? En: Tzoertzis, S., Delestre, X., Greck, J. (Dir.), 2010. *Archéologie de la Montagne Européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap (29 septembre 1er octobre 2008)*, Bibliothèque d'Archéologie de la Méditerranéenne et Africaine - 4, Errance, Paris, 137-144.
- Mangado, X., Mercadal, O., Bergedà, M.M., Nadal, J., Langlais, M., Tejero, J.M., Esteve, X., Medina, B., Rodríguez, N., Grimano, J., Fullola, J.M., 2011. Montlleó (Prats i Sansor, Cerdanya). Balanç de 10 campanyes d'excavació, *Tribuna de Arqueologia* 2009/2010 (16), 27-52.

- Marean, C.W., 2015, An Evolutionary Anthropological Perspective on Modern Human Origins, *Annual Review of Anthropology* (2015), 44,533-56.
- Martzluff, M., Martínez-Moreno, J., Casanova, J., Mora, R., 2010. La montagne comme modèle d'enregistrement des mutations «culturelles» précoces: les cas de l'Azilien et du Sauveterrien en Pyrénées catalanes. En: Tzoertzis, S., Delestre, X., Greck, J.(Dir.), 2010. *Archéologie de la Montagne Européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap (29 septembre 1er octobre 2008)*, Bibliothèque d'Archéologie de la Méditerranéenne et Africaine - 4, Errance, Paris, 161-170.
- Martí Bono, C.E. 2006. *Principales procesos erosivos en el Pirineo aragonés*, Curso de Verano de la Universidad de Zaragoza, Instituto Pirenaico de Ecología - CSIC, Jaca (inédito), 8pp.
- Martin, L., Delhon, Cl., Argant, J., Thiébault, S., Pelletier, D., 2012. Plant exploitation and diet in altitude during Mesolithic and Neolithic, Archaeobotanical analysis from a hunting camp in the Chartreuse massif (l'AulpduSeuil, Isère, France), *Review of Palaeobotany and Palynology* 185 (2012), 26-34.
- Martín-Vide, J., 1996. El Clima i el Relleu. En: *Carreras i Verdager, C. (Dir.), 1996. Geografia General dels Països Catalans, Vol.1*, Barcelona, 1-110.
- Martínez-Moreno, J., Mora, R., Casanova, J., 2006. El Mesolítico de los Pirineos suorientales: una reflexión sobre el significado de la facies de fortuna del Postglaciar. En: Aladay, A. (Coord.), 2006. *El mesolítico de muescas y denticulados en la cuenca del Ebro y el litoral mediterráneo peninsular*, Diputación Foral de Álava, VitoriaGasteiz, 163-190.
- Martínez-Moreno, J., Mora, R., 2009. Balma Guilanyà (Prepirineo de Lleida) y el Aziliense en el noreste de la Península Ibérica, *Trabajos de Prehistoria* 66, N.2, juliodiciembre 2009), 45-60.
- Martínez-Moreno J., Mora R., 2011. Spatial organization at Font del Ros, a Mesolithic settlement in the southeastern Pyrenees, En: S. Gaudzinski, O. Jöris, M. Sensburg, M. Street, E. Turner (Eds.), 2011. *Siteinternal spatial organization of huntergatherer societies: Case studies from the European Palaeolithic and Mesolithic*, Mainz, RGZM, 213-231.
- Martínez-Rius, A., Comas, J., Rodríguez-Fernández, L.R., 2011. *Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. Guía geológica. Guías geológicas de parques nacionales*. Instituto Geológico y Minero de España. Organismo Autónomo de Parques Nacionales,227pp.
- Marx, K., Hobsbawm, E., 1964. *Formaciones económicas precapitalistas*, Barcelona, Ed. Crítica (2001), 119pp.
- 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 southeastern Pyrenees, Iberian Peninsula. A territorial study based on GIS, *Journal of Archaeological Science: Reports* 22 (2018), 237-247.
- Mauseth J.D. 1988. *Plant Anatomy*. Benjamin/Cummings, 560pp.
- Mazier, F., Galop, D., Gaillard, M.D., Rendu, C.,Cugny, C.,Legaz, A.,Peyron, O.,Buttler, A. 2009. Multidisciplinary approach to reconstructing local pastoral activities, an example from the Pyrenean Mountains (Pays Basque), *The Holocene* 19 (2), 171-188.
- Mazzucco, N., 2014. *The human occupation of the southern central Pyrenees in the sixth third millennium cal BC: A traceological analysis of flaked stone assemblages*, Tesis Doctoral, Departament de Prehistòria, UAB, 432pp.
- Mazzucco, N., 2018. *The Human Occupation of the Southern Central Pyrenees in the Sixth Third Millennium cal BC: A traceological analysis of flaked stone assemblages*, B.A.R., 313pp.

- Mazzucco, N., Clemente, I., Baldellou, V., Gassiot, E., 2013. The management of lithic resources during the V millennium cal BC at Espluga de la Puyascada (La Fueva, Huesca), *Preistoria Alpina*, 47 (2013), 57-67.
- Mazzucco, N., Gassiot, E., Ortega, D., Clemente, I., Rodríguez-Antón, D. 2013. Lithic procurement at the Cova del Sardo during Neolithic, preliminary data on mobility strategies, *Archeologia Postmedievale* 17 (2013), 87-96.
- Mazzucco, N., Clemente, I., Gassiot, E., Gibaja-Bao, J.F., 2015. Insights into the economic organization of the first agropastoral communities of the NE of the Iberian Peninsula: A traceological analysis of the Cueva de Chaves flaked stone assemblage, *Journal of Archaeological Science: Reports 2* (2015), 353-366
- Mazzucco, N., Clemente, I., Gassiot, E., Rodríguez-Antón, D. 2016. Ocupaciones de montaña en el marco de los primeros grupos agropastorales del Pirineo Central en el VI milenio cal ANE, una perspectiva paleoeconómica, *Munibe (Antropología-Arkeologia) nº67*, 339-348.
- Mazzucco, N., Gibaja-Bao, F., 2018. A palaeoeconomic perspective on the Early Neolithic lithic assemblages of the NE of the Iberian Peninsula, *Quaternary International 472* (2018), 236-245.
- Mazzucco, N., Clemente, I., Gassiot, E., 2019. Lost in the mountains? The Cova del Sardo and the Neolithisation of the Southern Central Pyrenees (fifththird mill. cal BC), *Archaeological and Anthropological Sciences* (2019) 11, 1461-1475.
- McGuire, R.H., 1992. *A Marxist archaeology*, Academia Press, New York, 319 pp.
- Meignem, L., Goldberg, P.P., Albert, R.M., Bar-Yosef O. 2009. Structures de combustion, choix des combustibles et degré de mobilité des groupes dans le Paléolithique moyen du Proche-Orient (grottes de Kébara et d'Hayonim, Israël). En: 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* Vol. 13, Session WS21, BAR International Series 1914 (2009), 101-118.
- Mercuri, A.M., Florenzano, A., Burjachs, F., Giardini, M., Kouli, K., Masi, A., Picornell-Gelabert, L.L., Revelles, J., Sadori, L., Servera-Vives, G., Torri, P.P., Fyfe, R., 2019. From influence to impact: The multifunctional land use in Mediterranean prehistory emerging from palynology of archaeological sites (8.0-2.8 ka BP), *The Holocene* (2019), Vol. 29(5), 830-846.
- Milankovitch, M. 1920. *Théorie mathématique de phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. Gauthiers Volars, Paris, 338pp.
- Miras, Y., Ejarque, A., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H., Euba, I. 2007. Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels Estanyons (2180 m, Vall del Madriu, Andorre), *C.R. Palevol*, 6 (4), 291-300.
- Molist, M., Ribé, G., Saña, M., 1996. La transición del V milenio Cal BC en Catalunya, En: *Actas del I Congreso de Neolítico de la Península Ibérica*, Rubricatum, Nº1 (2), 781-790.
- Molist, M., Burjachs, F., Piqué, R., 2003. Paisatge, territori i hàbitat als vessants meridionals dels Pirineus, en el III mil·lenni, En: *Actes du XII<sup>e</sup> Colloque international d'archéologie de Puigcerda. Pirineus i veïns al 3r Mil·lenni AC*, Puigcerda, 179-198.

Montes, L., Domingo, R., González-Sampériz, P., Sebastian, M., Aranbarri, J., Castaños, P., García-Simón, L.M., Alcolea, M., Laborda, R., 2016. Landscape, resources and people during the Mesolithic and Neolithic times in NE Iberia: The Arba de Biel Basin, *Quaternary International* 403 (2016), 133-150.

Montserrat, J. M., 1992. *Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo, Estudio Palinológico*, Zaragoza, Instituto Pirenaico de Ecología, C.S.I.C., 147 pp.

Mora, R., Benito-Calvo, A., Martínez-Moreno, J., González-Marcés, PP., de la Torre, I., 2011. Chronostratigraphy of the Upper Pleistocene and Holocene archaeological sequence in Cova Gran (southeastern PrePyrenees, Iberian Peninsula), *Journal of Quaternary Science* (2011) 26(6), 635-644.

Morales, J. I., Fontanals, M., Oms, F. X., Verges J. M. 2010. La chronologie du Néolithique ancien cardial du NordEst de la Péninsule Ibérique. Datations, problématique et méthodologie, *L'Anthropologie* 114, 427-444.

Morales, J. I., Oms, F. X., 2012. Las últimas evidencias mesolíticas del NE peninsular y el vacío preNeolítico, *Rubricatum. Revista del Museu de Gavà*, 5 (2012), 35-41.

Moore, PP., Webb, J., Collison, M., 1991. *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications, London, 216pp.

Morgan, L.H., 1877. *La sociedad Primitiva*, Ayuso (1975), 559 pp.

Mortillet G. De, 1883. *Le Préhistorique. Antiquité de l'Homme*. Nabu Press (2010), 656 pp.

Nadal, J., Pèlach, A., Soriano, J.M., Molina, D., Cunill, R., Bal, M.C., 2009. Mètodes per a l'estudi transdisciplinari del paisatge d'arees de muntanya. En: *Document d'Anàlisi Geogràfica* 55 (2009), 147-170.

Naughton, F., SánchezGoñi, M.F., Kageyama, M., Bard, E., Duprat, J., Cortijo, E., Desprat E, S, Malaizé, B., Joly, C., Rostek, F., Turon, J.L., 2009. Wet to dry climatic trend in northwestern Iberia within Heinrich events, *Earth and Planetary Science Letters* 284 (2009), 329-342.

Neuman, K, Strömberg, C., Ball, T., Albert, R.M., Vrydaghs, L., Cummings, S.: International Committee for Phytolith Taxonomy (ICPT), 2019. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0, *Annals of Botany* 124 (2019), 189-199.

Nigst, Ph.R., Haesaerts, PP., Damblon, F., FrankFellner, Ch., Mallol, C., Viola, B., Götzinger, M., Niven, L., Trnka, G., Hublin, J.J., 2014. Early modern human settlement of Europe north of the Alps occurred 43,500 years ago in a cold steppetype environment, *PNAS (October 7, 2014)*, vol. 111, N<sup>o</sup>. 40, 14394-14399.

Ninot, J.M., Carrillo, E., Font, X., Carreras, J., Ferre, A., Masalles, R. M., Soriano, I., Vigo, J., 2007. Altitude zonation in the Pyrenees. A geobotanic interpretation. *Phytocoenologia* 37 (34), 371-398.

Ninot, J.M., Ferré, A., 2008. Plant diversity across five vegetation belts in the Pyrenees (Catalonia, Spain), *Collectanea Botanica (Barcelona)*, vol. 27 (2008), 65-74.

Ninot, J.M., Anadon-Rosell, A., Caminal, M., Carrillo, E., Grau, O., Illa, E., Lloret, F., Nogués, S., Talavera, M., 2017a. Los arbustos de alta montaña y los cambios de paisaje en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. En: Amengual, P., (Ed.) 2017. *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2012-2015*, Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, 209-228.

Ninot, J.M., Carrillo, E., Ferré, A., 2017b. The Pyrenees. En: Loidi, J. (Ed.), 2017. *The Vegetation of the Iberian Peninsula*, Plant and Vegetation, 12, Springer, 640pp: 323-366.



Novello A., Barboni, D., 2015. Grass inflorescence phytoliths of useful species and wild cereals from sub Saharan Africa, *Journal of Archaeological Science* 59 (2015), 10-22.

Lancelotti, C., Madella, M., 2012. The invisible product, developing markers for identify dung in archaeological contexts, *Journal of Archaeological Science* 39(2012), 953-963.

Lancelotti, C., Balbo, A.L., Madella, M., Iriarte, E., Rojo-Guerra, M., Royo, J.I., Tejedor, C., Garrido, R., García, I., Arcusa, H., PérezJordà, G., Peña-Chocarro, L., 2014. The missing crop, investigating the use of grasses at Els Trocs, a Neolithic cave site in the Pyrenees (1564 m asl), *Journal of Archaeological Science* 42 (2014), 456-466.

Laland, K.M., O'Brien, M.J., 2010. Niche Construction Theory and Archaeology, *Journal of Archaeological Method and Theory*, Dec 2010, Vol. 17, Issue 4, 303-322.

Lopez, J., Pons, E., 1995. Les necrópolis d'incineració tumulària de la zona Pirinenca. En: Bertranpetit, J., Vives, E. (Ed.), 1995. *Muntanyes i població, El passat dels Pirineus des d'una perspectiva multidisciplinària*. I Simposidels Pirineus, Andorra la Vella, Centre de Trobada de les Cultures Pirinenques, 107-125.

Obea, L., Piqué, R., Martin, M., Gassiot, E., 2011. The exploitation of forest resources in mountain areas during the Neolithic in the northeast of the Iberian Peninsula. En: *Archaeological charcoal, natural or human impact on the vegetation*. *Sagvntvn Extra* 11, 129-130.

Obea, L., 2014. El Paisaje en el Neolítico: un estudio preliminar de los restos antracológicos de Coro Trasito (Tella). En: Clemente, I., Gassiot, E., Rey, J. (Eds.), 2014. *Sobrarbe antes del Sobrarbe. Pinceladas de historia de los Pirineos*, Centro de Estudios de Sobrarbe, 43-54.

Obea, L., Rodríguez-Antón, D., 2016. El uso de las Plantas y el entorno vegetal de la Cova del Sardo durante el Neolítico, *Capp. 5, Pieza Com. 3*. En: Gassiot, E. (Ed.) 2016. *Montañas humanizadas. Arqueología del pastoralismo en el Parque Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, Naturaleza y Parques Nacionales, 115-124.

Olalde, Í., Schroeder, H., Sandoval-Velasco, M., Vinner, L., Lobón, I., Ramirez, O., Civit, S., García-Borja, PP., Salazar-García, D.C., Talamo, S., Fullola, J.M., Oms, F.X., Mireia, PP., Martínez, PP., Sanz, M., Daura, J., Zilhao, J., Marquès-Bonet, T., Gilbert, M. Th., PP., Lalueza-Fox, C., 2015. A Common Genetic Origin for Early Farmers from Mediterranean Cardial and Central European LBK Cultures, *Mol. Biol. Evol.* 32(12), 3132-3142.

Olaria, C., 2005. El tránsito hacia las economías de producción de las últimas tribus cazadorasrecolectoras del Mediterráneo peninsular. Una reflexión acerca de la validez de las tesis difusionistas frente a las evolucionistas, *Cuadernos de Prehistoria* 24 (2004-2005), 43 - 60.

Oliva, M., Ruiz-Fernández, J., Barriendos, M., Benito, G., Cuadrat, J.M., Domínguez-Castro, F., García-Ruiz, J.M., Giralt, S., Gómez-Ortiz, A., Hernández, A., López Costas, O., López-Moreno, J.I., López-Sáez, J.A., Martínez-Cortizas, A., Moreno, A., Prohom, M., Saz, M.A., Serrano, E., Tejedor, E., Trigo, R., Valero-Garcés, B., Vicente-Serrano, S.M., 2018. The Little Ice Age in Iberian mountains, *Earth Science Reviews* 177 (2018), 175-208.

Ollendorf A., 1992. Toward a classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths. En: Rapp, G., Jr., Mulholland, S.E. (Eds.) 1992. *Phytolith systematics. Emerging issues. Advances in Archaeological and Museum Science*, Vol. 1, Plenum Press New York, Springer: pp. 91-111.

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, A., Vergés, 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. En:

Hernández, M.S., Soler, J.A., López, J.A., (Coords.) 2008. *IV Congreso del Neolítico Peninsular (Tomo 1)*, 230-236.

Oms, F.X., Petit, M.A., Morales, J.I., García, M.S., 2012. Le processus de néolithisation dans les Pyrénées orientales. Occupation du milieu, culture matérielle et chronologie, *Bulletin de la Société préhistorique française (2012)*, tome 109, N<sup>o</sup>4, 651-670.

Oms, F.X., Pedro, M., Morales, J.I., Allué, E., Frigola, J., Mendiola, S., Rodríguez Cintas, A., Serra, J., Yubero, M., 2013. La Cova Colomera 30 anys després. Ocupacions humanes entre 6180-3280 BP al Congost de Montrebei. Campanyes de 2005-2011. En: 2013, *Primeres jornades d'Arqueologia i Palentologia del Pirineu i Aran*, Ed. Generalitat de Catalunya, 116-123.

Oms, F.X., Gibaja-Bao, J.F., Mazzucco, N., Guilaine, J., 2016. Revisión radiocarbónica y cronocultural del Neolítico antiguo de la Balma Margineda (Aixovall, Andorra), *Trabajos de Prehistoria 73, N.1*, (enero-junio 2016), 29-46.

Oms, F.X., Terradas, X., Morell, B., Gibaja-Bao, J.F., 2018a. Mesolithic Neolithic transition in the northeast of Iberia: Chronology and socioeconomic dynamics, *Quaternary International 470 (2018)*, 383-397.

Oms, F.X., Mazzucco, N., Santos, F.J., Guilaine, J., Subirà, M.E., Gibaja-Bao, J.F., 2018b. Les dades radiocarbòniques i la seva anàlisi durant el Neolític a les Valls d'Andorra, *Monografies del MAC 2, Barcelona 2018*, 91-100.

Orengo, H.A., 2010. *Arqueología de un paisaje cultural pirenaico de alta montaña. Dinámicas de ocupación del valle del Madriu-Perafita-Claror (Andorra)*, Tesis Doctoral, ICAC, Universitat Rovira i Virgili

Orengo, H.A., Palet, J. M., Ejarque, A., Miras, Y., Riera, S., 2014. Shifting occupation dynamics in the Madriu Perafita Claror valleys (Andorra) from the early Neolithic to the Chalcolithic: The onset of high mountain cultural landscapes, *Quaternary International 353*, 140-152.

Out, W., Madella, M., 2019. Towards identification of millet crop by-products by phytolith analysis: a comparison of short cell assemblages of *Panicum miliaceum* and *Setaria italica* leaves, En: Eichhorn, B., Höhn, A., 2019. Tree, grasses and crops. People and plants in Sub-Saharan Africa and beyond, *Frankfurt Archaeological Studies 37*, 287-306.

Pallarés, M., Bordas, A., Mora, R., 1997. El proceso de neolitización en los Pirineos orientales. Un modelo de continuidad entre los cazadores recolectores mesolíticos y los primeros grupos agropastoriles, *Trabajos de Prehistoria, 54 (1)*, 121-141.

Pallás, R., Rodés, Á., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuño, M., Bordonau, J., Bourlès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P.P., 2006. Late Pleistocene and Holocene glaciations in the Pyrenees, a critical review and new evidence from south central Pyrenees, *Quaternary Science Reviews 25 (2006)*, 2937-2963.

Pèlach, A., Soriano, J.M., Esteban, A., 2001. Evolución glaciaria y dinámica de la vegetación en el Pirineo central catalán, El complejo glaciolacustre de Burg (Farrera, Pallars Sobirà, Lleida), *Treballs de la Societat Catalana de Geografia, 52 (2001)*, 293-309.

Pèlach, A., Soriano, J.M., 2003. Las fuentes paleobotánicas y la historia forestal, el ejemplo de los valles de la Coma de Burg y Vallferrera (Pallars Sobirà, Lleida), *Actas de la II reunión sobre historia forestal, Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 16*, 155-160.

- Pèlachs, A., 2004. *Deu mil anys de geohistòria ambiental al Pirineu central català. Aplicació de les tècniques paleogràfiques per a l'estudi del territori i el paisatge a la Coma de Burg i a la Vall Ferrera*, Tesis doctoral, Departament de Geografia, UAB.
- Pèlachs, A., Soriano, J.M., Nadal, J., Esteban, A. 2007. Holocene environmental history and human impact in the Pyrenees. *Contributions to Science*, 3 (3), 423-431.
- Pèlachs, A., Pérez-Obiol, R., Nadal, J., 2009. Landscape dynamics of Abies and Fagus in the southern Pyrenees during the last 2200 years as a result of anthropogenic impacts, *Review of Palaeobotany and Palynology*, Vol. 156, Issues 34 (Sepp.2009), 337-349.
- Pèlachs, A., Julià, R., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Bal, M.C., Cunill, R., Catalan, J., 2011. Potential influence of Bond events on mid Holocene climate and vegetation in southern Pyrenees as assessed from Burg lake LOI and pollen records, *The Holocene* 21(1), 95-104.
- Pèlachs, A., Rodríguez, J.M., Pérez-Obiol, R., Julià, R., Burjachs, F., Expósito, I., Cunill, R., Soriano, J.M. E Yll, R., 2012. Dinámica climática y paisajística del Pirineo Leridano durante la transición Tardiglacial-Holoceno, *Cuaternario y Geomorfología* 26 (34), 79-96.
- Pèlachs, A., Rodríguez, J.M., Pérez-Obiol, R., Soriano, J.M., Cunill, R., Bal, M.C., García Codrón, J.C., The Role of Environmental Geohistory in High-Mountain Landscape Conservation, En: Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.) 2017. *High Mountain Conservation in a Changing World*, Advances in Global Change Research 62, Springer, 107-129.
- Pétillon, J.M., Langlais, M., Kuntz, D., Normand, Ch., Barshay-Szmidt, C., Costamagno, S., Delmas, M., Laroulandie, V., Marsan, G., 2015. The human occupation of the northwestern Pyrenees in the Late Glacial: New data from the Arudy basin, lower Ossau valley, *Quaternary International* 364 (2015), 126-143.
- Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., Morales, J., 2018. Crops of the first farming communities in the Iberian Peninsula, *Quaternary International* 470 (2018), 369-382.
- Peña-Monné, J.L. 1994. La Cordillera Pirenaica. En: Gutiérrez, M. *Geomorfología de España*. Madrid, Ed. Rueda, 159-225.
- Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J.A., Galop, D., 2015. Vegetation dynamics and human activity in the Western Pyrenean Region during the Holocene, *Quaternary International* 364, 65-77.
- Pérez-Obiol, R., Bal, M.Cl., Pèlachs, A., Cunill, R., Soriano, J.M., 2012. Vegetation dynamics and anthropogenically forced changes in the Estanilles peat bog (southern Pyrenees) during the last seven millennia, *Vegetation History and Archaeobotany* 21, 385-396.
- Pérez-Obiol, R., García-Codron, J.C., Pèlachs, A., Pérez-Haase, A., Soriano, J.M., 2016. Landscape dynamics and fire activity since 6740 calyr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain), *Quaternary Science Reviews* 135 (2016), 65-78.
- Pericot, L., 1950, *Los sepulcros megalíticos catalanes y la cultura pirenaica*, Instituto de estudios pirenaicos- CSIC, Barcelona.
- Pla-Rabés S., Catalan, J., 2005. Chrysophyte cysts from lake sediments reveal the submillennial winter/spring climate variability in the northwestern Mediterranean region throughout the Holocene, *Climate Dynamics* (2005) 24, 263-278.
- Pla-Rabés S., Catalan, J., 2018. Diatom species variation between lake habitats: implications for interpretation of paleolimnological records, *Journal of Paleolimnology* (2018) 60, 169-187.

- Pearsal, D.M., 1989. *Paleoethnobotany. A handbook of procedures*. Academic Press, 700pp.
- Pearsal, D.M., Piperno, D.R., 1993. *Current Research in Phytolith Analysis Applications in Archaeology and Paleoecology*, MASCA, Vol.10, 216pp.
- Petit, M.A., Estrada, A., Bergadà, M.M., Fullola, J.M., Bartrolí, R., Gamarra, A., Nadal, J., Albert, R.M., Cumings, L.S., Farrell, D., 1996. *El procés de neolitització a la vall del Segre. La cova del Parco (Alòs de Balaguer, La Noguera): estudi de les ocupacions humanes del Vè al Iermil·lenniaC.*, Monografias del SERP, Vol.1. Barcelona, 69pp.
- Philibert, S., 2002. Les derniers Sauvages. Territoires économiques et systèmes technofonctionels mésolithiques, B.A.R. 1069, 193pp.
- 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), *Quaternary International* 463 (2018), 401-413.
- Piperno, D.R., 1988. *Phytolith Analysis, an Archaeological and Geological Perspective*. New York Academic Press, 280pp.
- Piperno, D.R., 2006. *Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists*, AltaMira Press, 213pp.
- Portillo, M., Ball, T., Manwarning, J., 2006. Morphometric analysis of inflorescence phytoliths produced by *avena sativa* L. and *avena strigosa* Schreb. *Economic Botany*, 60(2), 121-129.
- Powers-Jones, A.H., Gilbertson, D.D., 1987. A Simple Preparation Technique for the Study of Opal Phytoliths from Archaeological and Quaternary Sediments, *Journal of Archaeological Science* 14, 529-535.
- Ramil-Rego, P.P., Iriarte, M.J., Muñoz, C., Gómez-Orellana, L., 2006. Cambio climático y dinámica temporal del paisaje y de los hábitats en las ecorregiones del NW de la Península Ibérica durante el Pleistoceno superior, *Munibe (Antropología Arkeologia)* nº57 (2006), 538-552.
- Rapp, G.Jr., Hill, Ch.L., 1998. *Geoarchaeology: The Earth science Approach to Archaeological Interpretation*, Yale University Press, 274pp.
- Rapp, G., Jr., Mulholland, S.E. (Eds.) 1992. *Phytolith systematics. Emerging issues. Advances in Archaeological and Museum Science*, Vol. 1, Springer, 350pp.
- Rashid, I., Mir, S.H., Zurro, D., Dar, R.A., Reshi, Z.A., 2019. Phytoliths as proxies of the past, *EarthScience Reviews* 194 (2019), 234-250.
- Redman, Ch. L., 1999. *Human Impact on Ancient Environments*, University of Arizona Press, 256 pp.
- Redman, Ch.L., Fish, P.P.R., James, S.R., (Eds.) 2004. *The Archaeology of Global Change. The Impact of Humans on Their Environment*, Smithsonian Institute Press, 240pp.
- Redman, C.L., 2005. Resilience theory in archaeology. *American Anthropologist* 107, 70-77.
- Reguant, S., 2005. *Historia de la Vida y de la Tierra, Ariel*, 368pp.
- Reimer, J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, G., Bronk Ramsey, C., Grootes, M., Guilderson, T. P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hattz, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R.

- A., Turney, C. S. M., Plicht, J. V.d., 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BPP. *Radiocarbon*, Vol 55(4) (2013), 1869-1887.
- Remolins, G., Gibaja-Bao, J.F., (Eds.) 2018. Les Valls d'Andorra durant el Neolític: un encreuament de camins al centre dels Pirineus, *Monografies del MAC 2, Museu d'Arqueologia de Catalunya*, 352pp.
- Rendu, Ch., 2003. *La Montagne d'Enveig: une estive pyrénéenne dans la longue durée*, Trabucaire, Perpinyà, 606pp.
- Rendu, Ch., Calastrenc, C., Le Couedic, M., Berdoy, A., (Coords.) 2016. *Estives d'Ossau. 7000 ans de pastoralisme dans les Pyrénées*, Edicions Le Pas d'oseau, 279pp.
- Renfrew, C., Bahn, P.P.G., 1991. *Archaeology: Theories, Methods and Practice*, Thames & Hudson, 656 pp.
- Renfrew, C., Bahn, P.P.G., (Eds.), 2005, *Archaeology. The Key Concepts*, Psychology Press, 298 pp.
- Revelles, J., 2013. Arqueoecología, arqueobotánica y arqueopalinología: una relación dialéctica entre sociedad y geosistema, *Los Lugares de la Historia. Temas y perspectivas de la historia. Vol. 3*, 729-748.
- Revelles, J., 2017. Archaeoecology of Neolithisation. Human environment interactions in the NE Iberian Peninsula during the Early Neolithic, *Journal of Archaeological Science: Reports 15 (2017)*, 437-445.
- Revelles, J., 2017. Mid-Holocene vegetation history, climate change and Neolithic landscape transformation. Archaeopalynology in La Draga and Lake of Banyoles (NE Iberian Peninsula), Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, 356pp.
- 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 PrePyrenees, *Quaternary Science Reviews 184(2018)*, 183-200.
- Rey, P.P.J., BatigneVallet, C., Collombet, J., Delhon, Cl., Martin, L., Moulin, B., Poulenard, J., Scoccimarro, N., Sordoillet, D., Thiébaud, S., Treffort, J.M., 2010. Approche archéologique et environnementale des peuplements alpins autour du col du Petit Saint Bernard (Savoie, vallée d'Aoste): un bilan d'étape, En: Tzoertzis, S., Delestre, X., Greck, J. (Dir.), 2010. *Archéologie de la Montagne Européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap (29 septembre 1er octobre 2008)*, Bibliothèque d'Archéologie de la Méditerranéenne et Africaine - 4, Errance, Paris, 197-210.
- Rhodes, A.N., 1998. A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *The Holocene 8*, 113-117.
- Richard, H., (Ed.), 2004. *Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques*, Environnement, société et archéologie, Presses Universitaires de Franche Comté, 219pp.
- Richard, H., Magny, M., Mordant, C. (Eds.) 2007. *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale*, CTHS, France, 395pp.
- Riera, S., 2006. Cambios vegetales holocenos en la región mediterránea de la Península Ibérica: ensayo de síntesis, *Ecosistemas 15 (1)*, 17-30.

- Riera, S., Turú, V., 2011, Cambios en el paisaje del Valle de Ordino al inicio del Holoceno: Evolución Geomorfológica, Paleovegetal e Incendios de época mesolítica (NW del Principado de Andorra, Pirineos Orientales), *El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011*, 201-204.
- Rivas-Martínez, S., 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España*, ICONA, 270pp.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E., 2004. Bioclimatic & Biogeographic Maps of Europe, Universidad de León, España.: 3 mapas.
- Rivas-Martínez, S., 2005. Avances en Geobotánica, Real Academia de Farmacia, Madrid., 128pp.
- Rivas-Martínez, S., 2007. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España: [Memoria del mapa de vegetación potencial de España]. Parte I. *Itinera Geobotanica*, 17, Asociacion Española de Fitosociologia (AEFA), 439pp.
- Rivas-Martínez, S., Rivas Sáenz, S., Penas, A., 2011. *Worldwide Bioclimatic Classification System*, Global Geobotany, Vol.1 (Dec. 2011), 634p + 4 maps.
- Rivera-Arrizabalaga, A., 2004. Paleoclimatología y cronología del Würm reciente: un intento de síntesis, *Zephyrus*, 57 (2004), 27-53.
- Riveros, H.G., Rosas, L., 1982. *El Método Científico aplicado a las Ciencias Experimentales*, Ed. Trillas, 164pp.
- Risch, R., 2002. Recursos naturales, medios de producción y explotación social. Un análisis económico de la industria lítica de Fuente Álamo (Almería), 22501400 ANE, Ed. PP. VonZabern, Mainz, 5-34.
- Rius, D., Vannière, B, Galop, D., 2009. Fire frequency and landscape management in the northwestern Pyrenean piedmont, France, since the early Neolithic (8000 cal. BP), *The Holocene* 19 (6), 847-859.
- Rius, D., Vannière, B, Galop, D., 2012. Holocene history of fire, vegetation and land use from the central Pyrenees (France), *Quaternary Research* 77 (2012), 54-64.
- Roda, X., Martínez-Moreno, J., Mora, R., 2016. Ground stone tools and spatial organization at the Mesolithic site of Font del Ros (southeastern PrePyrenees, Spain), *Journal of Archaeological Science: Reports* 5 (2016), 209-224.
- Rodríguez-Antón, D., 2008. Estudio del cambio tecnológico mesolítico. Crisis y readaptación de las sociedades cazadorasrecolectoras del noreste peninsular durante la transición climática Pleistoceno Holoceno (c. 13-9 ka Cal. BP). Un estado de la cuestión. Trabajo de Licenciatura, UAB, 66pp.
- Rodríguez-Antón, D., 2010. La humanización de la alta montaña. El caso del Pirineo occidental Catalán (11 - 4 kcal BP). Trabajo de Master, UAB (inédito), 100pp.
- Rodríguez-Antón, D., 2011. Poblamiento y patrones de asentamiento de la alta montaña en el Pirineo central durante el Holoceno antiguo y medio (11-4 ka cal AC), Un enfoque arqueológico y paleoambiental, *Estrat Crític* 5 (1) (2011), 120-131.
- Rodríguez-Antón, D., Gassiot, E., Mazzucco, N., Clemente, I., Obea, L., Garcia-Casas, D. 2016. Del medio natural a los paisajes pastorales. Ocupación de las zonas de alta montaña en los Pirineos centrales de Cataluña desde el Mesolítico a la Edad del Bronce (c. 9000-1000 cal ANE), *Munibe (Antropologia Arkeologia)* 67, 325-337.
- Rodríguez-Antón, D., Gassiot, E., Obea, L., Cunill, R., Revelles, J., Andreaki, V., Bonet, A., Albert, R.M., Pérez-Obiol, R., Mazzucco, N., 2018. Human occupation and landscape evolution at central Pyrenees

during Mid-Holocene. The Sant Nicolau valley case study (7000-2000 yr calBC). *24th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists, EAA 2018, Barcelona* (inédito).

Rodríguez-Antón, D., García-Álvarez, S., Cunill, R., 2019. Impacte Humà, Dinàmica dels Incendis i Canvis en el Paisatge Vegetal en Ambients Subalpins durant l'Holocè Mig (8 – 4 ka cal BP). La Substitució de la Pineda de muntanya per l'Avetosa. El Cas de Estudi d'Aigüestortes, PNAESM, Lleida. *V Reunió Oikos de Bioarqueologia, ACBA i UAB, Bellaterra, 2019*, 54-55.

Rojo-Guerra M.A., Peña-Chocarro, L., Royo Guillén, J.I., Tejedor Rodríguez, C., García-Martínez de Lagrán, I., Arcusa Magallón, H., Garrido Pena, R., Moreno García, M., Mazzuco, N., Gibaja-Bao, J.F., Ortega, D., Kromer, B., Alt, K.W., 2013. Pastores trashumantes del Neolítico Antiguo en un entorno de alta montaña, secuencia cronocultural de la Cova de Els Trocs (San Feliú de Veri, Huesca), *BSAA arqueología, LXXIX, 2013, Ediciones Universidad de Valladolid*, 9-55.

Rojo-Guerra M., Royo-Guillén, J.I., Garrido-Peña, R., García-Martínez de Lagrán, I., Tejedor-Rodríguez, C., Arcusa-Magallón, H., Peña-Chocarro, L., Moreno, M., 2015. La Cueva de Els Trocs: un asentamiento del Neolítico Antiguo junto al Pirineo Axial. En: Gonçalves, V.S., Diniz, M., Sousa, A. C., (Eds.), 2015, 5.º *Congresso do Neolítico Peninsular. Actas. Lisboa: UNIARQ*, 684pp., 177-185.

Rojo-Guerra M., García-Martínez de Lagrán, I., Royo-Guillén, J.I., 2018. The beginning of the Neolithic in the mid Ebro valley and in Iberia's Inland (Northern and Southern submeseta), Spain, *Quaternary International 470 (2018)*, 398-438.

Rosen, A.M., 1994. Identifying Ancient Irrigation: a New Method using Opaline Phytoliths from Emmer Wheat, *Journal of Archaeological Science (1994)*, 21, 125-132.

Rouquerol, N., 2004. *Du Néolithique à l'Âge du Bronze dans les Pyrénées centrales françaises*, Ecole des hautes études en sciences sociales, Toulouse, 187pp.

Rousseau, D.D., Svensson, A., Bigler, M., Sima, A., Steffensen, J.P.P., Boers, N., 2017. Eurasian contribution to the last glacial dust cycle: how are loess sequences built? *Clim. Past*, 13, 1181-1197.

Ryan, Ph., 2014. Phytolith Studies in Archaeology, En: Smith, Cl. (Ed.), 2014. *Encyclopedia of Global Archaeology*, SpringerVerlag New York, 2258-2270.

Sahlins 1974, La economía de la Edad de Piedra, Akal, 335pp.

Sánchez de la Torre, M., Mangado, X., 2016. ¿De dónde vienen? Aprovechamiento de rocas sedimentarias silíceas en el yacimiento magdalenense al aire libre de Montlleó (Prats i Sansor, Lleida), *Trabajos de Prehistoria 73, N.1 (enero/junio 2016)*, 7-28.

Sancho, C., Belmonte, A., Bartolomé, M., Moreno, A., Leunda, M., López-Martínez, J., 2018. Middle-to-late Holocene palaeoenvironmental reconstruction from the A294 ice-cave record (Central Pyrenees, northern Spain), *Earth and Planetary Science Letters 484 (2018)*, 135-144.

Serrano, E., Agudo, C., González-Trueba, J.J., 2002. La deglaciación de la alta montaña. Morfología, evolución y fases morfogénicas glaciares en el macizo del Posets (Pirineo aragonés), *Cuaternario y Geomorfología*, 16 (14), 111-126.

Serrano, E., 2004. Glaciares rocosos y deglaciación en la alta montaña de los Pirineos aragoneses (España), *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.)*, 99 (1-4), 2004, 159-172.

Schmitt, Th., 2017. Molecular Biogeography of the High Mountain Systems of Europe: An Overview, Catalan, J., Ninot, J.M., Aniz, M.M. (Eds.) 2017. *High Mountain Conservation in a Changing World*, Advances in Global Change Research 62, Springer, 63-74.

- Shahack-Gross, R. 2011. Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance, *Journal of Archaeological Science* 38 (2011), 205-218.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52 (3-4), 591-611.
- Soriano, J.M., Esteban-Amat, A., Pèlach, A., 2003. La antropización del paisaje vegetal del Parque Nacional de Aigüestortes y Estany de Sant Maurici a partir de la biogeografía. En: *Actas del II Congreso Español de Biogeografía, La Gomera, 2002*, 181-190.
- Steffen, W., Crutzen P.J., McNeill, J.R., 2007, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio*, Vol. 36 (Dec 2007), No. 8, 614-621.
- Stevanato, M., Rasbold, G.G., Parolin, M., Domingos Luz, L., Lo, E., Weber, Ph., Trevisan, R., Galeazzi-Caxambu, 2019. New characteristics of the papillae phytolith morphotype recovered from eleven genera of cyperaceae, *Flora* 253 (2019), 49-55.
- Straus, L.G., 1995. A través de la frontera Pleistoceno Holoceno en Aquitania y en la Península Ibérica: cambios ambientales y respuestas humanas. En: Moure, A., Gonzalez, C. (Eds.), 1995. *El Final del Paleolítico Cantábrico*, Universidad de Cantabria, 363pp., 341-363.
- Strömberg, C.A.E., 2007. Can slide preparation methods cause size biases in phytolith assemblages? Results from a preliminary study, En: Madella, M., Zurro, D. (Eds.) 2007. *Plant, people and places. Recent studies in phytolith analysis*, Oxbow Books Limited, Oxford, 1-12.
- Strömberg, C.A.E., McInerney, F.A., 2011. The Neogene transition from C3 to C4 grasslands in North America: assemblage analysis of fossil phytoliths, *Paleobiology*, 37(1), 50-71.
- Strömberg, C.A.E., Dunn, R.E., Crifó, C., Harris, E.B., 2018. Phytoliths in Paleoecology: Analytical Considerations, Current Use, and Future Directions, En: En: Croft, D.A., Su, D.F., Simpson, S.W., (Eds.), 2018. *Methods in Paleoecology. Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*, Springer, 235-287.
- Stuessy, T.F., 2009. *Plant Taxonomy: The Systematic Evaluation of Comparative Data*, Columbia University Press, 562pp.
- Tarifa, N., Moraleda, N., Rosell, A., Clop, X., Gassiot, E., 2018. Functional study of pottery from Cova del Sardo (Catalonia, Spain) (4800-2100 cal BC): the earliest evidence of Neolithic high mountain settlements in Southern Europe, *Conference IIMK RANat*, Saint Peterbourg, Rusia, (en prensa).
- Thiébault, S., 2006. L'Homme, la Végétation et la Montagne au Néolithique, En: Guilaine, J., (Ed.), 2006. *Populations néolithiques et environnement*, Errance, Paris, 243-257.
- Turú, V., 2011. El Glacialismo de les Valls de la Valira del Nord: Evidències d'un enllaçament continuat fins a l'Holocè. En: Turú, V., Constante, A. (Eds.), 2011. *El Cuaternario en España y áreas afines, Avances en 2011, XIII Reunión Nacional de Cuaternario*, FMC-AEQUA, 380pp, 25-30.
- Turú, V., Calvet, M., Bordonau, J., Gunnerll, Y., Delmas, M., Vilaplana, J.M., Jalut, G., 2016. Did Pyrenean glaciers dance to the beat of global climatic events? Evidence from the Würmian sequence stratigraphy of an icedammed palaeolakedepocentre in Andorra, En: Hughes, P.P. D., Woodward, J. C. (Eds.), 2016. *Quaternary Glaciation in the Mediterranean Mountains: a new synthesis*, Geological Society, London, Special Publications, 433pp., 111-136.
- Twiss, P.P.C. Suess, E., Smith, R.M., 1969. Morphological Classification of Grass Phytoliths, *Soil Science Society of America Proceedings*, Vol. 33, No.1, January 1969, 109-115.



- Twiss, P.P.C. 1992. Predicted World Distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Rapp, G., Jr., Mulholland, S.E. (Eds.) 1992. *Phytolith systematics. Emerging issues. Advances in Archaeological and Museum Science*, Vol. 1, Springer, 113-128.
- Tort, P.P., 1992. L'effet réversif de l'évolution, en Tort, P.P. (Ed.), 1992. *Darwinisme et société*, Paris, PUF, 1346.
- Tort, P.P., 2002. La seconde révolution darwinienne, Kimé, Paris, 138 pp.
- Tort, P.P., 2004. Darwin, eslabón perdido y encontrado del materialismo de Marx, *Asclepio Vol. LVII (2004)*, 209-217.
- Tsartsidou G., Lev-Yadun S., Efstratiou N., Albert. R.M., Miller-Rosen, A., Efstratiou, N., Weiner, S., 2007. The phytolith archaeological record: strengths and weakness evaluated based on a quantitative modern reference collection from Greece, *Journal of Archaeological Science* 34 (2007), 1262-1275.
- Tsartsidou G., Lev-Yadun S., Efstratiou N., Weiner, S., 2008. Ethnoarchaeological study of phytolith assemblages from an agro-pastoral village in Northern Greece (Saraki): development and application of a Phytolith Difference Index, *Journal of Archaeological Science* 35 (2008), 600-613.
- Tzoertzis, S., Delestre, X., Greck, J., (Dir.), 2010. *Archéologie de la Montagne Européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap (29 septembre 1er octobre 2008)*, Bibliothèque d'Archéologie de la Méditerranéenne et Africaine - 4, Errance, Paris, 333pp.
- Uria-Blanco, N. 2013. Registros sedimentarios como indicadores paleoambientales y de la actividad antrópica durante la Neolitización, La Cueva de Els Trocs y su entorno (Abella, Huesca). *CKQ Estudios de Cuaternario/Leioa* 3, 123-134.
- Uriarte-Cantolla, A. 2004. *Historia del Clima de la Tierra*, Servicio de publicaciones del Gobierno Vasco, 306pp.
- Utrilla, M.P., 2002. Epipaleolíticos y neolíticos del Valle del Ebro. En: Badal, E., Bernabeu, J., Martí, B., (Eds.) 2002. *Neolithic landscapes of the Mediterranean*, Saguntum, N°Extra 5, 179-208.
- Utrilla, M.P., Montes, L. (Coords.), 2009. *El mesolítico geométrico en la Península Ibérica*, Universidad de Zaragoza, 399pp.
- Utrilla, P.P., Mazo, C., 2014. *La Peña de las Forcas (Graus, Huesca). Un asentamiento estratégico en la confluencia del Ésera y el Isábena*, Monografías Arqueológicas 46, Departamento de Ciencias de la Antigüedad. Universidad de Zaragoza, 438pp.
- Utrilla, M.P., Laborda, T., 2015. La cueva de Chaves (Bastarás, Huesca): 15 000 años de ocupación prehistórica, *Trabajos de Prehistoria* 75 (2), julio-diciembre 2018, 248-269.
- Valverde, C., 1979, *El materialismo dialéctico*, Espasa Calpe, Madrid, 500pp.
- Vannièrè B., Power M.J., Roberts N., Tinner, W., Carrión, J., Magny, M., Bartlein, P.P., Colombaroli, D., Daniau, A.L., Finsinger, W., GilRomera, G., kaltenrieder, P.P., Pini, R., Sadori, L., Turner, R., Valsecchi, V., Vaesconi, E., 2011. CircumMediterranean fire activity and climate changes during the midHolocene environmental transition (8500-2500 cal. yr BP), *The Holocene* 21, 53-73.
- Vigo, J. 2008, *L'Alta muntanya catalana: Flora i vegetació*, IEC, Barcelona, 443pp.
- Vila, A., (Ed.), 2006. *Etnoarqueología de la Prehistoria: más allá de la analogía*, Treballs d'Etnoarqueologia 6, 400 pp.

- Violant i Simorra, R. 1945. La Vida Pastoral al Pallars. *Garsineu Edicions* (2001). *Tremp*, 427 pp.
- Walker, B., Salt, D., Reid, W., 2006. *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*, Island Press, 192pp.
- 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 icecore, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy), *Journal of Quaternary Science* (2012) Vol. 27(7), 649-659.
- Walker M. J. C., Head, M.J., Berkelhammer, M., Björck, S., Cheng, H., Cwynar, L.C., Fisher, D.A., Gkinis, V., Long, A.J., Lowe, J.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. *Episodes (in press)*, 11pp.
- Walsh, K., Court-Picon, M., De Beaulieu J.L., Guitier, F., Mocci, F., Richer, S., Sinet, R., Talon, B., Tzortzis, S., 2014. A historical ecology of the Ecrins (Southern French Alps): Archaeology and palaeoecology of the Mesolithic to the Medieval period, *Quaternary International*, Vol. 353, 5 (Dec. 2014), 52-73.
- Wanner, H., Solomina, O., Grosjean, M., Ritz, S.P.P., Jetel, M., 2011. Structure and origin of Holocene cold events, *Quaternary Science Reviews* 30 (2011), 3109-3123.
- Watson, P.P.J., LeBlanc, S.A., Redman, Ch.L., 1974. *El Método científico en arqueología*, Alianza Universidad 102, 195pp.
- Weisskopf, A.R., 2010. *Vegetation, Agriculture and Social Change in Late Neolithic China: a phytolith study*, Tesis Doctoral, UCL, Londres, 553pp.
- Willis, K.J., Birks, H.J.B. 2006. What Is Natural? The Need for a Long Term Perspective in Biodiversity Conservation, *Science* 314, 1261-1265.
- Yáñez, C., Malgosa, A., Burjachs, F., Díaz, N., García, C., Juan, J., Matamala, J., 2002. El mónfunerari al final del V mil·lenni a Andorra: la tomba de Segudet (Ordino), *Cypsela* 14, 175-194.
- Zeder, M.A. 2006. Central Questions in the Domestication of Plants and Animals, *Evolutionary Anthropology* 15,105-117 (2006).
- Zapata, L., Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordá, G., Stika, H.P.P., 2004. Early Neolithic Agriculture in the Iberian Peninsula, *Journal of World Prehistory*, No. 4, Vol. 18,283-325.
- Zhan, B.D., Hart, D.J., 2014. Testing equality of a large number of densities, *Biometrika* (2014), 1-16.
- Zurro, D., 2006. El análisis de fitolitos y su papel en el estudio del consumo de recursos vegetales en la Prehistoria, bases para una propuesta metodológica materialista, *Trabajos de Prehistoria* 63, N.2 (JulioDiciembre 2006), 35-54.
- Zurro, D., 2011. *Ni carne ni pescado (consumo de recursos vegetales en la Prehistoria). Análisis de la variabilidad de los conjuntos fitolitológicos en contextos cazadoresrecolectores*. Tesis Doctoral, UAB, 620pp.
- Zurro, D., García-Granero, J.J., Lancelotti, C., Madella, M., 2016. Directions in current and future phytolith research, *Journal of Archaeological Science* (2016), 112117.

## 13. RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

---

Se muestran todas las tablas y figuras que aparecen en el texto por orden de aparición. El primer dígito señala el número del capítulo. El sistema de numeración de tablas y figuras es similar y por tanto los códigos numéricos se reiteran. Al final se indica la relación del material suplementario.

### 13.1 ÍNDICE DE FIGURAS

---

#### Capítulo 1. Introducción

Figura. 1.1. Localización de casos de estudio de la región alpina y pirenaica.

Figura 1.1. Interacción dinámica actualmente existente en la biosfera que fuerza los paisajes sociales.

#### Capítulo 2. Medio ambiente

Figura. 2.1. Mapa de Europa occidental donde aparecen resaltadas las provincias Alpina y Pirenaica.

Figura. 2.2. Regiones climáticas europeas.

Figura 2.3. Mapa biogeográfico de Europa meridional que muestra las distintas provincias ecológicas.

Figura 2.4. Mapa topográfico de la ecorregión alpino-pirenaica.

Figura 2.5. Mapa bioclimático de Europa occidental.

Figura 2.6. Principales pisos termoclimáticos que se desarrollan de la región Eurosiberiana medioeuropea.

Figura 2.7. Mapas de elevación topográfica de la cordillera pirenaica.

Figura 2.7. Geomorfología de la cordillera pirenaica.

Figura 2.9. Máxima extensión de los glaciares pirenaicos.

Figura 2.10. Desarrollo de las asociaciones florísticas características de cada piso altitudinal del Pirineo axial central.

Figura 2.11. Representación geobotánica del típico paisaje de alta montaña del Pirineo axial central.

Figura 2.12. Desarrollo de los pisos bioclimáticos altitudinales en el PNAESM.

Figura 2.13. Fotografías de los dos tipos de paisaje potencial característicos de la alta montaña: bosques subalpinos y praderas alpinas.

Figura 2.14. Vegetación antropizada actual en el entorno del Planell d'Aigüestortes y Sant Esperit.

Figura 2.15. Fotografías del valle de Sant Nicolau.

Figura 2.16. Representación pluviométrica y térmica de la dinámica del clima en el área de estudio.

Figura 2.17. Mapa geológico detallado del valle de Sant Nicolau.

Figura 2.18. Cobertura vegetal del valle de Sant Nicolau y su entorno.

Figura 2.19. Correlación entre las curvas polínicas, OM, carbonatos y curvas isotópicas de hielo.

Figura 2.20. Análisis multivariable que se aplica para la reconstrucción palaeoclimática y paleoambiental.

Figura 2.21. Mapa con la cubierta de vegetación actual y la localización de los muestreos sedimentarios lacustres.

Figura 2.22. Recreación de la superficie y dinámica de los glaciares del PNAESM durante el último máximo glacial (LGM).

Figura 2.23. Reconstrucción paleoambiental del Valle de Sant Nicolau durante los últimos 15 ka.

### **Capítulo 3. El poblamiento prehistórico de la alta montaña**

Figura 3.1. Principales yacimientos arqueológicos de la región Pirenaica, citados en el texto.

Figura 3.2. Secuencia cronológica de ocupación de los yacimientos arqueológicos prehistóricos del Pirineo axial central.

Figura 3.3. Localización de los principales yacimientos con ocupaciones prehistóricas situados en el Pirineo axial central, entre 900 y 2600 m snm,

Figura 3.4 Gráfica de distribución altitudinal de ocupaciones arqueológicas fechadas en yacimientos de montaña del interior del pirineo axial central durante el Holoceno medio.

Figura 3.5. Mapa de localización de los yacimientos prehistóricos fechados del PNAESM.

Figura 3.6. Mapa de distancias de coste desde la Cova del Sardo al resto de yacimientos del PNAESM.

Figura 3.7. Localización de yacimientos con ocupaciones del Holoceno medio en la zona de Aigüestortes.

Figura 3.8. Plantas de las 4 fases principales de ocupación prehistórica de la Cova del Sardo.

Figura 3.9. Secuencia de ocupación del valle de Sant Nicolau durante el Holoceno medio.

Figura 3.10. Diagramas de porcentajes de taxones identificados en las UE discutidas de la Cova del Sardo, a partir del conteo y determinación de restos antracológicos.

Figura 3.11. Diagramas de porcentajes de taxones identificados en las fases prehistóricas de la Cova del Sardo, a partir del conteo y determinación de macrorestos vegetales y semillas (Tabla).

Figura 3.12. Diagrama polínico de la Cova del Sardo de Boí y el Abric de l'Estany de la Coveta I.

Figura 3.13. Porcentaje de polen de especies termo-mesófilas documentada en el análisis polínico de la Cova del Sardo.

## **Capítulo 4. Fitolitos**

Figura 4.1. Microfotografías de fitolitos de los morfotipos BLOCKY, BULLIFORM FLABELLATE y MULTICELL POLYGONAL.

Figura 4.2. Microfotografías de diversas estructuras silicificadas MULTICELL.

Figura 4.3 Microfotografías de fitolitos del tipo SPHEROID.

Figura 4.4. Microfotografías de diversos tipos de fitolitos de la categoría ACUTE.

Figura 4.5 Microfotografías de PAPILLATE.

Figura 4.6. Microfotografías de diferentes tipos de ELONGATE.

Figura 4.7. Microfotografías de BILOBATE.

Figura 4.8. Microfotografías de TRAPEZOID, CRENATE Y RONDEL

## **Capítulo 5. Diseño metodológico de la investigación**

Figura 5.1. Diagrama de frecuencias de morfotipos de fitolitos en plantas monocotiledóneas (*Pooideae* y *Cyperaceae*).

Figura 5.2. Diagrama de frecuencias de morfotipos en plantas dicotiledóneas y coníferas.

Figura 5.3. Mapa de la cobertura vegetal actual en el valle de Sant nicolau, con la localización de los 4 muestreos discutidos (CdS, AOR, AS 1 y AS 2).

Figura 5.4. Mapa topográfico de Aigüestortes, con la localización de CdS y AS 2.

Figura 5.5. Vista general del curso medio del valle de Sant Nicolau y Vall de Llacs.

Figura 5.6. Cova del Sardo.

Figura 5.7. Forcall de Sant Esperit – AS 2.

Figura 5.8. Mapa topográfico del valle de Sant Nicolau, con la localización de los yacimientos estudiados, los sondeos realizados y las columnas sedimentarias discutidas.

Figura 5.9. Pleta d'Erdo.

Figura 5.10. Abric de les Obagues de Ratera.

Figura 5.11. Alzamiento topográfico por UE, de la Cova del Sardo.

Figura 5.12. Detalles de la excavación y toma de muestras de sedimento de la Cova del Sardo.

Figura 5.13. Muestreo paleosedimentario detallado de un perfil de suelo.

Figura 5.14. Metodología sistemática de muestreo, aplicada a los sondeos paleosedimentarios.

Figura 5.15. Fichas de campo.

Figura 5.16. Diagrama taxonómico de carbones sedimentarios del Forcall de Sant Esperit – AS 2.

Figura 5.17. Histograma de frecuencias relativas de carbones sedimentarios Forcall de Sant Esperit - AS2.

Figura 5.18. Diagrama polínico del sondeo de Forcall de Sant Esperit - AS 2.

Figura 5.19. Análisis químico del sondeo AS 2.

## **Capítulo 6. Materiales y métodos**

Figura 6.1. Planta del Abric de les Obagues de Ratera. Fases 4 y 6. Ocupaciones del Holoceno final (1700 cal ANE – 700 cal DNE).

Figura 6.2. Planta de la Cova del Sardo. Fase 5. Ocupación calcolítica (2900-2500 cal ANE).

Figura 6.3. Planta de la Cova del Sardo. Fase 6. Ocupación del Neolítico final (3300-3000 cal ANE).

Figura 6.4. Planta de la Cova del Sardo. Fase 7. Ocupaciones del Neolítico medio / final (4200-3500 cal ANE).

Figura 6.5. Planta de la Cova del Sardo. Fases 8 y 9. Ocupaciones del Neolítico antiguo (5500-4400 cal ANE).

Figura 6.6. Fotomontaje y representación esquemática del perfil sedimentario de Forcall de Sant Esperit - AS 2 con la localización de las muestras estudiadas.

Figura 6.7. Microfotografía de fitolitos de una muestra arqueológica de la Cova del Sardo.

Figura 6.8. Microfotografía de una lámina de fitolitos.

Figura 6.9. Microfotografías de diatomeas.

## **Capítulo 7. Resultados**

Figura 7.1. Diagrama de concentración de fitolitos estimados y descripción de las 26 muestras arqueológicas.

Figura 7.2. Resumen del análisis cuantitativo de la concentración estimada de fitolitos procedentes de excavaciones arqueológicas.

Figura 7.3. Histograma de frecuencias de morfotipos de fitolitos de yacimientos arqueológicos, según el modelo cronológico.

Figura 7.4. Grado de similitud entre las muestras arqueológicas, a partir del análisis multivariante por conglomerados.

Figura 7.5. Diagrama de frecuencias por morfotipos de las muestras arqueológicas, ordenadas según el algoritmo de Ward.

Figura 7.6. Análisis de componentes principales (PCA) de las muestras arqueológicas.

Figura 7.7. Análisis de correspondencias de las muestras arqueológicas.

Figura 7.8. ITP de las muestras arqueológicas.

Figura 7.9. Diagrama de frecuencias de las atribuciones taxonómicas de las muestras arqueológicas.

Figura 7.10. ITP comparado con el dendrograma de conglomerados de las muestras arqueológicas.

Figura 7.11. Correlación estadística entre el ITP y la concentración de fitolitos en las muestras arqueológicas.

Figura 7.12. Diagrama de concentración de fitolitos de las muestras geológicas.

Figura 7.13. Resumen del análisis cuantitativo de la concentración estimada de fitolitos procedentes de sondeos.

Figura 7.14. Histograma de frecuencias de morfotipos de fitolitos de muestras geológicas, según el modelo cronoestratigráfico.

Figura 7.15. Grado de similitud entre las muestras geológicas, a partir del análisis multivariante por conglomerados.

Figura 7.16. Diagrama de frecuencias por morfotipos de las muestras geológicas, ordenadas estratigráficamente con el dendrograma obtenido en la Prueba de Edwars y Cavalli-Sforza.

Figura 7.17. Análisis de componentes principales (PCA) de las muestras geológicas.

Figura 7.18. Análisis de correspondencia de las muestras geológicas.

Figura 7.19. Diagrama de frecuencias a partir de las atribuciones taxonómicas de las muestras geológicas, ordenadas estratigráficamente.

Figura 7.20. ITP de las muestras geológicas.

Figura 7.21. ITP comparado con el dendrograma de conglomerados de las muestras geológicas.

Figura 7.22. Correlación estadística entre el ITP y la concentración de fitolitos en las muestras geológicas.

Figura 7.23. Correlación gráfica entre la curva del ITP y el diagrama de concentración de fitolitos estimados en las muestras geológicas.

## **Capítulo 8. Interpretación**

Figura 8.1. Planta de la excavación arqueológica del Abric de les Obagues de Ratera con la localización de las 7 muestras de fitolitos de los niveles de ocupación del Holoceno final (4 -1 ka cal BP).

Figura 8.2. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del del Neolítico final / Calcolítico (3300-2500 cal ANE).

Figura 8.3. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del Neolítico medio / final (4200-3500 cal ANE).

Figura 8.4. Planta de la Cova del Sardo, con las UE estudiadas del Neolítico antiguo (5500-4400 cal ANE).

Figura 8.5. Dibujo de la sección del perfil de Pleta d'Erdo - AS 1.

Figura 8.6. Perfil del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.

## **Capítulo 14. Material Suplementario**

Figura 14.1. Análisis multivariante por conglomerados, de las 47 muestras de fitolitos analizadas.

Figura 14.2. ITP de las 47 muestras arqueológicas y geológicas discutidas en esta tesis.



## 13.2 ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 4.1. Lista de 19 tipos de fitolitos identificados en esta tesis.

Tabla 4.2 Tabla de correspondencia entre los morfotipos y su atribución taxonómica más probable.

Tabla 5.1. Lista de 16 especies de plantas de referencia de los pisos alpino y subalpino.

Tabla 5.2. Porcentajes de producción los diversos morfotipos de fitolitos en las 16 especies revisadas.

Tabla 6.1 Lista de muestras de fitolitos analizadas del Abric de les Obagues de Ratera.

Tabla 6.2. Lista de muestras de fitolitos analizadas de la Cova del Sardo de Boí.

Tabla 6.3. Lista de muestras de fitolitos analizadas del sondeo de Pleta d'Erdo – AS 1.

Tabla 6.4. Lista de muestras de fitolitos analizadas del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.

Tabla 14.1. Fechados radiocarbónicos C14 de los contextos holocénicos del PNAESM discutidos en esta tesis.

Tabla 14.2. Distancia de coste de otros yacimientos prehistóricos respecto a la Cova del Sardo de Boí.

Tabla 14.3. Fechados radiocarbónicos C14 del Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) en el valle de Sant Nicolau.

Tabla 14.3. Lista de especies seleccionadas de los pisos alpino y subalpino de la colección de referencia.

Tabla 14.4. Listado de muestras polínicas de yacimientos arqueológicos: Cova del Sardo y Abric de l'Estany de la Coveta I.

Tabla 14.5. Listado de muestras polínicas procedentes del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.

Tabla 14.6. Dataciones de C14 obtenidas en el perfil del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.

Tabla 14.7. Resultados cuantitativos del estudio de carbones sedimentarios realizado en el sondeo de Forcall de Sant Esperit -AS 2, por unidades estratigráficas.

Tabla. 14.8. Fitolitos de yacimientos arqueológicos (AIF, Número Total, Disolución, Concentración y Porcentaje de Diatomeas).

Tabla 14.9. Porcentajes de morfotipos de fitolitos de yacimientos arqueológicos.

Tabla 14.10. Porcentajes de las 9 categorías taxonómicas aplicadas a las muestras arqueológicas.

Tabla 14.11. Fitolitos de sondeos geológicos (AIF, Número Total, Disolución, Concentración y Porcentaje de Diatomeas).

Tabla 14.12. Porcentajes de morfotipos de fitolitos de sondeos geológicos.

Tabla 14.13. Porcentajes de los 9 grupos taxonómicos aplicados a las muestras geológicas.

Tabla 14.14. Análisis multivariante por conglomerados aplicado a los 3 conjuntos de muestras.

## 14. MATERIAL SUPLEMENTARIO

---

Se presenta el material suplementario necesario para completar y justificar la información empírica discutida en la tesis.

Se muestran resultados de los análisis realizados, fuentes documentales recopiladas y otras informaciones suplementarias que han sido estudiadas o generadas en el desarrollo de esta tesis doctoral, y que son citadas en diferentes capítulos.

El material suplementario recopilado en este apartado se presenta generalmente en forma de tablas o diagramas. Para facilitar su lectura y comprensión, todos los documentos gráficos y las tablas se muestran siempre por orden de aparición en el texto, a partir de su referencia citada en el mismo.

Cada tabla, diagrama o figura mostrada, aparecerá debidamente referenciada con un pie de página, que responde a una numeración similar a la del resto de figuras de la tesis. El primer dígito indica el número del capítulo actual (14) y el segundo su orden de aparición en el texto, de manera que cuando el lector observe una referencia tipo (Tabla. 14.1), sabrá que debe dirigirse al capítulo 14. Material suplementario, para una información adicional.

## 14.1 TABLAS

Sitio (Yacimiento / sondeo)	Fase	UE	Código Laboratorio	Edad (y)	+ (y)	Cal ANE/CAL DNE 2δ (95,4%)	Material	Taxón	Contexto sedimentario
Dolmen Font dels Coms		A5	KIA 23142	9375	35	8746-8563	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación exterior
Abric d'Obagues de Ratera	13	13B2	CNA-4629.1.1	8800	40	8186-7717	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior
Abric de l'Estany de la Coveta I	5	CA-5A5	KIA 29818	7845	45	7001-6574	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior
Forcall de Sant Esperit AS-2	9	C1	4874.1.1	7681	46	6606-6443	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Depósito aluvial inorgánico
Abric d'Obagues de Ratera	13	13A1	CNA-4630.1.1	6800	35	5736-5636	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Cova del Sardo de Boí	9	A-9A1	KIA 37689	6525	45	5563-5376	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior oeste, bajo cornisa
Forcall de Sant Esperit AS-2	7	B1a	4873.1.1	6200	41	5293-5044	Carbón	<i>Betula pendula</i>	Paleosuelo
Forcall de Sant Esperit AS-2	7	B1a	BETA 358572	6100	30	5209-4932	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Paleosuelo
Cova del Sardo de Boí	8	A-8B1	KIA 37690	5850	40	4826-4602	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior este
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4	KIA 40878	5715	35	4681-4463	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza este
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4	KIA 36935	5695	35	4653-4454	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza este
Cova del Sardo de Boí	8	A-8B2	KIA 40817	5686	35	4651-4450	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior este, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A6	KIA 41134	5645	25	4543-4375	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	8	A-8A4	KIA 40815	5635	35	4539-4369	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza este
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A31	KIA 32340	5245	40	4229-3971	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior oeste
Abric d'Obagues de Ratera	9	9A1b	CNA 4626	5200	30	4047-3961	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Cova del Sardo de Boí	7	t.9	KIA 26248	5060	40	3963-3766	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	7	A-7B6	KIA 40816	5000	30	3939-3702	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Relleno en cuveta interior oeste
Cova del Sardo de Boí	7	A-7B2	KIA 32342	4945	35	3791-3652	Carbón	<i>Fraxinus excelsior</i>	Hogar en cuveta interior oeste
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A8	KIA 36934	4765	40	3641-3381	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación oeste, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	7	A-7A15	KIA 37691	4715	35	3632-3375	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A1	KIA 32351	4555	30	3371-3105	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Material constructivo terraza este
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A4	KIA 29816	4475	30	3309-3029	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación terraza este
Abric de l'Estany de la Coveta I	6	CA-3A3	KIA 29818	4555	30	3337-3017	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior abrigo
Cova del Sardo II	6		KIA 40850	4465	30	3337-3024	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación del abrigo superior
Despoblament deth Tuc del Redon		t.2	BETA 377578	4400	30	3099-2917	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación exterior
Abric d'Obagues de Ratera	9	9A5	CNA 4628	4360	30	3085-2904	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Estructura bajo cornisa

Abric del Portarró	t.3	KIA 28276	4255	40	3007-2694	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Cova del Sardo de Boí	5	t.8 KIA 26251	4210	35	2901-2677	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Coma d'Espós	t.4	KIA 36936	4180	30	2886-2666	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Muro
Abric d'Obagues de Ratera	7	9A1 KIA 28280	4160	35	2880-2628	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric d'Obagues de Ratera	7	7A6 CNA 4627	4150	30	2876-2628	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación exterior
Abric d'Obagues de Ratera	8	8A1 BETA 509618	4100	30	2863-2571	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior
Cova del Sardo de Boí	5	A-5B1 KIA 32348	4090	35	2864-2495	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar zona interior este
Abric del Lac Major de Saboredó II	t.5	BETA 290113	4010	40	2832-2461	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric de les Covetes	t.5	KIA 32341	3960	30	2571-2347	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Cova de Sarradé	t.4	KIA 32335	3945	25	2566-2346	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric d'Obagues de Ratera	5	5A2 BETA 429861	3360	30	1742-1607	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric de l'Estany de Xemeneia	t.8	BETA 278789	3290	40	1664-1459	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric d'Obagues de Ratera	7	7A1 BETA 509617	3020	30	1391-1191	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior
Abric d'Obagues de Ratera	6	6A2 BETA 509617	3010	30	1386-1157	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Despoblat de la Cova		BETA 323403	2980	30	1372-1112	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación exterior
Abric d'Obagues de Ratera	6	6A1 BETA 429860	2870	30	1127-931	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior del abrigo
Abric d'Obagues de Ratera	5	5A1 BETA 429862	2520	30	795-542	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior
Abric d'Obagues de Ratera	6	6A7 CNA 4625.1.1	1460	30	553-648 Cal DNE	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Estructura bajo cornisa
Abric d'Obagues de Ratera	4	4A1 BETA-429864	1460	30	553-648 Cal DNE	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Estructura bajo cornisa
Pleta d'Erdo		BETA - 323406	1425	35	540-640 Cal DNE	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar en Cabaña I
Forcall de Sant Esperit AS-2	5	A2 4872.1.1	1130	32	803-989 Cal DNE	Carbón	<i>Abies alba</i>	Base del suelo actual
Cova del Sardo	3	KIA 37688	1105	30	884-1013 Cal DNE	Carbón	<i>Abies alba</i>	Hogar interior
Despoblat de la Cova	2	BETA 332032	960	30	1020-1155 Cal DNE	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar en Cabaña I

**Tabla 14.1. Fechados radiocarbónicos C14 de los contextos holocénicos del PNAESM discutidos en esta tesis.** Se presentan las dataciones calibradas a 2 Sigma, a partir de la curva InCal 13 terrestre (Reimer et al., 2013), según el programa OxCal 4.3. Las dataciones presentadas están recogidas en: Gassiot, 2016; Gassiot et al., 2017 y 2019.

Yacimiento	Código	X	Y	Altitud m snm.	Zona	Min	h	Distancia	Tipo de hábitat	Cronología (ka cal BP)
Cova del Sardo de Boí	VB-014	327971,7	471316,5,6	<b>1773,9</b>	Fondo de valle	0	0	Próximo (1-2h)	Abrigo y estructuras arquitectónicas	Neolítico (7,6 - 5,3) Calcolítico (5,3 - 4,3)
Abric de Les Covetes	VB-016	327592,7	471342,9,6	<b>1870,8</b>	Fondo de valle	39	0,7	Próximo (1-2h)	Abrigo y estructuras arquitectónicas	Calcolítico (5,3 - 4,3)
Cova de Sarrade	VB-023	327209,7	471383,4,6	<b>1980,9</b>	Fondo de valle	86	1,4	Próximo (1-2h)	Cueva	Calcolítico (5,3 - 4,3)
Despoblat i pletiu de la Cova	VB-017 sup	328337,0	471152,1,0	<b>2120,3</b>	Media vertiente	84	1,4	Próximo (1-2h)	Estructuras arquitectónicas	Bronce tardío (3,5 - 3)
Túmulo de la Pleta d'Erdo	VB-087	328446,0	471076,1,0	<b>2254,8</b>	Cabecera de valle	113	1,9	Próximo (1-2h)	Estructura funeraria	Bronce final/Hierro (3,5 - 3)
Tarter del Bony del Graller	VB-015	328534,0	471019,9,0	<b>2356,4</b>	Cabecera de valle	133	2,2	Próximo (1-2h)	Depósito de cerámica	Bronce medio/tardío (1,6 - 1,2)
Abric de Portarró	ESP-015B	334261,8	471603,5,6	<b>2283,3</b>	Puerto de montaña	207	3,5	Media jornada (3-5h)	Abrigo y estructuras arquitectónicas	Calcolítico (5,3-4,3)
Abric de les Obagues de Ratera	ESP-018	333777,8	471806,9,6	<b>2310,5</b>	Puerto de montaña	272	4,5	Media jornada (3-5h)	Abrigo y estructuras arquitectónicas	Mesolítico (10-7,6) Neolítico (7,6 - 5,3) Calcolítico (5,3 - 4,3) Bronce (4,2 - 2,8)
Coma d'Espós	TC-026D	336103,0	470779,0,0	<b>2235,0</b>	Media vertiente	324	5,4	1 jornada (5-10 h)	Estructura arquitectónica	Calcolítico (5,3 - 4,3)
Abric del Lac Major de Saboredo II	AA-067	333658,8	472016,9,6	<b>2358,6</b>	Cabecera de valle	335	5,6	1 jornada (5-10 h)	Abrigo	Calcolítico (5,3 - 4,3)
Abric de l'Estany de la Coveta I	ESP-008	338732,7	471165,3,5	<b>2456,0</b>	Cabecera de valle	397	6,6	1 jornada (5-10 h)	Abrigo	Mesolítico (10-7,6) Calcolítico (5,3 - 4,3)
Abric de l'Estany de Xemeneia	AA-043	337032,8	472006,5,6	<b>2430,1</b>	Cabecera de valle	459	7,7	1 jornada (5-10 h)	Abrigo y estructuras arquitectónicas	Bronce (4,2 - 3) Hierro (3-2,3)
Despoblat del Tuc deth Lac Redon	NA-084	319138,8	472322,2,7	<b>2410,3</b>	Cabecera de valle	599	10	1 jornada (5-10 h)	Estructura arquitectónica	Calcolítico (5,3-4,3)

**Tabla 14.2. Distancia de coste de otros yacimientos prehistóricos respecto a la Cova del Sardo de Boí.** Localización, tipo de contexto, cronología y distancia de coste desde la Cova del Sardo a los principales yacimientos prehistóricos documentados en el PNAESM (según Gassiot et al., (2020), en prensa).

Sitio (Yacimiento / sondeo)	Fase	UE	Código Laboratorio	Edad (y)	+ (y)	CalANE/CAL DNE 2δ (95,4%)	Material	Taxón	Contexto sedimentario
Cova del Sardo de Boí	9	A-9A1	KIA 37689	6525	45	5563-5376	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar bajo cornisa interior oeste
Forcall de Sant Esperit AS-2	9b	H.A2	BETA 358572	6100	30	5207-4935	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Paleosuelo
Cova del Sardo de Boí	8a	A-8B1	KIA 37690	5850	40	4826-4602	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior este
Cova del Sardo de Boí	8b	A-8A4	KIA 40878	5715	35	4681-4463	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	8b	A-8A4	KIA 36935	5695	35	4653-4454	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	8b	A-8B2	KIA 40817	5686	35	4651-4450	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar interior este, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	8b	A-8A6	KIA 41134	5645	25	4543-4375	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	8b	A-8A4	KIA 40815	5635	35	4539-4369	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Área de combustión terraza inferior
Cova del Sardo de Boí	7a	A-7A31	KIA 32340	5245	40	4229-3971	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior oeste
Cova del Sardo de Boí	7b	t.9	KIA 26248	5060	40	3963-3766	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	7b	A-7B6	KIA 40816	5000	30	3939-3702	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Relleno en cubeta interior central
Cova del Sardo de Boí	7c	A-7B2	KIA 32342	4945	35	3791-3652	Carbón	<i>Fraxinus excelsior</i>	Hogar en cubeta interior oeste
Cova del Sardo de Boí	7c	A-7A8	KIA 36934	4765	40	3641-3381	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior oeste, bajo cornisa
Cova del Sardo de Boí	7c	A-7A15	KIA 37691	4715	35	3632-3375	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior central
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A1	KIA 32351	4555	30	3371-3105	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Material constructivo terraza
Cova del Sardo de Boí	6	A-6A4	KIA 29816	4475	30	3309-3029	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación terraza
Cova del Sardo II	6		KIA 40850	4465	30	3337-3024	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación del abrigo superior
Cova del Sardo de Boí	5a	t.8	KIA 26251	4210	35	2901-2677	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación interior este
Cova del Sardo de Boí	5a	A-5B1	KIA 32348	4090	35	2864-2495	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Hogar zona interior este
Abric de les Covetes	5b	t.5	KIA 32341	3960	30	2571-2347	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación
Cova de Sarradé	5b	t.4	KIA 32335	3945	25	2566-2346	Carbón	<i>Pinus sylvestris / uncinata</i>	Nivel de ocupación

**Tabla 14.3. Fechados radiocarbónicos C14 del Holoceno medio (8,2 – 4,2 ka cal BP) en el valle de Sant Nicolau.** La tabla recoge los niveles arqueológicos datados en nuestro caso de estudio, calibrados a 2 sigma con el programa OxCal 4.2, a partir de la curva InCal13 (Reimer et al., 2013). Se observa que, de las 22 dataciones recogidas, 17 provienen de la Cova del Sardo y las 4 restantes de otros contextos de su entorno, localizados a menos de 1 km de distancia y a menos de 200 m de desnivel respecto al abrigo (Gassiot 2016, Gassiot et al., 2017 y 2019).

Yacimiento	Muestra	Subconjunto	Cronología Cal ANE	Localización	Contexto estratigráfico
AEC I	ESP-008/3	A-4A1	7000 / 6600	Interior abrigo	Hogar con industria lítica
CdS	M9	8B1 / 9A1	7000 / 6600	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque
CdS	M1	A-8A4-base	4600 / 4400	Terraza	Del perfil
CdS	M3	A-8A5	4600 / 4400	Terraza	Del perfil
CdS	M4	A-8A6	4600 / 4400	Terraza	Del perfil
CdS	M6	A-8A7	4600 / 4400	Terraza	Del perfil. Cota superior del estrato
CdS	TR-557	A-8A2	4200 / 4000	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque
CdS	TR-797	A-7A15	3600 / 3400	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque
CdS	M10	A-7A15	3600 / 3400	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque
CdS	M11	Final F.7 / Inicio F.5	3400 / 2800	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque
CdS	M12	Final F.5	2800 / 2000	Interior abrigo	Columna interior: esquina NE del gran bloque

**Tabla 14.4. Listado de muestras polínicas de yacimientos arqueológicos: Cova del Sardo y Abric de l'Estany de la Coveta I.** La tabla señala la procedencia estratigráfica de las muestras de polen discutidas, que en varios casos provienen de las mismas UE de las que han sido analizados los fitolitos en esta tesis. Analista: Francesc Burjachs (Gassiot et al., 2012).

Sondeo	Muestra	UE	Cronología Cal ANE / CAL DNE	Contexto estratigráfico
AS 2	AS 2_3b	O2	Subactual	Suelo orgánico actual
AS 2	AS2_8b	A1b	858-988 CAL DNE	Horizonte AO (orgánico)
AS 2	AS2_9b	A2a		Evento aluvial erosivo
AS 2	AS2_10b	A2a		Paleosuelo
AS 2	AS2_11b	A2_base	5235-5044	Paleosuelo
AS 2	AS2_12b	B1	5070-4940	Techo del horizonte B
AS 2	AS2_14b	B2_base	6606-6443	Base del horizonte B (inorgánico)
AS 2	AS2_16b	C		Horizonte inorgánico de gravas y limos

**Tabla 14.5. Listado de muestras polínicas procedentes del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.** Las 8 muestras analizadas provienen de la misma columna del perfil AS 2, por lo que analizan los mismos archivos sedimentarios que las muestras de fitolitos de idéntica numeración (Tabla 14.7). Analista: Jordi Revelles (Rodríguez-Antón et al., 2018).



Cod. Lab.	+/- (y)	$\delta^{13}C$ (‰)	Edad (y)	cal BC/AD(1 $\sigma$ ) (InCal 13)	Taxón	Horizonte	Nivel	Interpretación	Crono-cultura	Clima
4872.1.1	32	-25,6	1.130	cal AD 858: cal AD 988	<i>Abies</i>	A1	5	Suelo actual	Alto medieval	MWP
4873.1.1	41	-18,1	6.200	cal BC 5235: cal BC 5044	<i>Betula</i>	A2-base	6	Palaeosuelo	Neolítico antiguo	Atlántico
Beta-358572	30	-25,3	6.100	cal BC 5070: cal BC 4940	<i>Pinus</i>	B1 -techo	7	Palaeosuelo	Neolítico antiguo	Atlántico
4874.1.1	46	-22,0	7.681	cal BC 6606: cal BC 6443	<i>Pinus</i>	B1 -base	8	Suelo inorgánico aluvial	Mesolítico	Boreal

**Tabla 14.6. Dataciones de C14 obtenidas en el perfil del sondeo de Forcall de Sant Esperit – AS 2.** Todas las dataciones han sido obtenidas del perfil y los resultados de laboratorio calibrados con la curva terrestre InCal13 (Reimer et al., 2013)

Nivel	Horizonte	2 - 10 mm	1 - 2 mm	0,5 - 1 mm	Antracomasa	g/L	TOTAL (10L)	Ni/cm3	0,5 - 0,15 mm
1	H.O1	0,124	0,450	0,034	0,607	g/L	<b>6,070</b>	115	1,15
2	H.O2	0,283	0,208	0,002	0,493	g/L	<b>4,930</b>	109	1,09
3	H.O3	0,885	0,490	0,003	1,377	g/L	<b>13,770</b>	126	1,26
4	H.O4	1,470	0,610	1,405	3,485	g/L	<b>34,846</b>	87	0,87
5	H.A1	3,240	0,948	1,941	6,128	g/L	<b>61,282</b>	83	0,83
6	H.A2	2,990	0,050	1,677	4,717	g/L	<b>47,173</b>	134	1,34
7	H.B1	1,276	0,257	0,308	1,842	g/L	<b>18,415</b>	225	2,25
8	H.B2	0,494	0,000	0,034	0,527	g/L	<b>5,273</b>	84	0,84
9- 10	H.C	0,155	0,000	0,001	0,156	g/L	<b>1,556</b>	25	0,25

**Tabla 14.7. Resultados cuantitativos del estudio de carbones sedimentarios realizado en el sondeo de Forcall de Sant Esperit -AS 2, por unidades estratigráficas.** Se observa la variación en la concentración de carbones por EU, así como la diferencia en los diferentes rangos de tamaños de los carbones sedimentarios.

UE	Muestra	AIF %	Num Total Fitolitos	Disoluc %	Mill. Fitol g / sed (AIF)	Mill. Fitol g / sed	Num Total Diatom	Diatom %	Conc. Fitolitos (mill g / AIF)
4B1 (F6)	AOR 11	67,2	247	39,7	0,20	0,13			Media/baja (1 > 0,15)
6A1 (C1)	AOR 8	79,7	175	57,7	0,05	0,04			Muy Baja (> 0,15)
A-6A1	CdS 1	66,8	400	34,4	5,79	3,84	3	0,8	Muy alta (< 5)
A-5A3	CdS 2	66,4	740	29,7	2,91	1,69			Media/alta (1< 5)
A-5B1	CdS 3	58,1	884	29,8	2,01	1,34	3	0,3	Media/alta (1< 5)
A-6A4	CdS 5	80,1	676	35,5	1,29	1,04			Media/alta (1< 5)
A-6A9	CdS 6	51,0	374	33,6	8,87	4,52			Muy alta (< 5)
A-7A21	CdS 7	77,3	347	23,5	6,46	5,00	5	1,4	Muy alta (< 5)
A-7A31	CdS 8	66,4	460	30,2	8,56	5,69			Muy alta (< 5)
A-7A16	CdS 9	59,6	386	28,7	6,61	3,94	188	48,7	Muy alta (< 5)
A-7A8	CdS 10	71,9	363	34,7	0,15	0,11			Muy Baja (> 0,15)
A-7A8-base	CdS 11	68,0	366	39,1	0,09	0,06			Muy Baja (> 0,15)
A-7A29	CdS 12	44,5	308	26,9	0,73	0,32	142	46,1	Media/baja (1 > 0,15)
A-7A27	CdS 13	41,8	306	31,2	0,91	0,38	26	8,5	Media/baja (1 > 0,15)
A-7B4	CdS 14	89,6	318	36,9	0,14	0,12			Muy Baja (> 0,15)
A-7B6	CdS 15	83,3	104	25,7	0,03	0,02			Muy Baja (> 0,15)
A-8B2	CdS 16	75,0	281	41,3	0,35	0,26			Media/baja (1 > 0,15)
A-8A4-cos	CdS 20	62,6	441	44,0	5,28	3,78			Muy alta (< 5)
A-8A4-sup	CdS 21	71,6	540	40,8	1,77	1,11	3	0,6	Media/alta (1-5)
A-8A4-base	CdS 22	71,2	317	34,6	4,40	2,15			Media/alta (1-5)
A-8A5	CdS 23	71,0	343	45,7	1,49	1,06			Media/alta (1-5)
A-8A4-inf	CdS 24	48,8	565	39,7	2,18	1,55	157	27,8	Media/alta (1-5)
A-8A6	CdS 25	79,0	95	51,6	0,05	0,04			Muy Baja (> 0,15)
A-9B1	CdS 26	75,7	365	44,2	0,09	0,07			Muy Baja (> 0,15)
A-10A1-W	CdS 27	73,8	333	36,9	0,06	0,04			Muy Baja (> 0,15)
A-10A1-E	CdS 28	82,2	356	49,7	0,18	0,15			Media/baja (1 > 0,15)

**Tabla. 14.8. Fitolitos de yacimientos arqueológicos (AIF, Número Total, Disolución, Concentración y Porcentaje de Diatomeas).** En la tabla se indican el porcentaje estimado de AIF en relación al sedimento, el número de fitolitos contabilizado y su porcentaje de disolución o alteración. Se muestra también el número de diatomeas contabilizadas y su porcentaje.

Muestra	BLO	PLG	BUL FLA	TRA	SPH	ACU BAS	ACU	ACU BUL	PAP	PAP CON	ELO ENT	ELO SIN	ELO DET	CRO	SAD	BIL	CRE	TRZ	RON
AOR 11	2,2	-	-	5,6	5,6	3,4	2,2	1,3	3,4	3,0	17,7	2,2	2,2	-	0,4	0,9	7,3	15,1	27,6
AOR 8	1,2	-	-	9,4	3,5	1,2	1,8	2,3	1,2	0,6	15,2	0,6	2,3	-	-	1,2	8,2	17,0	34,5
CdS 3	2,0	-	2,2	2,8	7,3	1,3	2,0	1,2	2,0	2,4	23,3	5,9	5,3	0,1	0,4	6,0	11,1	11,2	13,4
CdS 2	1,4	2,5	0,1	0,8	7,7	0,3	0,7	3,5	2,8	4,6	18,5	4,3	4,8	0,1	-	1,8	10,8	13,3	21,7
CdS 5	1,5	4,7	3,2	0,5	3,7	1,1	1,1	6,2	-	3,1	17,7	6,7	8,6	0,3	-	3,2	8,4	15,9	14,0
CdS 1	8,3	1,9	3,7	0,3	4,0	-	0,3	1,3	2,4	1,3	31,0	4,3	7,5	0,3	-	3,7	9,9	9,6	10,2
CdS 6	1,1	-	-	1,1	3,7	0,8	1,7	0,3	3,4	2,3	19,5	4,8	-	0,3	-	4,5	12,5	13,6	30,3
CdS 9	0,5	-	-	4,9	14,3	-	0,5	-	0,5	2,2	25,5	8,0	4,7	0,8	-	4,4	12,6	12,9	8,0
CdS 13	6,7	2,1	0,4	0,7	3,5	0,4	0,4	1,4	-	0,7	32,7	2,8	4,2	1,1	1,4	6,7	8,1	14,1	12,7
CdS 12	6,6	4,2	0,3	0,3	13,2	0,7	0,7	-	-	1,7	37,2	3,5	1,4	-	4,2	1,4	3,8	8,0	12,8
CdS 10	-	-	2,1	2,7	12,2	-	-	-	1,2	2,7	29,2	5,8	1,2	0,9	-	2,1	10,0	8,5	21,3
CdS 11	1,2	-	0,6	-	4,2	-	0,9	0,3	1,5	2,4	40,0	0,6	1,5	-	-	2,4	7,9	26,1	10,3
CdS 7	2,8	-	1,5	1,8	11,0	0,3	0,6	0,3	0,9	2,8	25,2	6,7	5,8	0,9	-	4,0	8,3	10,4	16,6
CdS 14	-	-	-	-	5,9	0,3	-	2,4	0,7	0,7	34,3	3,8	4,2	2,4	0,3	2,8	11,1	12,1	19,0
CdS 15	24,0	1,0	-	1,0	2,1	-	-	-	1,0	-	19,8	3,1	7,3	-	-	4,2	6,3	11,5	18,8
CdS 8	0,2	-	1,2	10,4	7,1	-	0,7	-	0,5	0,9	23,3	9,0	1,6	3,9	-	8,3	12,9	11,8	8,3
CdS 16	0,4	-	-	0,4	11,5	-	0,4	2,7	-	3,8	37,2	3,1	3,8	-	-	1,9	7,3	19,9	7,7
CdS 23	1,3	-	-	1,9	3,5	-	1,0	2,9	0,3	1,9	28,3	3,2	1,3	-	1,0	4,8	8,7	18,3	21,5
CdS 21	0,2	-	-	0,9	8,7	0,6	1,5	4,5	3,6	0,2	21,3	2,1	2,1	0,4	1,7	3,6	7,9	17,5	23,0
CdS 20	4,2	-	0,2	1,0	9,8	-	-	1,7	0,2	-	25,0	2,9	2,7	1,7	1,7	6,4	12,7	14,0	15,7
CdS 24	2,9	-	-	0,4	3,3	0,4	3,1	2,1	1,5	0,6	27,0	1,2	4,2	1,7	2,3	8,3	12,1	13,3	15,6
CdS 22	1,4	1,8	0,4	2,5	5,8	-	0,7	3,6	1,4	1,8	30,9	1,8	3,6	1,1	2,2	2,9	7,2	9,4	21,6
CdS 25	2,4	1,2	1,2	1,2	4,7	2,4	1,2	4,7	1,2	-	34,1	7,1	2,4	-	1,2	-	7,1	11,8	16,5
CdS 26	3,1	-	-	0,9	3,1	0,3	-	0,9	0,3	4,0	50,5	-	3,1	-	-	2,2	5,8	10,8	15,1
CdS 27	1,7	-	-	0,3	4,4	-	-	0,7	0,3	1,7	27,6	0,7	1,7	3,7	-	3,7	10,9	16,7	25,9
CdS 28	1,3	2,3	-	3,0	4,3	-	0,7	1,7	0,3	1,7	24,2	3,3	1,0	-	1,0	3,3	5,0	18,2	28,8

**Tabla 14.9. Porcentajes de morfotipos de fitolitos de yacimientos arqueológicos.** En la tabla se muestran los porcentajes agrupados en los 19 morfotipos clasificados. Los acrónimos de cada morfotipo y su atribución taxonómica pueden leerse en las Tablas 6.5 y 6.6.

UE	Muestra	Dicot cf. Erica	Dicot Conif	Monocot Conif	Poacea Cyper	Cyper	Poaceae	C <sub>4</sub> PACMAD cf.Chlorid	Poaceae C <sub>3</sub> BOP	C <sub>3</sub> POB Pooideae
4B1 (F6)	AOR 11	3,4	13,4	19,8	3,4	3,0	5,6	0,4	0,9	50,0
6A1 (C1)	AOR 8	1,2	14,0	17,0	2,9	0,6	3,5	-	1,2	59,6
A-5B1	CdS 3	1,3	12,1	25,3	9,3	2,4	7,3	0,4	6,0	35,8
A-5A3	CdS 2	2,8	10,0	19,2	8,0	4,6	7,7	-	1,8	45,9
A-6A4	CdS 5	5,8	5,7	18,8	16,1	3,1	8,9	-	3,2	38,3
A-6A1	CdS 1	1,9	12,6	31,3	9,4	1,3	10,2	-	3,7	29,7
A-6A9	CdS 6	0,8	5,9	21,2	5,1	2,3	3,7	-	4,5	56,4
A-7A15	CdS 9	-	19,8	26,1	8,0	2,2	6,0	-	4,4	33,5
A-7A27	CdS 13	2,5	10,9	33,1	4,6	0,7	5,3	1,4	6,7	34,9
A-7A29	CdS 12	4,9	20,1	37,8	3,8	1,7	1,4	4,2	1,4	24,7
A-7A8	CdS 10	-	14,9	29,2	7,9	2,7	3,3	-	2,1	39,8
A-7A8-base	CdS 11	-	5,5	40,9	1,5	2,4	3,0	-	2,4	44,2
A-7A21	CdS 7	0,3	15,6	25,8	8,6	2,8	7,7	-	4,0	35,3
A-7B4	CdS 14	0,3	5,9	34,3	6,2	0,7	7,3	0,3	2,8	42,2
A-7B6	CdS 15	1,0	27,1	19,8	3,1	-	8,3	-	4,2	36,5
A-7A31	CdS 8	-	17,7	24,0	10,1	0,9	6,0	-	8,3	32,9
A-8B2	CdS 16	-	12,3	37,5	5,7	3,8	3,8	-	1,9	34,9
A-8A5	CdS 23	-	6,8	29,3	6,1	1,9	1,6	1,0	4,8	48,6
A-8A4-sup	CdS 21	0,6	9,8	22,8	6,6	0,2	6,2	1,7	3,6	48,4
A-8A4-cos	CdS 20	-	15,0	25,0	4,9	-	4,7	1,7	6,4	42,4
A-8A4-inf	CdS 24	0,4	6,6	30,1	3,3	0,6	7,5	2,3	8,3	41,0
A-8A4-base	CdS 22	1,8	9,7	31,7	5,8	1,8	6,1	2,2	2,9	38,1
A-8A6	CdS 25	3,5	8,2	35,3	12,9	-	3,5	1,2	-	35,3
A-9B1	CdS 26	0,3	7,1	50,5	0,9	4,0	3,4	-	2,2	31,7
A-10A1-W	CdS 27	-	6,5	27,6	1,4	1,7	5,8	-	3,7	53,4
A-10A1-E	CdS 28	2,3	8,6	24,8	5,0	1,7	1,3	1,0	3,3	52,0

**Tabla 14.10. Porcentajes de las 9 categorías taxonómicas aplicadas a las muestras arqueológicas.** Cada columna expresa un valor taxonómico aproximado, detallado a partir de las correlaciones expresadas en la tabla 6.6.

UE	Muestra	AIF %	Num Total Fitolitos	Disoluc %	Mill. Fitol g / sed (AIF)	Mill. Fitol g / sed	Num Total Diatom	Diatom %	Conc. Fitolitos (mill g / AIF)
O1a	AS1_18	54,2	201	54,2	1,06	0,69			Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
O2a	AS1_16	50,9	224	50,9	1,51	1,37			Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
C1c	AS1_3	56,2	249	56,2	0,01	0,01			Muy baja (> 0,2 mill g / AIF)
C1a	AS1_5	71,9	228	71,9	0,02	0,02			Muy baja (> 0,2 mill g / AIF)
O1a	AS2_1b	36,9	339	36,9	10,93	9,08	14	4,1	Muy alta (< 8 mill g /AIF)
O1b	AS2_2b	39,4	363	39,4	7,10	6,11	32	8,8	Media/alta (8 < 1,5 mill g /AIF)
O2a	AS2_3	49,5	95	49,5	0,30	0,20	26	27,4	Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
O2b	AS2_4b	46,9	311	46,9	4,78	3,94	53	17,0	Media/alta (8 < 1,5 mill g /AIF)
O3	AS2_5b	34,0	287	34,0	3,54	2,99	52	18,1	Media/alta (8 < 1,5 mill g /AIF)
O4	AS2_6	37,1	307	37,1	3,35	1,74	64	20,8	Media/alta (8 < 1,5 mill g /AIF)
A1a	AS2_7b	32,4	376	32,4	4,50	3,71	60	16,0	Media/alta (8 < 1,5 mill g /AIF)
A1b	AS2_8b	46,2	344	46,2	13,97	11,76	47	13,7	Muy alta (< 8 mill g /AIF)
A2a	AS2_9	36,4	319	36,4	0,11	0,10	99	31,0	Muy baja (> 0,2 mill g / AIF)
A2b	AS2_10b	50,6	409	50,6	30,51	23,89	157	38,4	Muy alta (> 8 mill g /AIF)
A2base	AS2_11b	39,4	622	39,4	21,92	14,38	91	14,6	Muy alta (> 8 mill g /AIF)
B1a	AS2_12	34,0	711	34,0	1,69	1,43	7	1,0	Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
B1b	AS2_13	62,5	261	62,5	0,33	0,29	2	0,8	Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
B2	AS2_14	62,8	322	62,8	0,42	0,39			Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
C1	AS2_15	45,3	333	45,3	0,55	0,50			Media/baja (1,5 < 0,2 mill g /AIF)
C2a	AS2_16	37,3	322	37,3	0,11	0,10	2	0,6	Muy baja (> 0,2 mill g / AIF)
C2b	AS2_17	67,3	167	67,3	0,07	0,07	6	3,6	Muy baja (> 0,2 mill g / AIF)

**Tabla. 14.11. Fitolitos de sondeos geológicos (AIF, Número Total, Disolución, Concentración y Porcentaje de Diatomeas).** En la tabla se indican el porcentaje estimado de AIF en relación al sedimento, el número de fitolitos contabilizado y su porcentaje de disolución o alteración. Se muestra también el número de diatomeas contabilizadas y su porcentaje.

Muestra	BLO	PLG	BUL FLA	TRA	SPH	ACU BAS	ACU	ACU BUL	PAP	PAP CON	ELO ENT	ELO SIN	ELO DET	CRO	SAD	BIL	CRE	TRZ	RON
AS1_18	6,2	-	-	1,6	5,2	1,0	3,6	1,0	3,1	-	16,6	9,8	2,6	-	0,5	1,0	14,0	7,8	18,7
AS1_16	6,2	0,5	0,5	10,5	5,3	3,8	4,3	3,8	2,9	3,8	12,4	1,4	3,8	1,0	-	-	5,3	9,6	24,9
AS1_5	3,1	-	-	2,1	0,5	-	3,1	-	2,1	3,6	6,3	1,6	0,5	-	-	-	10,9	15,1	50,5
AS1_3	3,0	1,3	-	2,6	6,1	0,4	4,8	0,4	2,6	3,5	8,7	0,9	-	-	-	0,4	9,1	15,7	40,0
AS2_1b	11,0	-	-	-	3,4	2,1	10,7	2,1	1,7	-	23,1	2,1	2,4	-	0,7	1,4	3,8	14,5	23,1
AS2_2b	10,7	1,0	-	0,6	1,6	1,6	4,9	1,6	-	2,3	26,9	2,3	3,2	0,6	0,3	0,3	9,4	17,2	16,9
AS2_3	9,3	-	-	3,5	1,2	1,2	5,8	1,2	-	2,3	19,8	4,7	2,3	-	3,5	-	8,1	15,1	12,8
AS2_4b	9,6	-	0,3	2,1	6,5	2,4	5,1	2,4	1,4	1,0	20,9	1,0	1,7	-	-	3,4	7,5	15,8	15,1
AS2_5b	6,6	-	0,4	2,6	7,7	2,6	2,9	2,6	0,7	5,1	18,0	2,2	2,6	-	0,7	2,6	8,5	15,4	16,5
AS2_6	9,7	-	1,9	-	3,1	0,8	7,0	0,8	0,8	-	34,2	0,8	3,9	0,8	0,4	0,4	9,3	10,5	16,3
AS2_7b	4,5	-	0,6	1,5	6,0	0,6	1,5	0,6	1,2	-	37,8	1,8	3,0	-	-	0,9	7,7	17,3	15,8
AS2_8b	6,0	-	-	1,8	5,1	1,5	3,6	1,5	0,9	3,3	24,3	3,6	1,2	0,3	-	1,8	9,9	18,6	13,2
AS2_9	48,0	-	12,5	0,3	3,0	-	2,4	-	-	-	11,5	1,7	0,7	-	-	3,4	5,4	5,7	5,4
AS2_10b	12,7	-	0,6	1,8	5,3	-	4,1	-	-	-	42,9	3,6	4,1	0,6	-	2,1	6,2	5,6	10,4
AS2_11b	6,0	0,7	1,0	1,5	5,3	1,2	2,6	1,2	-	0,7	36,0	6,5	4,8	0,5	0,2	3,6	11,1	9,1	6,2
AS2_12	5,0	-	0,2	2,7	5,3	1,6	8,2	1,6	0,2	1,9	24,5	3,5	2,2	-	0,6	6,6	8,8	14,9	13,3
AS2_13	5,9	-	-	4,6	6,3	0,4	4,6	0,4	0,4	1,3	19,2	4,2	2,5	0,8	0,4	5,4	7,5	14,6	12,1
AS2_14	1,4	-	0,3	0,7	3,1	0,3	4,5	0,3	0,7	1,7	12,0	4,5	2,4	-	0,7	3,4	11,7	26,1	19,2
AS2_15	10,4	-	4,9	0,7	3,7	0,4	4,1	0,4	-	1,1	17,5	3,7	3,0	-	0,7	4,1	10,4	18,7	16,4
AS2_16	14,9	-	0,7	1,4	4,2	0,3	7,6	0,3	0,7	0,7	25,3	6,2	3,1	-	1,0	-	4,8	18,7	9,7
AS2_17	17,2	-	-	2,0	2,0	-	5,3	-	-	1,3	12,6	4,0	1,3	-	0,7	2,0	7,9	21,2	13,9

**Tabla. 14.12. Porcentajes de morfotipos de fitolitos de sondeos geológicos.** En la tabla se muestran los porcentajes agrupados en los 19 morfotipos clasificados. Los acrónimos de cada morfotipo y su atribución taxonómica pueden leerse en las Tablas 6.5 y 6.6.

UE	Muestra	Dicot cf. Erica	Dicot Conif	Monocot Conif	Poacea Cyper	Cyper	Poaceae	C <sub>4</sub> PACMAD cf. Chlorid	Poaceae C <sub>3</sub> BOP	C <sub>3</sub> POB Pooideae
O1a	AS1_18	1,0	13,0	20,2	18,1	-	5,7	0,5	1,0	40,4
O2a	AS1_16	4,3	22,0	16,7	5,7	3,8	7,7	-	-	39,7
C1a	AS1_5	-	5,7	9,4	2,1	3,6	2,6	-	-	76,6
C1c	AS1_3	1,7	11,7	13,5	1,7	3,5	2,6	-	0,4	64,8
O1a	AS2_1b	2,1	14,5	33,8	2,1	-	4,1	0,7	1,4	41,4
O1b	AS2_2b	2,6	13,0	31,8	2,3	2,3	3,9	0,3	0,3	43,5
O2a	AS2_3	1,2	14,0	25,6	15,1	2,3	2,3	3,5	-	36,0
O2b	AS2_4b	2,4	18,2	26,0	7,5	1,0	3,1	-	3,4	38,4
O3	AS2_5b	2,6	16,9	21,0	7,4	5,1	3,3	0,7	2,6	40,4
O4	AS2_6	0,8	12,8	41,2	2,7	-	5,4	0,4	0,4	36,2
A1a	AS2_7b	0,6	11,9	39,3	2,4	-	4,2	-	0,9	40,8
A1b	AS2_8b	1,5	12,9	27,8	8,7	3,3	2,4	-	1,8	41,6
A2a	AS2_9	-	51,4	13,9	14,2	-	0,7	-	3,4	16,6
A2b	AS2_10b	-	19,8	47,0	4,1	-	4,7	-	2,1	22,2
B1a	AS2_11b	1,9	12,9	38,6	10,5	0,7	5,3	0,2	3,6	26,4
B1b	AS2_12	1,6	13,0	32,7	4,2	1,9	2,4	0,6	6,6	37,0
B2a	AS2_13	0,4	16,7	23,8	13,8	1,3	3,8	0,4	5,4	34,3
B2b	AS2_14	0,3	5,2	16,5	12,0	1,7	3,1	0,7	3,4	57,0
C1	AS2_15	0,4	14,9	21,6	8,6	1,1	3,0	0,7	4,1	45,5
C2a	AS2_16	0,3	20,4	32,9	7,6	0,7	3,8	1,0	-	33,2
C2b	AS2_17	-	21,2	17,9	12,6	1,3	1,3	0,7	2,0	43,0

Tabla 14.13. Porcentajes de los 9 grupos taxonómicos aplicados a las muestras geológicas. Cada columna expresa un valor taxonómico aproximado, detallado a partir de las correlaciones expresadas en la tabla 6.6

Num. Clústers	Muestras Arqueológicas	Muestras Geológicas	Todas las muestras
2	9,18	7,47	13,55
3	7,26	11,14	12,59
4	7,75	12,87	11,85
5	7,07	12,60	12,04
6	6,49	11,36	12,27
7	6,15	10,23	11,92
8	6,47	9,52	11,09
9	6,40	9,70	10,71
10	6,98	9,71	10,68
11	6,70	9,47	10,54
12	6,68	9,38	10,83
13	7,62	8,80	10,44
14	7,29	9,95	10,03
15	7,23	9,67	9,88

Tabla 14.14. Análisis multivariante por conglomerados aplicado a los 3 conjuntos de muestras. En la tabla se indica el número de conglomerados óptimo, a partir del valor más elevado, según Calinski y Harabasz, (1974).

## 14.2 FIGURAS

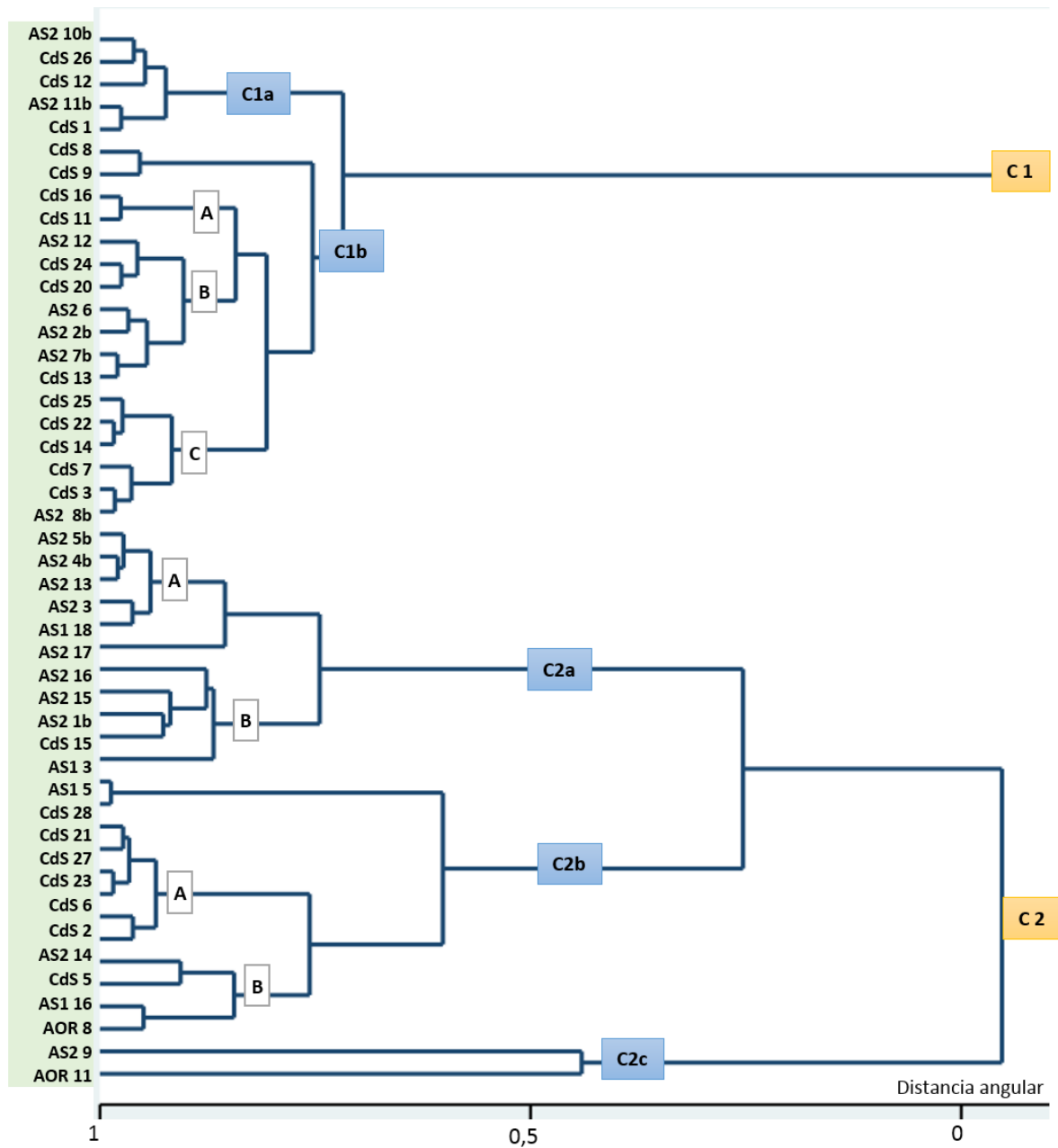
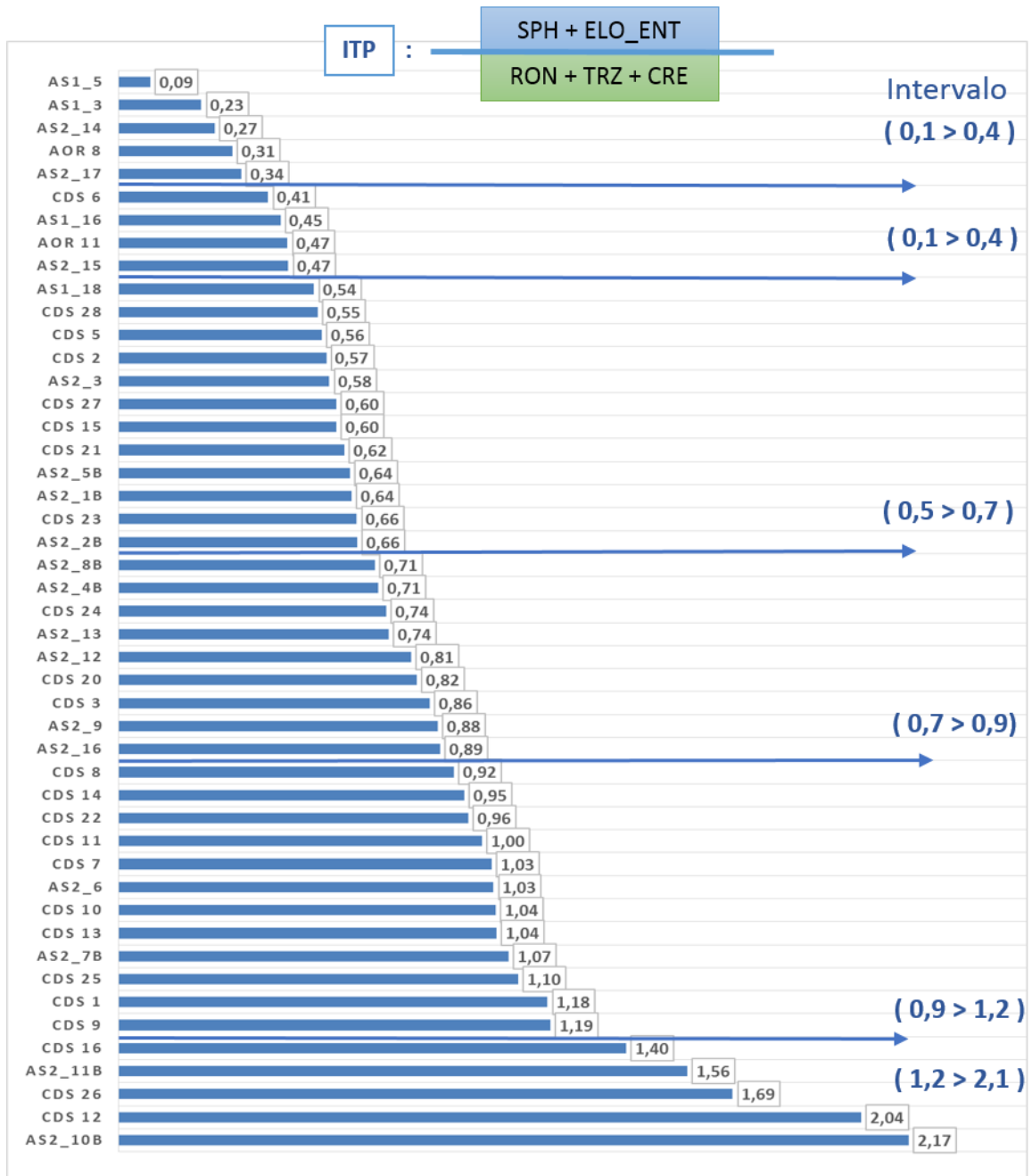


Figura 14.1. Análisis multivariante por conglomerados, de las 47 muestras de fitolitos analizadas. Dendrograma realizado según el algoritmo de clasificación jerárquica de Ward, calculado a partir de la prueba de Zhan y Hart, (2014).





**Figura 14.2. ITP de las 47 muestras arqueológicas y geológicas discutidas en esta tesis.** La ratio ITP es el cociente resultante de dividir la suma de porcentajes de los morfotipos: SPH + ELO\_ENT / RON + CRE + TRZ. La mayoría de los valores obtenidos (79%) se sitúan entre 0,4 y 1,2 de ratio, siendo el valor promedio 0,82.