



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

GESTIÓN DEL MEDIO VEGETAL Y DIETA ANIMAL EN DEPÓSITOS NEOLÍTICOS DE *FUMIER* EN LA SIERRA DE CANTABRIA (SAN CRISTÓBAL Y LOS HUSOS II) Y LA SIERRA DE ATAPUERCA (EL MIRADOR). ANÁLISIS MICROARQUEOLÓGICO DE FITOLITOS, PSEUDOMORFOS DE CALCITA, ESFEROLITOS Y FTIR.

Mónica Alonso Eguiluz

Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología

Universidad del País Vasco

(UPV/EHU)

Tesis doctoral

Directores:

Dr. Javier Fernández Eraso

Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología

Universidad del País Vasco

Dra. Rosa María Albert

ICREA

Departamento de Historia y Arqueología

Universidad de Barcelona

A mis padres, Eva y Pepe

*Qué injusto que los humanos estemos tan llenos de grandiosos afanes y que
luego la realidad sea tan chiquita.*

Rosa Montero, “La Buena Suerte”

Índice

AGRADECIMIENTOS	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
I.I Cronología y disposición geográfica.....	4
I.II Depósitos de fumier. Formación y características.....	5
I.III La Microarqueología como herramienta para el estudio arqueológico	7
I.IV Estudios microarqueológicos en cuevas redil.....	8
I.IV Objetivos e hipótesis de trabajo.....	10
I.IV.I Objetivos generales.....	10
I.IV.II Objetivos específicos.....	10
I.V Estructuración del trabajo.....	11
CAPÍTULO 1	25
MARCO GEOGRÁFICO Y CULTURAL	25
1.1 San Cristóbal y Los Husos II.....	14
1.1.1 Contexto geográfico y geomorfológico.....	14
1.1.2 Contexto climático y vegetal.....	15
1.1.3 Contexto arqueológico de la Rioja Alavesa.....	16
1.2 El Mirador	20
1.2.1 Contexto geográfico y geomorfológico.....	20
1.2.2 Contexto climático y vegetal.....	22
1.2.3 Contexto arqueológico de la Sierra de Atapuerca.....	23
CAPÍTULO 2	32
YACIMIENTOS: SAN CRISTÓBAL, LOS HUSOS II Y EL MIRADOR..	32
2.1 San Cristóbal.....	27
2.2 Los Husos II.....	34
2.3 El Mirador de Atapuerca.....	38

CAPÍTULO 3	6
MARCO METODOLÓGICO	6
3.1 Los fitolitos: qué son y cómo se forman.	43
3.1.2 Preservación.....	45
3.1.3 Estado de la cuestión de las investigaciones de fitolitos	48
3.1.2 Fitolitos fecales	55
3.2 Microrrestos calcíticos	57
3.2.1 Esferolitos fecales.....	57
3.2.2 Oxalatos de calcio y pseudomorfos de calcita.....	58
CAPÍTULO 4	44
MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1 Materiales	62
4.1.1 Materiales para la experimentación.....	62
4.1.2 Muestras arqueológicas: estrategia de muestreo	64
4.2 Métodos.....	70
4.2.1 Experimentación.....	70
4.2.2 Muestras arqueológicas	71
4.2.3 FTIR.....	74
4.3 Tratamiento de los datos.	74
4.3.1 Ratio entre pseudomorfos de calcita y esferolitos fecales (PSR)	74
4.3.2 Ratio entre esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita y fitolitos alterados térmicamente (SMR y PMR).....	75
4.3.3 Test de correlación de Pearson	75
4.3.4 Análisis de componentes principales.....	76
CAPÍTULO 5	78
RESULTADOS	78
5.1 Resumen de los principales resultados morfológicos de fitolitos.	78

5.2 Experimentación del material de referencia.....	89
5.2.1 Estiércol.....	89
5.2.2 Plantas modernas: hojas y ramas de Quercus sp.	104
5.3 Muestras arqueológicas.....	108
5.3.1 San Cristóbal.....	108
5.3.2 Los Husos II.....	126
5.3.3 El Mirador.....	146
5.4 La composición mineralógica de las muestras arqueológicas. Análisis de FTIR.....	155
CAPÍTULO 6.....	159
DISCUSIÓN.....	159
6.1 Aportaciones procedentes de las quemas experimentales.	159
6.1.1 Esferolitos fecales recuperados del estiércol.....	160
6.1.2. Pseudomorfos de calcita recuperados de Quercus.....	160
6.1.3 Fitolitos fecales.....	161
6.2 Aportaciones en el plano arqueológico.....	163
6.2.1 Reagrupación del ganado.....	163
6.2.2 Procesos de iniciación del fuego y detección de episodios de estabulación completos.....	174
6.2.3 El impacto del fuego en los diferentes microrrestos y otros procesos postdeposicionales.	176
6.2.4 Detección de áreas relacionadas con otras actividades paralelas a la estabulación, el caso del Nivel XIII inferior de San Cristóbal.	182
6.3 Discusión general.....	183
CAPÍTULO 7.....	194
CONCLUSIONES.....	194
7.1 Pautas de gestión del medio biótico y patrón de alimentación del ganado.	194

7.2 Procesos de formación y diagénesis en los depósitos de fumier.	194
7.3 Rasgos microarqueológicos de los depósitos de fumier.	196
7.4 Perspectivas de futuro	197
BIBLIOGRAFÍA	199
Anexos.....	241

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química del Nivel I de San Cristóbal (Fernández-Eraso, 2007).....	29
Tabla 2. Relación de dataciones del yacimiento de San Cristóbal.	33
Tabla 3. Relación de dataciones del yacimiento de Los Husos II (Modificado de Fernández-Eraso, 2006).....	38
Tabla 4. Descripción de las facies que componen un fumier y que están representadas en las muestras que hemos analizado, según Vergès et al. 2002 y Angelucci et al. 2009.....	41
Tabla 5. Relación de fechas radiocarbónicas de la cueva del Mirador (modificado de Vergès et al., 2008).....	42
Tabla 6. Lista del número de muestras arqueológicas y de control recogidas de los yacimientos estudiados.	64
Tabla 7. Lista de los morfotipos detectados en todas las muestras analizadas. La clasificación se ha realizado basándonos en el ICPN 2.0 (Neumann et al., 2019) así como en el PhytCore DB (www.phytcore.org). La información está clasificada en función de la proveniencia de los morfotipos identificados: material actual de la experimentación y yacimientos arqueológicos. ASCE: perfil Este de San Cristóbal; ASCW: perfil Oeste de San Cristóbal; LHIIN: perfil Norte de Los Husos II; LHIIS: perfil Sur de Los Husos II; MIR6: El Mirador; #= número de morfotipos identificados; P=promedio; DE: desviación estándar.	88
Tabla 8. Relación del número estimado de microrrestos por gramo de material seco obtenidos a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro y ocho horas. En la tabla se detalla tanto el promedio de microrrestos calculado como el % de disolución.	93
Tabla 9. Porcentaje de estructuras multicelulares en el material de referencia combustionado durante cuatro y ocho horas a 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C. *no interpretado.....	94
Tabla 10. Lista de morfotipos identificados en las muestras del material fecal actual. Cada morfotipo presenta su adscripción taxonómica o anatómica según proceda, así como el porcentaje promedio de individuos identificados.....	95

Tabla 11. Principales resultados obtenidos del perfil Este de San Cristóbal. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado..... 111

Tabla 12. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Este de San Cristóbal, por orden porcentual de presencia, y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura especializada. .. 114

Tabla 13. Principales resultados obtenidos del perfil Oeste de San Cristóbal. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado..... 119

Tabla 14. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Oeste de San Cristóbal y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar. 124

Tabla 15 Principales resultados obtenidos del Norte de Los Husos II. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado..... 129

Tabla 16. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Norte de Los Husos II y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar. 134

Tabla 17. Principales resultados obtenidos del perfil Sur de Los Husos II. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de

sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado..... 139

Tabla 18. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Sur de Los Husos II y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar (modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017)..... 142

Tabla 19. Principales resultados obtenidos del Nivel VI del Mirador (MIR6). La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. 147

Tabla 20. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del nivel MIR6 del Mirador y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar..... 153

Índice de figuras

- Figura 1.** Mapa con la localización de los yacimientos analizados en este trabajo. En rojo, se marca la zona donde se ubican los yacimientos de Los Husos II y San Cristóbal (Sierra de Cantabria), mientras que el círculo verde señala el yacimiento del Mirador (Sierra de Atapuerca) (Modificado de Javier Fernández Eraso). 3
- Figura 2.** Detalle del mapa geológico de la Sierra de Cantabria donde se ubican los abrigos de San Cristóbal y Los Husos. Modificado del Mapa Geológico de España, E: 1:50.000, Hoja 170, Haro 22-09 (IGME)..... 15
- Figura 3.** Localización del conjunto arqueológico ubicado en la Sierra de Cantabria (cuevas y/o abrigos) y en la Sonsierra (dólmenes). Extraído de Fernández-Eraso y Mujika-Alustiza, 2013). 18
- Figura 4.** Mapa geomorfológico de la sierra de Atapuerca (extraído de Benito-Calvo y Pérez-González, 2015). 21
- Figura 5.** Vista actual del abrigo de San Cristóbal. Es posible observar los restos del arco de entrada a la ermita que se levantó en el abrigo hacia finales del siglo XV y que estuvo en uso hasta el siglo XVII (Imagen cedida por cortesía de Javier Fernández Eraso). 28
- Figura 6.** Vista actual del abrigo de Los Husos II (Imagen cedida por cortesía de Javier Fernández Eraso). 34
- Figura 7.** Vista actual de la cueva del Mirador (Imagen extraída de Vergès et al., 2016a). 39
- Figura 8.** Mapa donde se localizan los yacimientos arqueológicos estudiados, así como el lugar donde se recogió el material fecal para la experimentación (cortesía de Maite García Rojas). 63
- Figura 9.** Perfil Este de San Cristóbal con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis. 66
- Figura 10.** Detalle del Perfil Oste de San Cristóbal con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis. 67
- Figura 11.** Perfil Norte de Los Husos II con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis. 68

Figura 12. Perfil Sur de Los Husos II con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis (Modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017)..... 69

Figura 13. Sección del depósito de El Mirador. Leyenda: 1) cuadro, 2) nombre de las unidades, 3) límite de las unidades, 4) límite de las facies, 5) parte de arriba de la secuencia pleistocena, 6) acumulaciones de carbón, 7) acumulaciones de ceniza, 8) capas de ceniza, 9) sedimento quemado, 10) fragmentos de caliza, 11) fragmentos de cerámica, 12) artefactos líticos, 13) huesos, 14) excavaciones actuales, 15) excavaciones antiguas (Imagen cortesía de J.M. Vergès)..... 70

Figura 14. Análisis de componentes principales (PCA) aplicado a todas las morfologías detectadas en todas las muestras analizadas (incluyendo material actual y arqueológico. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: RON: RONDEL; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; TRA: TRAPEZOID; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; PAR: PAPILLAR; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE; ELO_RUG: ELONGATE RUGOSE; ELO_DET: ELONGATE DENTATE. Es posible apreciar como hay dos morfologías (RONDEL y ELONGATE ENTIRE) que sobresalen en el registro, mientras que el resto de morfotipos se disponen en el medio de la gráfica debido a su menor variabilidad. 81

Figura 15. Microfotografías del morfotipo ACUTE, a) fitolito modificado de PhytCore DB, procedente de las inflorescencias de planta Eleusine africana, subfamilia Pooideae. Se puede apreciar que su base es visiblemente más ancha, pero sin llegar a formar un ángulo de 90°, y que no tiene una fuerte silicificación; b) morfotipo ACUTE procedente del estiércol de referencia utilizado en este trabajo. Aunque en este caso sólo se observa el extremo distal apuntado del morfotipo, es posible advertir que existe una tendencia a ensancharse hacia la base. La escala representa 50 µm. 83

Figura 16 Microfotografías de fitolitos tomadas a 400x : a) RONDEL procedente de la muestra W4 del perfil Oeste de San Cristóbal; b) BILOBATE procedente de la muestra E26 del perfil Este de San Cristóbal; c) estructura multicelular formada por ELONGATE PSILATE, aunque algunos presentan su superficie parcialmente rugosa, identificada en la muestra 20r del Mirador; d) estructura multicelular compuesta por ELONGATE SINUOUS documentados en la muestra S23 del perfil Sur de Los Husos II, es posible observar una tonalidad oscura derivada probablemente de la combustión; e) ELONGATE DENTATE recuperada de la muestra W-5 del perfil Oeste de San Cristóbal; f) ELONGATE DENDRITIC procedente de la muestra N26 del perfil Norte de Los Husos II; g) ACUTE BULBOSUS extraído de la muestra S10

del perfil Sur de Los Husos II, es posible observar una tonalidad oscura derivada probablemente de la combustión; h) PAPILLATE documentada en la muestra W6 del perfil Oeste de San Cristóbal, se puede apreciar que el apéndice tiene una coloración más oscura debido a la acción del fuego; i) PAPILLAR, característico de plantas ciperáceas, identificado en la muestra 20r del Mirador. La escala representa 50µm..... 84

Figura 17. Diagrama que muestra el descenso en el número estimado de microrrestos por gramo de material, sometiendo el material a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro horas (a) y ocho horas (b). Nótese que el eje secundario refleja la cantidad estimada de esferolitos por gramo de material seco. En el diagrama se aprecia cómo la cantidad estimada de microrrestos desciende a medida que aumentan las temperaturas. Este decrecimiento es más drástico cuando el tiempo de exposición aumenta a ocho horas. El eje de la izquierda representa los esferolitos por gramo de sedimento. 90

Figura 18. Microfotografía bajo luz polarizada tomada a 400x aumentos de los esferolitos extraídos del material de referencia quemado a 500°C durante ocho horas. En la imagen podemos observar cómo los microrrestos se disponen de manera disgregada en la lámina. 91

Figura 19. Histogramas con el porcentaje promedio de morfologías identificadas en el material de referencia durante la combustión a 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro (a) y ocho (b) horas respectivamente, donde n=3. Las barras muestran la desviación estándar a 1σ. 97

Figura 20. Microfotografía tomada a 400x de una escoria de sílice recuperada de la muestra -1 del perfil Oeste de San Cristóbal. La escala representa 50µm. 99

Figura 21. Diagrama que muestra el porcentaje de fitolito derretidos y escorias de sílice que aparecen en el estiércol actual quemado a cuatro (a) y ocho (b) horas respectivamente y a diferentes temperaturas. Se observa cómo la alteración térmica es más visible cuando el material se combustiona durante ocho horas (b), apareciendo fitolitos derretidos ya a 600°C mientras que durante cuatro horas de combustión los fitolitos necesitan de 700°C para derretirse (a). Por el contrario escorias de sílice necesitan al menos 800°C para formarse independientemente del tiempo de combustión..... 100

Figura 22. Microfotografía tomada a 200x de una estructura multicelular procedente del material de referencia quemado durante ocho horas a 900°C. Se

puede apreciar cómo el color del fitolito se ha oscurecido y es difícil identificar una forma concreta, ya que los fitolitos aparecen fusionados unos con otros. ..101

Figura 23. Difractogramas de FTIR procedentes de las cenizas de estiércol utilizadas para analizar el comportamiento de los esferolitos y fitolitos sometidos a las altas temperaturas. 103

Figura 24. Microfotografías tomadas a 400x aumentos de los pseudomorfos de calcita extraídos a 500°C durante cuatro horas (a) y a 700°C durante ocho horas (b). La imagen a muestra los pseudomorfos de calcita disgregados, mientras que en la imagen b a la muestra en una pequeña acumulación. 104

Figura 25. Difractograma de FTIR procedente de las cenizas de Quercus sp. utilizadas para analizar el comportamiento de pseudomorfos de calcita sometidos a las altas temperaturas 107

Figura 26. Microfotografía tomada a 400x aumentos bajo luz incidente y bajo luz polarizada, donde se pueden apreciar las formaciones de carbonato cálcico en forma de aguja procedentes de la muestra E30. 109

Figura 27. Ratio entre esferolitos (SMR)(a) y pseudomorfos de calcita (PMR)(b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en el perfil Este de San Cristóbal. En ambos histogramas se aprecia como la cantidad de microrrestos calcínicos desciende en función de los fitolitos alterados térmicamente y, en consecuencia, en función de la temperatura alcanzada por el sedimento. 110

Figura 28. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Este de San Cristóbal. 112

Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Este de San Cristóbal. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes. 115

Figura 30. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Este de San Cristóbal. Es apreciable que los valores de la ratio son bajos, sin llegar a uno en ningún caso a 1. En consecuencia, la presencia de plantas ciperáceas no es relevante. 116

Figura 31. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Este de San Cristóbal. Las

abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas Pooideae; C₄: GSSCP plantas de patrón fotosintético C₄; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: verde, Nivel IX; azul, Nivel X; rojo, Nivel XI; negro, Nivel XII; rosa, Nivel XIII. 117

Figura 32. Microfotografías tomadas 400x aumentos de los pseudomorfos de calcita y los fitolitos extraídos del perfil Oeste de San Cristóbal: a) pseudomorfos de calcita procedentes de la muestra W11 de morfología poligonal y romboédrica, y que se presentan en una pequeña aglomeración; b) PAPILLATE en conexión anatómica procedentes de la muestra W-2; c) TRACHEARY ANNULAR diagnóstico de hojas dicotiledóneas procedente de la muestra W2. La escala representa 50µm. 120

Figura 33. Histograma de las ratios entre fitolitos derretidos y microrrestos calcíticos (SMR y PMR) procedentes de las muestras analizadas del perfil Oeste de San Cristóbal. 121

Figura 34. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Oeste de San Cristóbal. El test muestra relación entre ambos efectos. No obstante, esta correlación no es alta ya que tiene un valor de 0,936 (cuanto más cerca de 1 más ajustado es el resultado) y una varianza del 87,5% (con un valor para r² de 0,875). 122

Figura 35. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Oeste de San Cristóbal. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes. 123

Figura 36. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Oeste de San Cristóbal. Es apreciable que solo una muestra de todo el perfil (W10 del Nivel III) supera el valor de 1. Por el contrario, el resto de las muestras se mantienen en valores que no superan el valor de 0,8. 125

Figura 37. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Oeste de San Cristóbal. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas Pooideae; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; ELO_DNT: ELONGATE DENTATE. Nivel IX; rojo; Nivel X: púrpura; Nivel XI: azul; Nivel XII: verde; Nivel XIII: rosa. 126

Figura 38. Histograma de las ratios entre fitolitos derretidos y microrrestos calcíticos (SMR y PMR) procedentes de las muestras analizadas del perfil Norte de Los Husos II..... 127

Figura 39. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Norte de Los Husos II. El test muestra relación entre ambos efectos, indicando que la alteración química y la térmica están directamente relacionadas (valor de la correlación $p=0,01$ y valor de r^2 de 0,436). En consecuencia, la alteración química de los fitolitos es mayor ya que los éstos han sufrido un proceso de quema..... 130

Figura 40. Microfotografías de fitolitos procedentes del perfil Norte de Los Husos II tomadas a 400x aumentos: a) RONDEL diagnóstica de plantas Poaceae C₃ procedente de la muestra N17; b) ELONGATE DENTATE producida en las inflorescencias de las plantas Poaceae detectada en la muestra N17; c) ELONGATE TUBERCULATE producida en las inflorescencias de las plantas Poaceae extraído de la muestra N4. La escala representa 50 μ m..... 131

Figura 41. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Norte de Los Husos II. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes. 132

Figura 42. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Norte de Los Husos II. Llama la atención la muestra N23 (Nivel IV) cuya ratio se acerca a 4,5. Por su parte las muestras N21, N18 (Nivel V), N8 (Nivel VI) y N7 (Nivel VII) tienen una ratio entre 1 y 2, quedando el resto en valores por debajo de 1..... 133

Figura 43. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Norte de Los Husos I0I. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP gramíneas Poaceae; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DNT: ELONGATE DENTATE. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: rosa: Nivel IX; negro: Nivel VIII; rojo: Nivel VII; verde: Nivel VI; azul: Nivel V; naranja: Nivel IV..... 135

Figura 44. Microfotografías de esferolitos y fitolitos procedentes del perfil Sur de Los Husos II tomadas a 400x aumentos: a) esferolitos procedentes de la muestra S32, se puede apreciar como los microrrestos se presentan, en este caso, agrupados

en una pequeña aglomeración; b) PAPILLAR diagnóstico de plantas Cyperaceae procedente de la muestra S3; c) estructura multicelular procedente de inflorescencias de gramíneas formada por dos PAPILLATE y ELONGATE DENTATE extraída de la muestra S31 (Modificado de Alonso-Eguíluz et al., 2017); d) IRREGULAR PSILATE formado en el tronco/corteza de dicotiledóneas procedente de la muestra S10. La escala representa 50µm. 136

Figura 45. Ratio entre esferolitos (SMR) (a) y pseudomorfos de calcita (PMR) (b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en el perfil Sur de Los Husos II. En ambos histogramas se aprecia como hay una relación inversa entre microrrestos calcíticos (esferolitos y pseudomorfos de calcita) y fitolitos alterados térmicamente (modificado de Alonso-Eguíluz et al., 2017). 140

Figura 46. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Sur de Los Husos II. En ella es posible apreciar la falta de correlación entre ambos efectos (el valor de la correlación es de $p=0.176$ y el de r^2 de 0.031) (extraído de Alonso-Eguíluz et al., 2017). En consecuencia, no es posible sostener que la alteración química aumente como consecuencia de la quema del depósito. 141

Figura 47. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Sur de Los Husos II. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes. 143

Figura 48. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Sur de Los Husos II. Como puede apreciarse, los valores de la ratio son bajos, sin llegar a 1 en ningún caso. 144

Figura 49. Análisis de componentes principales (PCA) aplicado a las muestras del perfil Sur de Los Husos II. Las abreviaciones corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas Pooideae; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DET: ELONGATE DENTATE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: Nivel IX, negro; Nivel VII, verde; Nivel VI azul; Nivel V morado; Nivel IV naranja (modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017). 145

Figura 50. Ratio entre esferolitos (SMR) (a) y pseudomorfos de calcita (PMR) (b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. En ambos histogramas se aprecia una relación directa entre la

cantidad de microrrestos calcícticos (esferolitos y pseudomorfos de calcita) y de fitolitos alterados térmicamente, decreciendo los primeros cuando la alteración térmica aumenta..... 148

Figura 51. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes de las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. El test muestra relación entre ambos efectos, indicando que la alteración química y la térmica están directamente relacionadas (valor de correlación de $p=0.05$ y de 0.274 para r^2). 149

Figura 52. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del Nivel MIR6 del Mirador. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes. 150

Figura 53. Microfotografías de los fitolitos detectados en el nivel MIR6 del Mirador tomadas a 400x aumentos: a) BILOBATE procedente de la muestra 18®, indicativa de plantas C_3 o C_4 ; b) estructura multicelular procedente de las hojas/tallos de Poaceae procedente de la muestra 20z; pseudomorfo de calcita identificado en la muestra 17®; d) ELONGATE ENTIRE porcedente de la muestra 10m. La escala representa $50\mu\text{m}$ 151

Figura 54. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada al Nivel MIR6 del Mirador. Únicamente las muestras 2b y 3bg superan, aunque levemente, la ratio de 1. El resto de las muestras presentan una ratio por debajo de 1. 152

Figura 55. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados a los fitolitos identificados y su adscripción anatómica en las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. C_3 : GSSCP Pooideae; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; ELO_DET: ELONGATE DENTATE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE; SPH: SPHEROID. 154

Figura 56. Difractograma de la muestra 4bg del Mirador. En esta muestra vemos los picos de carbonatos (banda 1400cm^{-1}), arcillas alteradas (1065cm^{-1}), el pico característico de aragonito (855cm^{-1}) y los dos picos de la dalita (604 y 565cm^{-1}) 157

AGRADECIMIENTOS

Todo proceso largo (y arduo) arrastra consigo una serie de daños colaterales. En el caso de una tesis doctoral, esos daños colaterales son las personas que acompañan (y sufren) al doctorando. Es difícil ilustrar con palabras el enorme agradecimiento que siento hacia todas las personas que me han acompañado en este largo camino, aunque lo intentaré.

En primer lugar, agradezco a mis directores de tesis toda su ayuda e implicación en este proyecto. A Javier Fernández Eraso, por todos estos años (ya van 16) de excavaciones, aprendizaje y amistad. Por las largas llamadas telefónicas para discutir sobre el trabajo y, sobre todo, por sus palabras de aliento en los momentos más duros. Gracias por ser tan buen maestro y tan buen amigo.

A Rosa María Albert, porque sin conocerme me acogió en su equipo y se embarcó a dirigir esta tesis. Gracias por todas las disertaciones y correcciones, y por ser tan tenaz y paciente conmigo. Espero poder seguir aprendiendo de ti en lo que empieza ahora, no podría tener mejor referente.

Gracias también al profesor José Antonio Mujika, por sus acertados comentarios sobre arqueología y cómo sobreponerse a ella.

Agradezco también a Ana Polo sus charlas y aclaraciones sobre Los Husos, además de los consejos de cómo sobrevivir a un proceso de tesis.

A Josep María Vergès, que me permitió analizar las muestras del Mirador y siempre ha estado solícito a cualquier cuestión que tuviera. A Isabel Expósito, que me dio mil facilidades cuando fui a recoger las muestras y siempre que le he pedido algo de información. A Dan Cabanes, que fue el nexo.

Aunque la vocación ya venía de lejos, mis compañeros y amigos de la Universidad del País Vasco me dieron el último empujón, sin ellos saberlo, para que me dedicara a la arqueología. Gracias a Aitor Sánchez, Aitor Calvo y Etor, maravillosos profesionales en los que mirarse. Pero en especial a Maite, por una

amistad férrea, por los viajes en el *polito*, por tallar un metro cuadrado en la roca madre de un abrigo conmigo, por las risas y los llantos... en fin por todo.

A mis amigas Patricia, Estitxu, Irantzu, Edurne, Paula y Aitor, gracias por hacer que cada vez que nos vemos no haya pasado el tiempo.

En la Universidad de Barcelona encontré maravillosos compañeros, que también se convirtieron en amigos, y que siempre me han ayudado. A Laia, Oriol, Marta y Ágata, que siempre están en todo y siempre tienen palabras de aliento (a pesar de todo), y por los cafés. No podía olvidarme de Eva, que me ayudó con la estadística (prometo mejorar) y por ser un gran apoyo durante el proceso de redacción. Aprovecho estas líneas también para agradecer a Frans los días de playa y los consejos y ánimos que siempre me da. Gracias, amigo.

Cuando estás lejos de casa, los amigos son tu familia. Gracias a Fernanda, mi Fernandita, que me mimaba, me malcriaba y me reencuentra con mi *italianidad* (*ma non troppo*). Unas gracias especiales a Irene, mi Ireninta, gracias por tu ejemplo (de mayor quiero ser como tú), por tus consejos, por los comentarios sobre esta tesis, por los vermouths, por aguantarme, pero sobre todo gracias por el tiempo que vivimos juntas, fue un gran regalo #gorditasfelices.

Gracias a mi cuadrilla de *la salita*, en especial a Ana, por su inteligentísimo sentido del humor y sus grandes consejos sobre cómo subsistir; a Gustavo y José Antonio, por los atracones de comer y de reír...

La casualidad hizo que me encontrara con Alberto, un *rara avis* con quien he convivido seis temporadas y que de vez en cuando ha tenido que sobrevivir a mi mal humor. Perdón por mis manías y gracias por tu amistad.

También casualidades de la vida Manu y Julia entraron a formar parte de esta aventura. Gracias por vuestra manera de ver la vida, que siempre me hace aprender.

Compaginar una tesis doctoral con un trabajo a jornada completa no es fácil. Sin embargo, siempre hay personas que lo hacen más fácil. Gracias Sally, الحبيبة que me adoptaste y me cuidaste cuando yo no lo hacía, y por quererme tanto como yo

a ti. Khady, *ma chérie* juntas abrimos nueva etapa, y esta va a ser mejor que la anterior, gracias por estar siempre. Agradezco a Nour Eddin las discusiones metafísicas en el balcón, que me tenga como una hermana (aunque la especie humana venga del mono) y una amistad de la que estoy orgullosa **شكرا**

Gracias a mis amigos de Miranda de Ebro: Lolo, Nuria, Santi, Sara, Pangua, Diego, María, Tito, Royo... pero especialmente a la palomita, gracias Noelia por hacerme estar cerca estando tan lejos (a través de llamadas de teléfono kilométricas).

Me siento muy afortunada por la familia elegida, pero más aún por la que no he elegido. Gracias a mis padres, Eva y Pepe, que siempre me han aconsejado y apoyado sin fisuras en todo lo que he hecho. Por crear un hogar feliz y lleno de cultura, al que siempre vuelvo (y volveré). Sin vosotros no hubiera sido posible.

Gracias a mi abuela Eva que haga lo que haga siempre está orgullosa de mí.

Gracias a mis tías y tíos: Olivia, Crucita, Charles, Manolo, Rosa e Isabelita, por tenerme siempre en palmitas (por favor, no dejéis de hacerlo).

Como no tengo hermanos, la vida me suple con primos. Gracias a Marta y Alberto, que son un espejo donde mirarme, y me han tenido que aguantar como prima mayor.

A los primos Catalina: Patricia, Carmen, Manu, Alex, Grego, Olga, Manolo, Ignacio, gracias por las primadas y chutes de cariño. Jesús y Mari Cruz, siempre reconforta que la familia esté cerca y poder ver crecer a los peques. Gracias a mis primos mayores Lara, Elena, Íñigo y, especialmente, a mis *Oñovich* Esther y María, por todo.

Vaya un recuerdo especial para mi abuela Isabel, fuente de inspiración, que seguro hubiera disfrutado de mi vida en Barcelona mucho más de lo que yo la estoy disfrutando, no me cabe la menor duda.

Barcelona, 17 de octubre de 2020.

INTRODUCCIÓN

La estabulación de ganado en cuevas y/o abrigos rocosos durante la Prehistoria reciente es un fenómeno muy bien documentado arqueológicamente que se desarrolla en una escala geográfica extensa, detectándose ampliamente en todo el arco mediterráneo (Angelucci et al., 2009). El uso de estos refugios de montaña para la reagrupación¹ del ganado es intermitente, de modo que se utilizan en un momento determinado del año. En la Península Ibérica esta práctica se detecta ya en las fases iniciales del Neolítico perdurando hasta la Edad de Hierro, incluso hasta épocas históricas (Fernández-Eraso, 2008) y generan un tipo de depósito muy distinguible a nivel arqueológico, denominado *fumier*, cuyas características desgranaremos a lo largo de la Introducción. Estos depósitos suponen una gran fuente de información en torno al establecimiento y desarrollo de prácticas pecuarias relacionadas con la trasterminancia.

La trasterminancia se caracteriza por el desplazamiento cíclico del ganado en pequeñas distancias, unos pocos kilómetros, a zonas que pueden variar en altitud y clima con respecto a la zona del que proceden (Señorán, 2007). De este modo, el ganado pasta en zonas de media o alta montaña alejados de poblados o núcleos habitacionales, aprovechándose de la estacionalidad de los pastos provocada por el clima y la altitud (Fernández-Centeno y Moreno-Manso, 2017). Estos desplazamientos del ganado suelen tener lugar durante el verano, lo que permite que éste se alimente de los pastos estivales, también denominados agostaderos. Esta movilización implica la búsqueda de refugios, que como en los casos que nos ocupan, se tratan principalmente de cuevas o abrigos, donde poder reagrupar al ganado durante el desarrollo de las prácticas pastoriles. Así, se generan rediles o establos estacionales en lugares que se reaprovechan a lo largo del tiempo, por ser ya conocidos por los pastores, de manera que se puede presuponer que las rutas trasterminantes se amortizan a lo largo del tiempo.

¹ Denominamos reagrupar y no estabular ya que la estabulación indica una práctica mucho más estable que se caracteriza por mantener al ganado dentro del recinto durante un largo período de tiempo. En el caso de los *fumiers* el establo serviría para reagrupar el ganado después de que pastase libremente por los agostaderos circundantes y no para mantenerles dentro del recinto.

El marco geográfico en el que desarrollaremos este trabajo se encuentra en las cuencas altas del río Ebro, en la sierra de Cantabria, y la cuenca del río Duero en la sierra de Atapuerca (Figura 1). Durante las tres últimas décadas los yacimientos enclavados en la sierra de Cantabria han sido objeto de un estudio sistemático que ha permitido sacar a la luz una red de depósitos de *fumier* en la zona meridional de Álava, formada por los yacimientos de Los Husos I y II y San Cristóbal. Así, los resultados obtenidos a partir de trabajos transversales, que aúnan estudios líticos, arqueobotánicos, zooarqueológicos y, sobre todo, geoarqueológicos, han puesto de manifiesto nuevos y relevantes datos en torno a la implantación y el desarrollo de esta práctica ganadera, así como caracterizar la formación de este tipo de depósitos (Polo-Díaz, 2010; Fernández-Eraso et al., 2015, 2017; Polo-Díaz et al., 2016; Alonso-Eguiluz et al., 2017).

Estos yacimientos de la cuenca alta del Ebro no distan demasiado con otro de los yacimientos estudiados en este trabajo, la cueva del Mirador de la sierra de Atapuerca (Burgos) (Figura 1), también objeto de numerosas publicaciones que, durante los últimos veinte años han contribuido a definir el patrón de estabulación durante la Prehistoria reciente (Vergès et al., 2002, 2008, 2016a; Rodríguez y Buxó, 2008; Angelucci et al., 2009; Cabanes et al., 2009; Martín et al., 2014, 2016).

En este trabajo presentamos el primer estudio microarqueológico integral de la totalidad de yacimientos con depósitos de *fumier* identificados hasta hoy día, en las cuencas altas del Ebro y del Duero. Nuestro trabajo incluye un análisis transversal a partir de la aplicación de diferentes aproximaciones metodológicas como son los fitolitos, esferolitos, pseudomorfo de calcita y mineralógicos (aplicando la espectroscopia de infrarrojos por derivada de Fourier-Fourier Transform Infrared Spectra–FTIR).

La secuencia cronológica estudiada en los yacimientos de la Sierra de Cantabria corresponde a los niveles neolíticos, que abarcan desde el Neolítico antiguo (5700-4700cal. BC) hasta el Neolítico final (4200-3600 cal. BC). Por otro lado, el nivel

del Mirador analizado en este trabajo, MIR6, únicamente es representativo del Neolítico final (3650-3510cal BC), ya que era el único nivel del yacimiento disponible para el análisis.

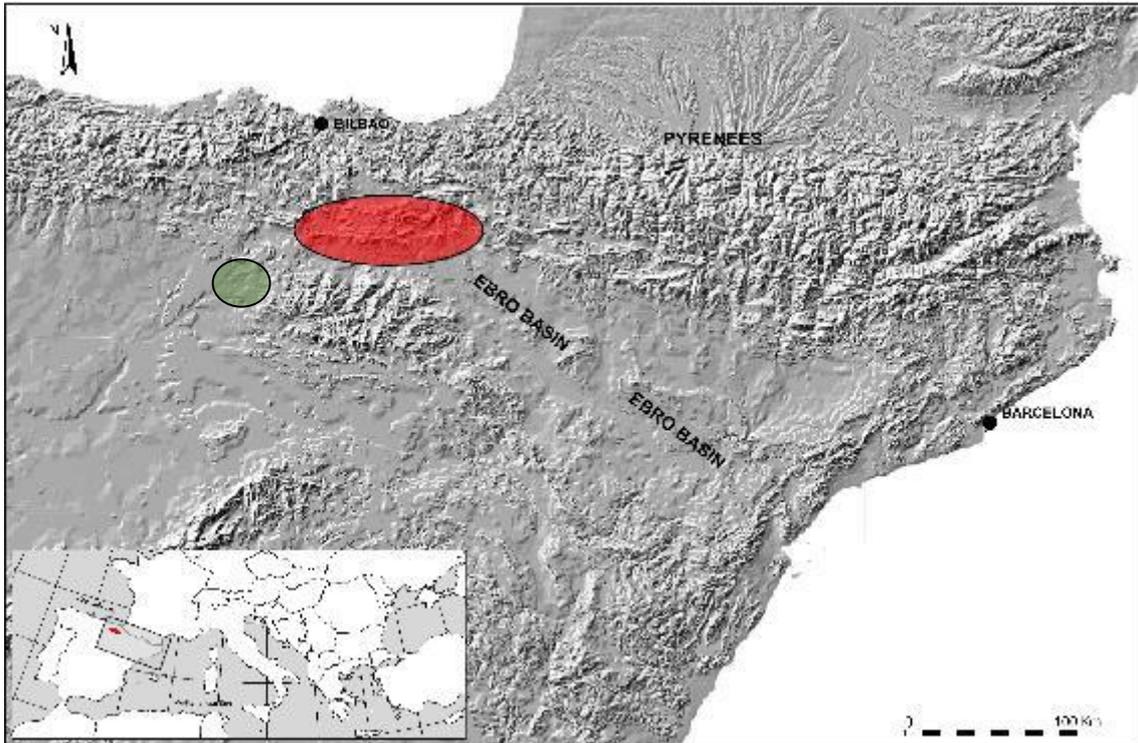


Figura 1. Mapa con la localización de los yacimientos analizados en este trabajo. En rojo, se marca la zona donde se ubican los yacimientos de Los Husos II y San Cristóbal (Sierra de Cantabria), mientras que el círculo verde señala el yacimiento del Mirador (Sierra de Atapuerca) (Modificado de Javier Fernández Eraso).

Los depósitos de *fumier* se caracterizan por la pobreza del material arqueológico. De este modo el depósito sedimentario constituye, en sí mismo, el objeto de estudio principal (Polo-Díaz, 2010). En consecuencia, es capital estudiar estos depósitos desde un punto de vista geoarqueológico y microarqueológico, integrando así las escalas *micro* y *macro* que componen el registro arqueológico (Weiner, 2008; 2010). En nuestro caso, el marco metodológico viene dado por la Microarqueología.

I.I Cronología y disposición geográfica.

Los depósitos arqueológicos que conforman los yacimientos citados son fruto de su reiterado uso como redil para reagrupar al ganado. De ahí que las cuevas y abrigos que albergaron este tipo de prácticas sean conocidas como cuevas redil y el depósito sedimentario que las rellena como *fumier*. No es objeto de este trabajo el hacer un estudio pormenorizado del fenómeno de las cuevas redil en cuanto a cronología y localización se refiere, en este sentido, el trabajo de Angelucci et al. (2009) es bastante elocuente al respecto. No obstante, sí parece interesante señalar ciertos aspectos relacionados con la cronología y la geografía del fenómeno que, bajo nuestro punto de vista, también caracterizan este tipo de depósitos.

En lo que respecta a la cronología, encontramos que el uso temporal de abrigos y cuevas como redil está acotado principalmente a momentos del Neolítico, Calcolítico y Bronce, siendo muy extraño encontrar este tipo de depósitos en cronologías de la Edad del Hierro, fruto posiblemente de un cambio en las actividades ganaderas de estas sociedades. En cualquier caso, el uso de las cuevas redil se conoce desde los primeros momentos del Neolítico, como es el caso de los yacimientos objeto de este estudio, en todo el arco mediterráneo, tal y como especificaremos a continuación.

Las cuevas redil no son un fenómeno aislado, que haya que circunscribir a una pequeña región o área geográfica. Se trata de un fenómeno a gran escala que puede ser acotado esencialmente a la cuenca mediterránea europea: cuenca del Adriático, sureste de Francia y Península Ibérica (Angelucci et al., 2009). Probablemente el paradigma de cueva redil sea el yacimiento de Arene Candide (Liguria, Italia), por ser uno de los primeros sitios de este tipo en ser descubierto y por su importancia dentro del Neolítico europeo (Macphail et al., 1997).

En el ámbito peninsular el fenómeno está siendo cada vez más documentado con la aparición de numerosos yacimientos con depósitos de *fumier*. No obstante sí que es cierto que el uso de cuevas y abrigos como redil es más visible en el levante peninsular, donde proliferan los yacimientos que albergan depósitos de *fumier*

como la Cueva del Parco, Cova Gran, Can Sadurní o la Cueva Colomera, en el levante catalán (Bergadà, 1997; Oms et al., 2008; 2014; Polo et al., 2014); Cendres, Abric de la Falaguera, Cinto Mariano o Bolumini en el País Valenciano (Badal, 1999; García-Puchol y Aura-Tortosa, 2006; Angelucci et al., 2009;); la Cueva del Toro y la sala de la Torca de la cueva de Nerja, en Málaga (Sanchidrián y Márquez, 2005; Égüez et al., 2014). En la vertiente cantábrica encontramos la cueva del Mirón (Cantabria) y la cueva de Balzola (Vizcaya) (Polo-Díaz, comunicación personal). Finalmente, en el interior de la Península destaca la cueva de Aýna (Albacete) (García Moreno et al., 2015).

1.II Depósitos de fumier. Formación y características.

La naturaleza de los depósitos de *fumier*, como ocurre con la mayoría de los yacimientos formados durante el Holoceno, es producto de una reiterada actividad antrópica a lo largo de un dilatado período de tiempo. Las cuevas redil son utilizados repetidamente por los pastores durante un período concreto del año y se abandonan una vez concluida la actividad, la cual es retomada tras el discurso de un más o menos corto período de tiempo. Antes de utilizar de nuevo el espacio, los desperdicios generados durante el uso anterior (fundamentalmente estiércol mezclado con restos vegetales, sedimento, piedras, artefactos desechados, etc.) son amontonados y quemados con dos objetivos: uno estrictamente profiláctico que busca eliminar las bacterias, parásitos etc. provenientes del ganado y sus detritos; mientras que el segundo tiene más que ver con la eliminación de residuos en sí misma de manera que se libera espacio para la nueva cama del ganado. La acumulación se corona con restos leñosos, vegetales y, posiblemente, la madera que formó parte de la empalizada anterior que son prendidos para favorecer el inicio del fuego (Macphail et al. 1997; Karkanias, 2006; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009).

De estas actividades se desprende una estratigrafía que algunos autores como Angelucci et al., (2009) han definido de forma muy detallada con características propias que permiten diagnosticar el uso del sitio como redil de manera inequívoca

y que han sido ampliamente documentadas y descritas (Macphail et al. 1997; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009).

Según Angelucci et al., 2009 el depósito está conformado por un complejo de capas finas a espesas, bien definido cuya estructura se repite constantemente:

- En la base una encontramos una capa fina de tonalidad rojiza formada por tierra rubefactada.
- Sobre esta tierra rubefactada se dispone una fina capa negruzca, de entre 3 y 5cm. que se atribuye al suelo que pisan los animales. Generalmente son capas que no arrojan material arqueológico alguno.
- Coronando estas dos capas se dispone una capa de ceniza, compuesta por dos tipos diferentes: una de color parduzco y, sobre esta, capas de color gris claro o blanquecino que cierran la secuencia (Fernández Eraso y Polo Díaz, 2009).
- Estas estructuras siguen una disposición subhorizontal o bien la propia de la roca madre (Angelucci et al. 2009).
- La morfología que presentan es acuñada de manera que en los laterales se estrechan, mientras que en la zona medial del amontonamiento alcanzan mayor espesor (Angelucci et al. 2009; Fernández Eraso y Polo Díaz, 2009)
- Habitualmente suelen estar organizados de manera alterna entre capas de sedimento quemado, semiquemado o sin quemar. Estas acumulaciones suelen estar relacionadas con un uso diferencial del sitio o con un abandono. No obstante, las capas sin quemar no están registradas en todos los depósitos, un claro ejemplo es el yacimiento de Riparo Gaban (Trento, Italia) en el que no se encuentran alternancias de este tipo (Angelucci et al. 2009).
- Debido a la alta presencia de fosfatos y materia orgánica los depósitos suelen presentar gran cantidad de bioturbaciones (Angelucci et al. 2009).

La sucesión de capas descrita es considerada como un episodio de estabulación completo y la sucesión de varios de estos episodios conformarían un ciclo de estabulación. Lo más habitual es encontrar varios ciclos de estabulación, lo que finalmente da lugar a un ciclo complejo o *fumier* (Polo-Díaz, 2009; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009).

Con relación al registro arqueológico, los materiales exhumados son escasos, burdos y presentan un mal estado de conservación debido a la acción del fuego y el pisoteo de los animales; no se trata de un ajuar de gran calidad, sino que más bien son restos de enseres cotidianos y sencillos (Fernández Eraso y Polo Díaz, 2009). Finalmente, otra de las características que define a estos depósitos es aportada por Fernández-Eraso y Polo-Díaz (2009) que detectaron, durante los trabajos de campo, el mal olor que desprenden estas estructuras, fruto de la acumulación de orines y excrementos.

En suma, lo expuesto anteriormente constituye las características esenciales de los depósitos que albergan las cuevas redil o *fumier*, fácilmente distinguibles durante el trabajo de campo y que varían poco de un sitio a otro, de modo que se trata de un patrón universal que puede ser reconocido en cualquier yacimiento.

I.III La Microarqueología como herramienta para el estudio arqueológico

Como hemos indicado anteriormente, este trabajo se enmarca en un estudio transversal microarqueológico. De acuerdo con Weiner (2008), el registro arqueológico implica dos planos: el registro macroarqueológico, que podemos apreciar a simple vista; y el microarqueológico, que tiene relación con la composición de aquel y que no es detectable *a visu*. La integración de la información *macro* y *micro*, ha demostrado tener un gran potencial a la hora de resolver las cuestiones que se plantean durante el proceso de excavación y análisis del registro arqueológico. En este sentido, la combinación de ambos niveles de información es esencial para ser más certeros en la interpretación de los yacimientos arqueológicos.

La Microarqueología se ha venido desarrollando durante los treinta últimos años con el fin último de analizar los componentes del registro arqueológico, ya sean materiales o sedimentos, que no pueden detectarse a simple vista (Toffolo, 2018; Weiner, 2008; 2010). Este marco metodológico aúna diversas ciencias, provenientes esencialmente de la Geología, la Biología y la Química, con el fin de caracterizar el registro microscópico en términos de 1) la información embebida en dicho registro; 2) los materiales de donde se extrae esa información; 3) cómo y en qué condiciones puede ser extraída la información (Weiner, 2010). Es en este contexto metodológico donde se incluyen los fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita, que forman parte de este estudio.

En nuestro trabajo proponemos una aproximación metodológica a partir de un estudio transversal de fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como su complementación con los análisis mineralógicos de FTIR nos permitirá conocer la gestión de los recursos vegetales que se llevó a cabo durante los sucesivos usos de los yacimientos objeto de estudio. En particular, los fitolitos se presentan como la herramienta principal para tal fin, puesto que su estudio nos permitirá deducir la posible dieta del ganado durante el período de tiempo que el abrigo o cueva sirve para reagrupar o reunir al ganado. Paralelamente, el estudio transversal de fitolitos, pseudomorfos de calcita, esferolitos y análisis mineralógicos (FTIR), aportan información en torno a los procesos de formación de los depósitos (Cabanes, 2009) permitiendo comprender su formación y desarrollo, así como la detección de diferentes usos dentro del mismo yacimiento.

1.IV Estudios microarqueológicos en cuevas redil

En el Capítulo 3 veremos la abundancia de trabajos transversales que abordan cuestiones relacionadas con la ganadería a través de estudios microarqueológicos, especialmente a través del análisis conjunto de fitolitos y esferolitos. Sin embargo, estos estudios se han aplicado con muy poca frecuencia, para estudiar los sedimentos de las cuevas redil. Por el contrario, este tipo de sedimentos sí han sido abordados desde la micromorfología.

Algunos de los trabajos más importantes que encontramos en los que se aplican los estudios de fitolitos son, en Arene Candide (Liguria, Italia), en el que únicamente se analizan los fitolitos de los niveles Neolíticos del yacimiento, sin tener en cuenta ningún otro microrresto como esferolitos o pseudomorfos de calcita (Nisbert, 1997). El siguiente estudio lo publican Delhon et al. (2008) y tienen como objeto el análisis de una cueva redil en el sureste de Francia, La Grande Rivoire, también de cronología neolítica. En este trabajo no sólo se analizan los fitolitos de los sedimentos, sino que también se aplican otras disciplinas de la arqueobotánica como los estudios de carbones, semillas y polen; a lo que hay que sumar el estudio de esferolitos.

Ya en el contexto de la Península Ibérica encontramos cuatro casos de estudio en los que se abordan los análisis combinados de fitolitos con los de esferolitos: El Mirador de Atapuerca (Cabanés et al., 2009), San Cristóbal y Los Husos II, al norte de la cuenca del Ebro (Alonso-Eguiluz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., 2017) y la cueva de Els Trocs en el pirineo oscense (Lancelotti et al., 2014). La horquilla cronológica que abarcan estos trabajos comprende desde el Neolítico hasta la Edad de Bronce.

Alternativamente, y dado el contexto de quema en el que nos encontramos, es interesante apuntar los trabajos que abordan el estudio de fitolitos desde una óptica metodológica que permita evaluar la acción del fuego sobre los microrrestos, tanto fitolitos como esferolitos y pseudomorfos de calcita. Dada la gran resistencia a la acción del fuego que tienen en general estos microrrestos, ha sido escasa la atención que se ha prestado a la acción que las altas temperaturas tienen sobre ellos y solo durante los últimos años se está comenzando a estudiar en profundidad (Gur-Arieh et al., 2013, 2014; Weiner et al., 2020). En nuestro caso, y dado que el estiércol tiene un alto poder calorífico, es preciso saber cómo afecta el fuego a los microrrestos para poder hacer una interpretación ajustada de los datos arqueológicos.

I.IV Objetivos e hipótesis de trabajo

Este trabajo parte de la hipótesis de que la gestión o explotación del entorno biótico alrededor de las cuevas redil, así como el patrón de alimentación del ganado es el mismo durante todo el período Neolítico en este tipo de yacimientos, es decir, si el ganado se alimenta libremente de los pastos del entorno o si, por el contrario, es alimentado con productos o subproductos de la cosecha. Con base en este supuesto, hemos establecido los objetivos de estudio que se detallan a continuación.

I.IV.I Objetivos generales

- a) Fijar la estacionalidad de las prácticas de estabulación en las Cuencas Altas de los ríos Ebro y Duero en la Península Ibérica.
- b) Detectar las pautas de gestión del medio biótico al entorno de los yacimientos objeto de estudio.
- c) Estudiar el patrón de alimentación del ganado guardado en las cuevas redil.
- d) Detectar si existen o no zonas de estas cuevas redil en las que se han llevado a cabo otro tipo de actividades además de la de guardar el ganado.
- e) Establecer si existen o no diferencias en las pautas de gestión y alimentación del ganado entre los diferentes yacimientos estudiados.

I.IV.II Objetivos específicos

- a) Caracterizar la composición de los depósitos de *fumier* tanto mineralógicamente, como su composición a nivel de microrrestos.
- b) Establecer características propias que puedan definir estos depósitos de *fumier* desde el punto de vista microarqueológico.

- c) Dilucidar si los yacimientos objeto de estudio han sufrido procesos postdeposicionales que alterasen el registro y, de ser así, de qué manera ha afectado al registro microarqueológico.
- d) Estudiar el efecto del fuego sobre los diferentes microrrestos analizados (fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita) tanto por la temperatura como por el tiempo de combustión.
- e) Estimar las temperaturas que alcanzan los amontonamientos de estiércol al ser cremados.
- f) Identificar posibles patrones de representación de morfotipos de fitolitos y pseudomorfos de calcita en función de los estratos analizados.

I.V Estructuración del trabajo.

Teniendo en cuenta la hipótesis de partida y los objetivos, este trabajo se estructura en 7 capítulos y una introducción. La introducción de la tesis, que se ha subdividido en cinco apartados diferenciados: 1) cronología y dispersión geográfica del fenómeno de las cuevas redil; 2) la formación y características generales de los depósitos de *fumier*; 3) la importancia de la Microarqueología para mejorar nuestra interpretación de los depósitos arqueológicos y en particular para responder a las cuestiones planteadas en relación con los depósitos de *fumier*; y 4) finalmente los objetivos perseguidos en esta tesis.

En el Capítulo 1 se sienta el marco geográfico, biótico y cultural de los tres yacimientos analizados.

A lo largo del Capítulo 2 presentaremos los tres yacimientos objeto de este estudio. En cada caso, recopilaremos la información en torno a los depósitos en términos de localización geográfica, características de los niveles, materiales exhumados y cronología.

El Capítulo 3 abarca el marco metodológico de esta tesis, el cual incluye la descripción de los microrrestos analizados en este trabajo. El capítulo está dividido en dos grandes bloques: el primero dedicado a los fitolitos, qué son, su preservación, el estado de la cuestión, sus aplicaciones y, por último, los fitolitos detectados en estiércol. El segundo bloque trata sobre los microrrestos calcínicos analizados, esferolitos y pseudomorfo de calcita.

El Capítulo 4 atiende a los materiales analizados en el trabajo, así como los protocolos de extracción y análisis aplicados. En un primer subapartado se detallan las muestras objeto de análisis, tanto el material actual recogido para la experimentación, como las muestras arqueológicas. A continuación, se resumen los métodos de extracción empleados, incluyendo los análisis de FTIR y, finalmente, el tratamiento de los datos obtenidos.

En el Capítulo 5 se exponen los resultados obtenidos del análisis de las muestras de referencia y arqueológicas. En este capítulo, hemos utilizado la terminología aceptada y descrita por el Comité Internacional de Nomenclatura de Fitólitos-International Committee on Phytolith Nomenclature (ICPN) la cual fue recientemente publicada en la revista *Annals of Botany* (ICPN 2.0 - Neuman et al., 2019). Del mismo modo, para aquellos morfotipos que no han sido descritos en el ICPN, se ha utilizado nomenclatura ya aceptada y utilizada recurrentemente por los investigadores de este campo. Por otro lado, los datos procedentes del perfil sur de Los Husos II que fueron previamente publicados (Alonso-Eguiluz et al., 2017), se ven completados con los análisis mineralógicos de FTIR incluidos en esta tesis.

En el Capítulo 6 se lleva a cabo la discusión de los datos obtenidos, cuyas conclusiones se sintetizan en el Capítulo 7.

CAPÍTULO 1

MARCO GEOGRÁFICO Y CULTURAL

Este apartado contribuye a caracterizar el marco ecológico y geológico en el que se localizan los tres yacimientos, así como el contexto arqueológico de cada zona de estudio. Dividiremos este capítulo en dos bloques, uno dedicado a la cuenca media-alta del Ebro donde se localizan los yacimientos de San Cristóbal y Los Husos II; y otro enfocado en la cuenca alta del Duero, donde se encuentra El Mirador.

1.1 San Cristóbal y Los Husos II.

1.1.1 Contexto geográfico y geomorfológico.

Los abrigos de Los Husos II y de San Cristóbal se emplazan en la fachada sur de la Sierra de Cantabria y, administrativamente, pertenecen al municipio de Laguardia ubicado en la comarca de Rioja Alavesa. La sierra se localiza al norte de la cuenca del Ebro, cerrándola por su zona septentrional. A nivel geológico esta formación es un pliegue anticlinal fallado que presenta un relieve tabular y cuyo origen se encuentra en el cabalgamiento surpirenaico. Está compuesta por conglomerados inestables debido a una mala cimentación calcárea que se disponen bajo calizas duras del Jurásico y Cretácico, no obstante, la disposición de estos materiales en ocasiones se invierte como consecuencia del cabalgamiento de la sierra (Figura 2) (Loidi et al., 2011; Ollero y Ormaetxea, 1997; Ruíz Urresatarazu y Galdós Urritia, 2008). Al mismo tiempo, son prolijos los manantiales y fuentes naturales que manan de la falda de la sierra y que modelan en parte su morfología.

La Rioja Alavesa, en términos geográficos más amplios, se localiza dentro de la depresión del Ebro que está delimitada al sur por las sierras de la Demanda y Cameros, mientras que al norte la sierra de Cantabria sirve como límite a la cuenca. La sierra de Cantabria tiene un desarrollo este-oeste de 35 kilómetros cuya elevación máxima se encuentra en el alto de la Cruz del Castillo de 1.458 m.s.n.m. A pesar de ser conocida como una formación única, la sierra de Cantabria está compuesta de tres sierras que se yuxtaponen: al este la sierra de Codés y al oeste la sierra del Toloño, quedando entre ambas la sierra de Cantabria propiamente dicha (Ruíz Urresatarazu y Galdós Urritia, 2008). Aunque la formación tiene una

aparición de barrera entre la depresión del Ebro y el territorio continental del País Vasco, dispone de diferentes pasos que comunican ambas zonas existiendo numerosas rutas y vías de comunicación entre las dos zonas.

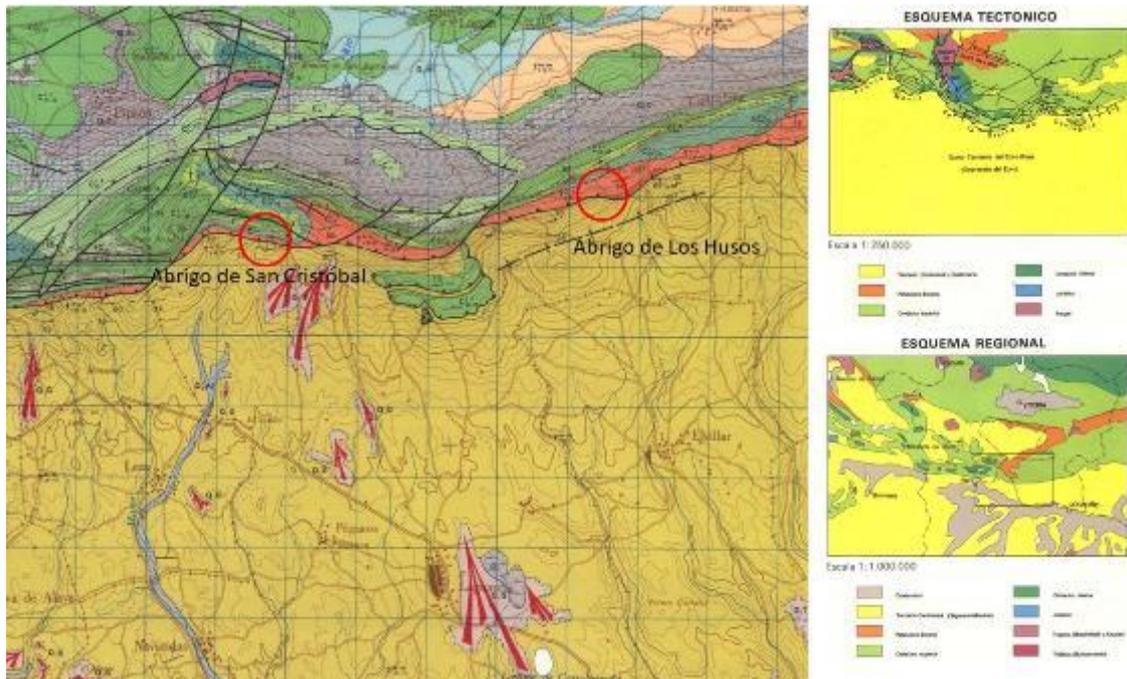


Figura 2. Detalle del mapa geológico de la Sierra de Cantabria donde se ubican los abrigos de San Cristóbal y Los Husos. Modificado del Mapa Geológico de España, E: 1:50.000, Hoja 170, Haro 22-09 (IGME).

El espacio que discurre entre la sierra y el cauce del río Ebro se denomina como Sonsierra y lo conforman materiales terciarios como areniscas y margas (Figura 2) (Ollero y Ormaetxea, 1997). La configuración de su paisaje se debe a la erosión que sufren los materiales blandos de la cubeta, principalmente margas y calizas terciarias, y que tienen como resultado la formación de altozanos que no superan los 600 m.s.n.m. de tal manera el paisaje es relativamente suave y ondulado.

1.1.2 Contexto climático y vegetal.

La sierra de Cantabria tiene un papel fundamental en la configuración meteorológica de la comarca de Rioja Alavesa ya que actúa como barrera climática, impidiendo que la influencia atlántica imperante en el territorio al norte de la formación llegue a la Sonsierra (Ollero y Ormaetxea, 1997). De este modo,

la Rioja Alavesa está enmarcada climáticamente en la región mediterránea, dentro de un termotipo mesomediterráneo de inviernos más o menos suaves y veranos cálidos y secos. Su ombrotipo es seco, con lluvias que no superan los 500 mm anuales; mientras que en la zona alta de la sierra las lluvias ascienden a 800 mm anuales (Ollero y Ormaetxea, 1997). No obstante, las precipitaciones en el piedemonte serrano son superiores a las que se producen en plena depresión del Ebro (Ruíz Urresatarazu y Galdós Urritia, 2008). Sin duda este clima suave y seco favorece la proliferación de especies xerófilas que soportan bien las escasas precipitaciones y las altas temperaturas del verano.

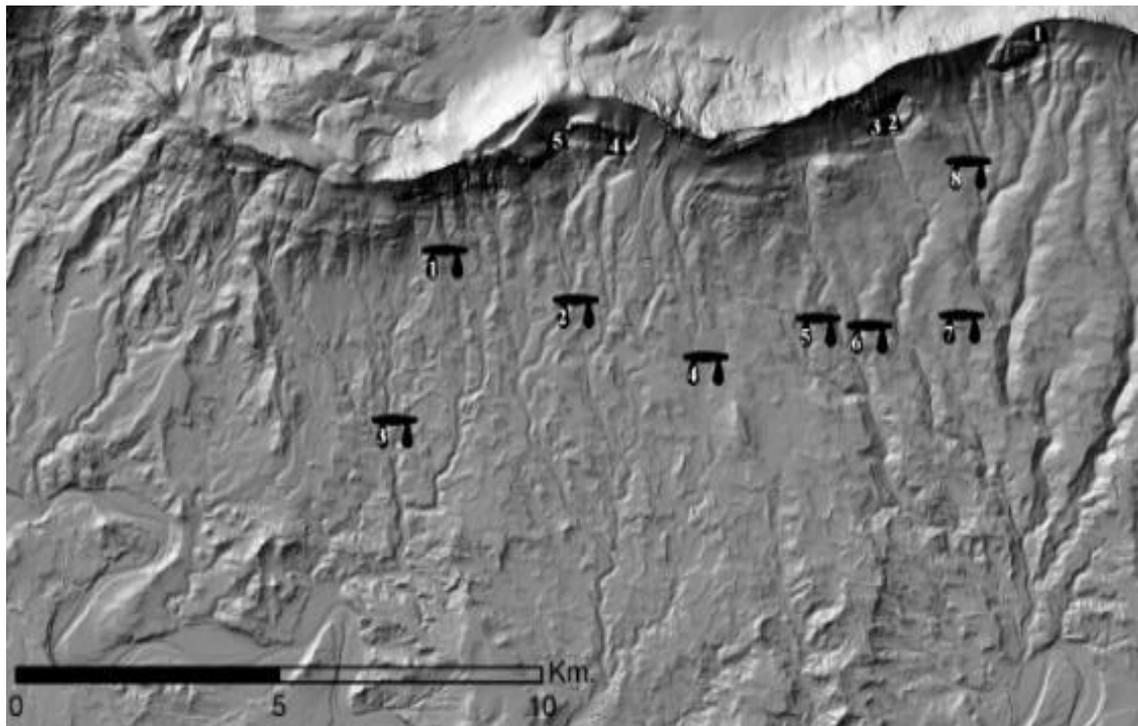
El sustrato vegetal de la zona de Sonsierra, está configurada principalmente por carrascales o encinares rotundifolios formados por carrasca (*Quercus rotundifolia*), encinas (*Quercus ilex*) y coscoja (*Quercus coccifera*) que se desarrolla en altitudes no superiores a los 600 m.s.n.m. Este tipo de bosque mesomediterráneo se adapta bien a los suelos de margas y calizas que conforman el sustrato de la zona. Entre los 800 y 1.100 metros de altitud el carrascal con boj conforma la cobertura vegetal, mientras que en los collados encontramos brezal-bojarral-pastizal montano, con algo de hayedo en los collados. A su vez el carrascal, sumado a las condiciones climáticas, hace que el sotobosque no pueda desarrollarse adecuadamente y sea bastante pobre florísticamente (Loidi et al, 2011). En las zonas que se han arrebatado al bosque por medio de quemas se desarrolla el matorral mediterráneo compuesto de coscoja, enebro, endrinos, tomillo etc. (Ollero y Ormaetxea, 1997). Actualmente la Sonsierra riojano-alavesa presenta un paisaje intensamente antropizado por las actividades labriegas consistentes principalmente en el cultivo de la vid, la siembra secundaria de cereales como el trigo o la cebada y, en menor medida, la explotación olivera.

1.1.3 Contexto arqueológico de la Rioja Alavesa.

El conjunto arqueológico emplazado en torno a la sierra de Cantabria, cuya cronología está enmarcada entre finales del Paleolítico (Alday et al., 2007) y la Prehistoria reciente, es bien conocido ya desde principios de siglo pasado. Los

trabajos arqueológicos en la zona han sido constantes a lo largo del siglo XX hasta principios del presente siglo, desde los pioneros J.M. Barandiarán y D. Fernández Medrano hasta las últimas investigaciones que se están desarrollando desde 1984 por parte de J. Fernández Eraso. Los yacimientos que hay en la zona se pueden catalogar en dos tipos: yacimientos en cueva y monumentos megalíticos relacionados con el mundo funerario. En la Rioja Alavesa no ha sido posible detectar, hasta la fecha, poblados al aire libre de época neolítica debido a la intensa actividad vitícola de la zona, desfondando las fincas. Dicha actividad se desarrolla sin ningún tipo de control arqueológico, por lo que es factible pensar que tales asentamientos hayan existido en algún momento y se hayan perdido definitivamente. Por otro lado, sí que están documentados asentamientos neolíticos al aire libre en zonas vecinas a la comarca de Rioja Alavesa, como por ejemplo La Renke (Mijankos, Álava), Los Cascajos y Paternabidea (Navarra) (Fernández-Eraso et al., 2015).

Más conocidos son los abrigos que albergan depósitos de esta época, de este a oeste: Peña Larga, Los Husos y San Cristóbal (Figura 3). El uso de estos asentamientos tenía carácter estacional puesto que eran visitados por los grupos humanos en momentos concretos del año para ser utilizados como rediles o, en el caso del Nivel VI de Peña Larga, como altos de caza (Fernández Eraso, 2008a, 2008b). Sin embargo, la ocupación en abrigos y/o refugios rocosos destaca por su uso para la reagrupación de ganado, como son los casos de Los Husos II y San Cristóbal durante el Neolítico, y San Cristóbal y Los Husos I también durante el Calcolítico. Con posterioridad, los yacimientos de Los Husos I y II y Peña Larga serán utilizados como lugares de inhumación en el Calcolítico (Fernández Eraso, 2002, 2004a, 2008a, 2008b, 2010a).



-  1.- DOLMEN DE "LAYAZA".
 - 2.- DOLMEN DE "EL SOTILLO".
 - 3.- DOLMEN DE "EL MONTECILLO".
 - 4.- DOLMEN DE "SAN MARTÍN".
 - 5.- DOLMEN DE "EL ALTO DE LA HUESERA".
 - 6.- DOLMEN DE "LA CHABOLA DE LA HECHICERA".
 - 7.- DOLMEN DE "EL ENCINAL".
 - 8.- DOLMEN DE "LOS LLANOS".
-
-  1.- PEÑA LARGA.
 - 2.- LOS HUSOS I.
 - 3.- LOS HUSOS II.
 - 4.- SAN CRISTÓBAL.
 - 5.- PEÑA PARDA.



Figura 3. Localización del conjunto arqueológico ubicado en la Sierra de Cantabria (cuevas y/o abrigos) y en la Sonsierra (dólmenes). Extraído de Fernández-Eraso y Mujika-Alustiza, 2013).

Paralelamente, cabe destacar la estación dolménica que alberga la comarca, la cual está compuesta por nueve monumentos, de este a oeste: Los Llanos, El Encinal, La Chabola de la Hechicera, La Huesera, San Martín, El Sotillo, Layaza, El Montecillo y La Cascaja (Figura 3). El primer dolmen que se descubre es el de la Chabola de la Hechicera, de la mano de Álvaro de Gortázar en 1935. A partir de este momento se suceden los descubrimientos que se prolongan hasta mitad de siglo. El último monumento funerario localizado es el de El Montecillo, descubierto en 2010 y objeto de intervención ese mismo año en el marco del proyecto de recuperación y restauración de los dólmenes de Rioja Alavesa, llevada

a cabo por los profesores de la Universidad del País Vasco Javier Fernández Eraso y José Antonio Mujika. Muchos de estos dólmenes fueron objeto de excavaciones hacia mediados del siglo pasado, en la actualidad las intervenciones arqueológicas están enfocadas a su consolidación y conservación. Estas intervenciones han permitido además obtener una nueva batería de fechas radiocarbónicas que sitúan la fundación de estos monumentos durante el Neolítico pleno 4700-4200 cal. a.C. (Fernández-Eraso y Mujika-Alustiza, 2013; Fernández-Eraso et al. 2015).

En términos cronológicos, las dataciones más antiguas de que disponemos para esta zona corresponden al Nivel IV de Peña Larga, con una fecha de 6720±40 cal. BP, en el que se encuentran además los primeros vestigios de cerámica cardial encontrados en la zona y los únicos localizados hasta el momento en contexto arqueológico del País Vasco (Fernández-Eraso, 1988, 1997, 2004a, 2011a; Fernández-Eraso et al., 2015). En función de los datos de los que disponemos hasta la fecha, Fernández Eraso et al. (2015) establecen tres fases dentro del Neolítico vasco: inicial (5700-4700 cal. a.C.), pleno (4700-4200 cal. a.C.) y final (4200-3600 cal. a.C.). La nueva economía de producción llega a la zona plenamente configurada durante el Neolítico inicial, a través de la cuenca del Ebro. A partir de este momento el nuevo sistema productivo se consolida y expande por todo el territorio, dando lugar a los nuevos ritos funerarios. Finalmente, la última etapa del Neolítico supone una mayor presión sobre el entorno ecológico para el desarrollo de las actividades agrícolas, de tal manera que encontramos un ecosistema altamente antropizado con respecto a períodos anteriores.

En suma, la vertiente meridional del País Vasco presenta un amplio mapa arqueológico, cuyo estudio sistemático ha arrojado gran cantidad de información en torno al Neolítico en la cuenca alta del Ebro permitiendo esbozar la llegada de las primeras poblaciones neolíticas, así como la posterior consolidación y desarrollo del nuevo sistema económico.

1.2 El Mirador

1.2.1 Contexto geográfico y geomorfológico.

La cueva de El Mirador se abre en la zona más meridional del sistema kárstico que da forma a la sierra de Atapuerca, enclavada a 15 km de la ciudad de Burgos. La sierra se localiza en la submeseta norte en la zona oriental de la depresión del Duero y comunica con la depresión del Ebro a través del denominado corredor de la Bureba, lo que le concede una privilegiada ubicación geográfica puesto que supone una vía de comunicación importante entre ambas cuencas (Loidi et al., 2011; Pérez González et al. 1999; Vergès et al. 2002, 2008). A escala más amplia, la formación se encuentra flanqueada por la cordillera Cantábrica al Norte y el sistema Ibérico al este (Ortega et al., 2013). La sierra presenta una gran karstificación, así como un abundante número de procesos endokársticos que, a lo largo del tiempo, han horadado la formación dotándola de un importante sistema de cavidades (Torres, 1973; Zazo et al. 1987; Pérez González et al. 1999). Éstas han sido habitadas recurrentemente desde el Pleistoceno hasta la Prehistoria reciente proporcionando así un registro arqueológico y paleontológico que abarca prácticamente todas las etapas de la Prehistoria.

La sierra de Atapuerca es un anticlinal tumbado con vergencia NE y dirección ibérica NNW-SSE con un desarrollo de en torno a los 4 km de longitud, cuya altura máxima es de 1084 m.s.n.m. y se localiza en la zona meridional de la sierra (Benito-Calvo y Pérez-González, 2015; Pérez-González et al., 1999; Ortega et al., 2013). Su origen está establecido durante el Mesozoico y desde el punto de vista litológico está constituido fundamentalmente por calizas y dolomitas del Jurásico, siendo éstos los materiales más antiguos de la sierra (Figura 4) (Benito-Calvo y Pérez-González, 2015). Su desarrollo está condicionado por ciclos de erosión/sedimentación y elevación durante el Neógeno y ha resultado en la formación de un relieve conforme (*Mont*), generando un paisaje serrano suave de plataformas y resaltes estructurales (Benito-Calvo y Pérez-González, 2015; Ortega et al., 2013; Pérez-González et al., 1999). Por último, el río Arlanzón que discurre

al sur paralelo a la sierra, erosiona los materiales más blandos generando un sistema compuesto de hasta 14 de terrazas (Benito-Calvo y Pérez-González, 2015), mientras que al norte de la formación discurre el río Vena. Su privilegiado enclave hace que en el entorno de la sierra haya una gran diversidad de biotopos.

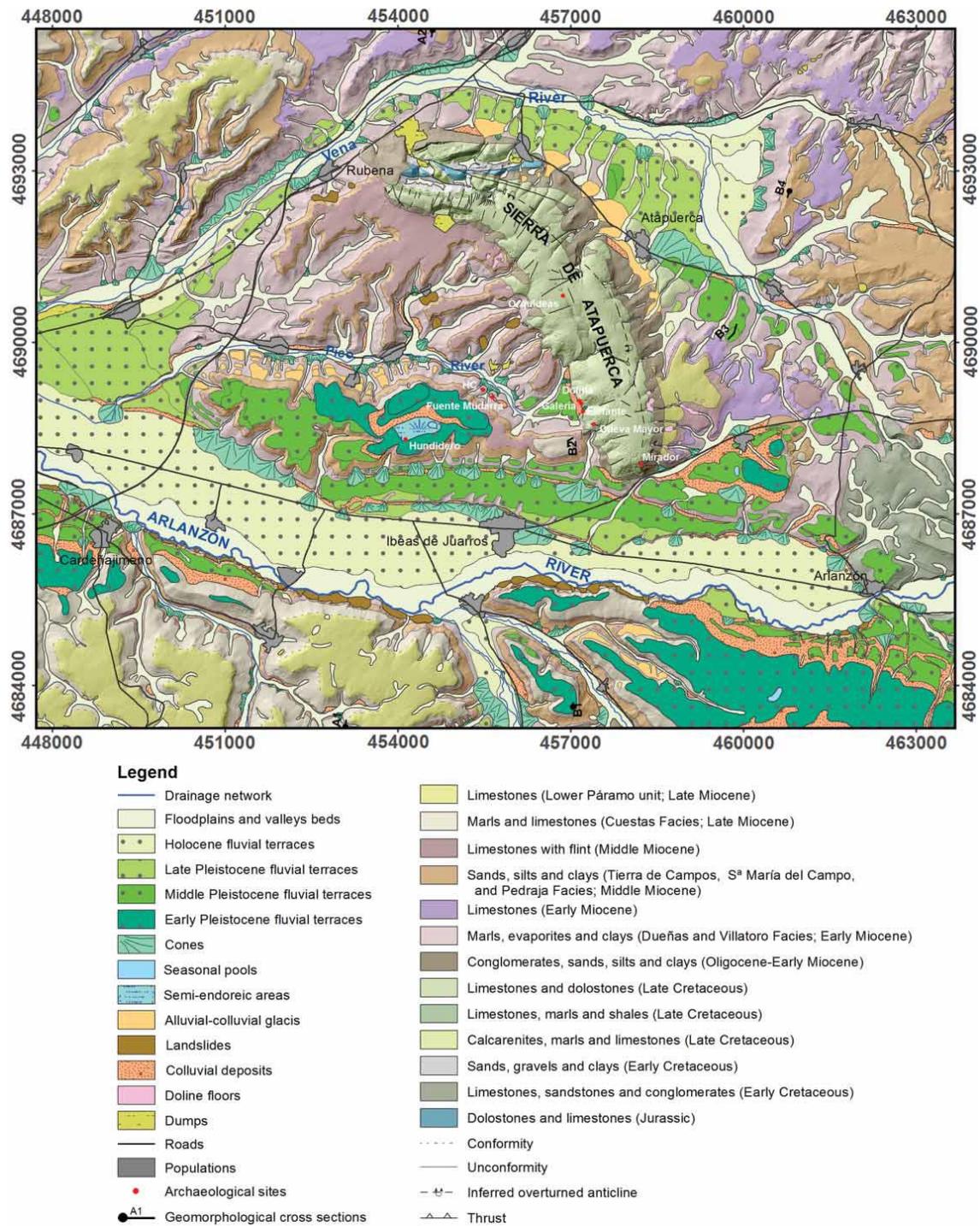


Figura 4. Mapa geomorfológico de la sierra de Atapuerca (extraído de Benito-Calvo y Pérez-González, 2015).

1.2.2 Contexto climático y vegetal.

De acuerdo con los valores climatológicos normales registrados en la estación meteorológica situada en el aeropuerto de Burgos, se deduce que la sierra de Atapuerca está influenciada por un clima de tipo mediterráneo, aunque con influjo continental de inviernos fríos y veranos secos. La temperatura media anual registrada en dicha estación meteorológica durante el período de 1989 a 2010 es de 10°C. Por su parte las precipitaciones medias anuales durante el mismo período son de 546mm, característico de un ombrotipo subhúmedo (Agencia Estatal de Meteorología, <http://www.aemet.es/es/portada>).

A pesar de estar localizada en un área de encrucijada biogeográfica, en términos generales se podría decir que la composición vegetal de la Sierra de Atapuerca se caracteriza por su pobreza florística, fruto de su continentalidad y del substrato calizo que conforma la formación (García Antón, 1999). El manto boscoso está conformado principalmente por encinas (*Quercus rotundifolia* y *Q. ilex*) y robles de hoja pequeña (*Quercus faginea*). Estos bosques están acompañados por vegetación de tipo arbustiva como endrinos, majuelos o rosas silvestres, a lo que se le suma la vegetación de matorral como el romero o el tomillo. A su vez la zona alta y llana de la sierra, que presenta una apariencia de páramo, se caracteriza por la presencia de pastizales de herbáceas (*Festuca hystris*, *Carex halleriana*, *Crucianella angustifolia* y *Koellera vallesiana*) a la que se suman especies leñosas como el tomillo (*Thymus zygis*). En las terrazas del río Arlanzón se localizan comunidades de *Quercus pirenaica*; mientras que la vegetación riparia se caracteriza por la presencia mayoritaria de chopos (*Populus sp.*), acompañados por álamos negros (*Populus nigra*) y álamos temblones (*Populus tremula*) así como por diferentes variedades de sauce (García Antón, 1999; Rodríguez y Buxó, 2008).

Esta vegetación serrana tiene grandes síntomas de antropización, fundamentalmente producto de actividades relacionadas con la extracción de carbón vegetal y de un intenso pastoreo. Por otro lado, al igual que ocurre en la depresión del Ebro, el paisaje actual se ve alterado por las actividades agrícolas,

aunque en este caso están dirigidas prácticamente de manera exclusiva al cultivo del cereal (trigos y cebadas).

1.2.3 Contexto arqueológico de la Sierra de Atapuerca.

El conocimiento del período Neolítico en la provincia de Burgos ha estado, tradicionalmente, relegado a un segundo plano y son pocos los trabajos que han abordado en este tema, sobre todo durante la primera mitad del siglo XX. Durante las dos primeras décadas de siglo pasado fueron el padre Carballo y el padre Ibero quienes llevan a cabo trabajos arqueológicos en este sentido, así podríamos tildarlos de pioneros (Moral del Hoyo y Rodríguez Marcos, 2009). También es de destacar la presencia en la sierra de Atapuerca de Obermaier y Breuil hacia 1912. Tras la contienda civil, toman el relevo de los trabajos en la sierra los profesores Jordá, Apellániz y Clark (Ortega et al., 2008). En lo que respecta a los yacimientos en cueva que alberga la sierra de Atapuerca es interesante destacar el papel del Grupo Espeleológico Edelweiss (GEE), que fue un revulsivo a la hora de detectar algunos de los yacimientos que albergan las galerías kársticas de la sierra, tal es el caso de El Mirador.

Al igual que ocurre en la sierra de Cantabria, el contexto arqueológico en torno a la sierra de Atapuerca está formado por asentamientos en cueva, al aire libre, así como construcciones megalíticas, en este caso túmulos. La sierra de Atapuerca es largamente conocida por sus trascendentales depósitos Pleistocenos, ahora bien, sus cavidades también albergan importantes secuencias holocenas como la de El Mirador, Galería del Sílex o el Portalón de cueva Mayor. Cada una de estas cuevas fueron visitadas por las primeras sociedades productoras durante gran parte de la Prehistoria reciente y en su refugio se desarrollaron diferentes tipos de actividades. Así, durante el Neolítico la Galería del Sílex fue usada como santuario, al tiempo que el afloramiento de sílex de su interior también fue explotado; el Portalón ha sido interpretado como un lugar habitacional (Ortega et al., 2006, 2008); mientras que por su parte la cueva de El Mirador albergó un redil durante el Neolítico, siendo reutilizada como lugar de inhumación durante el Calcolítico (Vergès et al.,

2002, 2008). Las investigaciones en torno a la cueva de El Portalón y sobre todo a El Mirador están llenando un cierto vacío historiográfico en lo que respecta al conocimiento del Neolítico en la cuenca oriental del Duero y en la provincia de Burgos en General.

Los yacimientos al aire libre por su parte son más escasos, hecho que viene siendo habitual. Entre ellos destacan los asentamientos de Villafría III y Los Cascajos-El Blanquillo (Moral del Hoyo y Rodríguez Marcos, 2009). Aunque su ubicación está bastante al sur de la sierra, cabe mencionar el yacimiento Altotero localizado en el municipio de Modúbar de Emparedada cuyas autoras enmarcan en un Neolítico avanzado (Arnáinz-Alonso y Esparza-Arroyo, 1985).

En 1975 J.L. Uribarri da a conocer la estación tumular sita en el entorno de la sierra. Se han localizado varias estructuras tumulares, tanto en el término municipal de Ibeas de Juarros como en Villalval, cuyo estado de conservación en algunos casos es paupérrimo. Al mismo tiempo también hay constancia de un posible menhir, aunque no hay evidencias arqueológicas que lo confirmen (Moreno Gallo, 1999). Paralelamente, y relacionado con los ritos funerarios, pero no con estructuras megalíticas, se encuentra el yacimiento de Molino de Arriba, cercano al yacimiento de Villafría III, que consiste en una inhumación en fosa cuyos autores atribuyen, con base en la cultura material recuperada, al Neolítico antiguo (Palomino et al., 2011).

Hemos visto que la mayor parte de la información obtenida y la más actualizada para esbozar el Neolítico en cuenca oriental del Duero provienen de los yacimientos holocenos localizados en la sierra de Atapuerca. No obstante, estos datos hay que cotejarlos con los importantes datos cronológicos que se han obtenido en los yacimientos al aire libre del valle de Ambrona, Soria y la cueva de La Vaquera (Segovia) que han permitido encuadrar los inicios del Neolítico en el interior peninsular hacia la primera mitad del VI milenio a.C. (Estremera, 2003; Rojo et al., 2008). Con base en los datos disponibles en Carretero et al. (2008) se establecen dos etapas para el Neolítico interior, el Neolítico inicial que comenzaría

hacia el 5460-5330 cal. a.C. y que concluiría en torno al 4900- 4700 cal. a.C.; mientras que la última etapa de este período se sitúa entre 4700-4500 y 3600-3100 cal. a.C.

En resumen, a pesar de los grandes avances dentro del conocimiento del Neolítico burgalés todavía queda mucha información por recuperar. La escasez de los datos a nivel general está siendo paliada en gran medida gracias a los trabajos que se están desarrollando en el Portalón de Cueva Mayor y, especialmente, en la cueva de El Mirador. Estas investigaciones están poniendo de manifiesto la llegada de la economía de producción en fechas tempranas, análogas a las que encontramos en el valle del Ebro, desmintiendo así que fuera esta una zona retardataria y marginal al movimiento Neolítico.

CAPÍTULO 2

YACIMIENTOS: SAN CRISTÓBAL, LOS HUSOS II Y EL MIRADOR

Como ya hemos mencionado en el apartado introductorio, son tres los yacimientos objeto de estudio de este trabajo: San Cristóbal, Los Husos II y El Mirador. A continuación, contextualizaremos los yacimientos, indicando su localización geográfica y su contexto cronológico, y realizaremos la descripción de sus niveles.

2.1 San Cristóbal.

San Cristóbal se localiza en la fachada sur de la sierra de Cantabria en el denominado Payo de los Cabrones. Sus coordenadas geográficas según el S.G.E. escala 1:50000 hoja 170 (Haro) son: X= 531750, Y= 4716650 y su altitud es de 920 m.s.n.m. (Fernández Eraso, 2007). El sitio fue utilizado como eremitorio durante la Edad Moderna, desde finales del XV hasta al menos el siglo XVII (Fernández Eraso, 2007). De este uso todavía son visibles los restos de las estructuras que lo conformaban, destacando el muro de la ermita que aún hoy sigue en pie y que aprovecha la pared del abrigo donde se localiza el depósito prehistórico para conformar dicha edificación (Figura 5).

Las dimensiones del abrigo que alberga el depósito sedimentario, así como de la iglesia del eremitorio, son modestas: 11,75 metros de anchura, y 6 metros de profundidad. J. Fernández Eraso realizó una cata en 1999, dejando al descubierto una estratigrafía que abarca tanto períodos históricos como momentos de la Prehistoria reciente (Fernández-Eraso, 2003). El proceso de excavación, dirigido también por J. Fernández Eraso, se puso en marcha el año 2007 prolongándose hasta el verano de 2015 y consistió en la apertura de tres bandas de cuadros alcanzando una superficie total excavada de 6m².



Figura 5. Vista actual del abrigo de San Cristóbal. Es posible observar los restos del arco de entrada a la ermita que se levantó en el abrigo hacia finales del siglo XV y que estuvo en uso hasta el siglo XVII (Imagen cedida por cortesía de Javier Fernández Eraso).

A pesar de que la secuencia sedimentaria correspondiente a momentos prehistóricos se encuentra bastante bien conservada, existen estructuras que alteran la continuidad de la secuencia y que tienen relación con su uso como eremitorio durante la Edad Moderna. El depósito prehistórico se divide en trece niveles cuya horquilla cronológica abarca desde el Bronce hasta el Neolítico inicial, y cuyas características se resumen a continuación:

- Nivel I. Corresponde al nivel superficial del yacimiento y presenta gran concentración de ocre en alguna de sus zonas. Este nivel está cortado por una fosa que se prolonga unos dos metros en profundidad y de la cual fueron recuperados restos humanos pertenecientes al osario del eremitorio, así como restos cerámicos a torno, cuentas de madera y monedas del siglo XVII. Este nivel presenta fragmentos de cerámicas a torno, de época moderna. Para este primer nivel se realizaron análisis químicos para conocer la composición del sedimento, estos

datos pusieron de manifiesto una gran presencia de fosfatos y carbonatos, indicios que hicieron pensar en su uso como redil (Tabla 1) (Fernández-Eraso, 2007).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Pmgr/100 gr
10,10	2,03	0,86	0,062	2,74	41,56	0,14	0,38	0,141	1,318	575

Tabla 1. Composición química del Nivel I de San Cristóbal (Fernández-Eraso, 2007).

- Nivel II. Se trata de una acumulación de cenizas cuyo espesor varía entre 10 y 12cm, en los que se pudieron detectar hasta cuatro agujeros de poste. El conjunto arqueológico está conformado por restos cerámicos lisos o decorados y restos óseos de animales ungulados (Fernández-Eraso y Sabando, 2008).
- Nivel III. Paquete de tierra marrón, heterogénea, con manchas y capitas grisáceas y con un espesor que varía entre 14 y 20cm. Al igual que en el nivel superior, se han podido recuperar fragmentos cerámicos entre los que destacan varios fragmentos de cerámica campaniforme pseudoexcisa. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos por obtener dataciones de C¹⁴ no ha podido obtenerse fecha alguna (Fernández-Eraso y Sabando, 2008).
- Nivel IV. Formado por una gruesa capa de cenizas que se localizan fundamentalmente en el centro del abrigo cuyo espesor es muy variable. En ellas se han podido localizar nueve agujeros de poste, realizados de dos modos diferentes: bien haciendo un hoyo para luego ajustar el poste con cuñas; o bien hincando directamente el poste en el suelo. Los restos arqueológicos recuperados corresponden a fragmentos cerámicos decorados, lisos y campaniformes. La datación de este nivel es de 3.960±40 BP (Fernández-Eraso y Sabando, 2008).
- Nivel V. Este nivel está a su vez dividido en dos: V y V inferior. El nivel V presenta un espesor muy desigual. Se trata de un sedimento marrón que contiene gran cantidad de carbones y que se oscurece a medida que profundiza. Bajo este paquete de tierra hay una capa negra que, a su vez, descansa sobre una capa de cenizas. El conjunto arqueológico exhumado corresponde a una punta de pedúnculo y aletas y fragmentos de cerámica lisa (Fernández-Eraso, 2008).

- Nivel V inferior. Presenta entre 17 y 20cm de espesor, se trata de un paquete sedimentario de color marrón compacto que alberga tres montones de cenizas superpuestos, todos estériles en cuanto a material arqueológico y coronados por una capa de ceniza blanca. Otras zonas de este nivel muestran coloraciones entre parduzcas y rojizas consecuencia de la quema de estiércol. El conjunto arqueológico recuperado en este nivel es algo más rico que los anteriores, y está compuesto por varias puntas de pedúnculo y aletas, una ojiva foliácea, una pieza de hoz con lustre de cereal, una cuenta de collar, un punzón en asta de ciervo, así como fragmentos de cerámica lisa. Las dataciones de C₁₄ sitúan a todo este Nivel V en 4.080±40 BP (Fernández-Eraso, 2009).
- Nivel VI. Conformado por una capa marrón con carbones, de 16 a 24cm de espesor en la que se han localizado un hoyo, una estructura de hogar y una nueva unidad de combustión igual a aquellas descritas en el Nivel V inferior. Entre los restos recuperados en este nivel se encuentran un punzón en hueso y una cuenta de collar (Fernández-Eraso, 2009).
- Nivel VII. Tres montones de ceniza con un espesor de entre 16 y 20cm configuran este nivel, los cuales a su vez están compuestos por diferentes capas fruto de la combustión del estiércol: primero una capa gris oscura que subyace a otra rojiza sobre la que se asienta una capa oscura y, todo ello coronado por una capa de cenizas blancas. Una espátula en hueso y fragmentos de cerámica lisa a mano son los artefactos exhumados más relevantes (Fernández-Eraso, 2010b).
- Nivel VIII. Depósito de color marrón de entre 8 y 17cm, muy compacto bajo el cual subyacen cuatro montones superpuestos cuya capa de cenizas aparece fuertemente concrecionada y con un espesor máximo de 10cm (Fernández-Eraso, 2010b).
- Nivel IX. De 40cm de espesor, está compuesto por tres montones no superpuestos y en aquellas zonas libres de montones la tierra es de color marrón y está muy concrecionada. Bajo esta capa subyace un paquete de tierra fuertemente concrecionada de 23 a 27cm de espesor. El conjunto arqueológico exhumado de este nivel es muy abundante y está compuesto por artefactos en sílex, así como en hueso y un gran número de fragmentos cerámicos (Fernández-Eraso, 2011c; 2012).

- Nivel X. Se trata de un nivel de espesor comprendido entre los 18 y 30cm. Este nivel ha permanecido sellado gracias a la capa de concreción del nivel anterior. En su masa hay gran cantidad de cantos y carbones, así como de cenizas. Se recuperaron gran cantidad de artefactos arqueológicos, más de quinientos, como por ejemplo artefactos y productos de debitado en sílex, cerámica lisa, un punzón y un hacha pulimentada de fibrolita, entre otros (Fernández-Eraso, 2011; 2012).
- Nivel XI. De entre 10 y 38cm de espesor, este nivel está compuesto principalmente por montones de ceniza superpuestos, y que conforman los depósitos de *fumier*, que descansan directamente sobre una capa de color marrón (7.5YR5/3 – 7.5YR 5/2). De su masa se recuperaron hasta seiscientos artefactos: cerámicas lisas y un fragmento cerámico con digitaciones, artefactos líticos como una raedera lateral opuesta a una denticulada, un microburil, etc. (Fernández-Eraso, 2012).
- Nivel XII. Este nivel se compone de diversas capas de ceniza que conforman a su vez unidades de combustión. Además, en la zona sureste del área excavada se localizó un hogar conformado con varias piedras que lo delimitan, a su vez la tierra que circunda el hogar es de una tonalidad negruzca y abundan los carbones. Este nivel se asienta sobre una capa de concreción que abarca toda la superficie excavada y que es más espesa en la zona que coincide con la visera del abrigo. Entre los materiales destacan: diez microburiles, segmentos de círculo de retoque abrupto y a doble bisel, cerámica lisa y dos fragmentos decorados con una línea incisa, y un molino de mano de arenisca (Fernández-Eraso, 2013).
- Nivel XII inferior. Su espesor oscila entre los 4 y los 14cm en función de la zona excavada. Se trata de un nivel heterogéneo que presenta diferentes tonalidades y texturas. La capa que predomina presenta una tonalidad marrón grisácea (10YR5/1) y contiene carbones, clastos –cuya presencia aumenta a medida que se profundiza- y un montón de cenizas en el área suroeste. Junto a esta zona aparece una capa de tierra roja (2.5YR4/6) que, cuando entra en contacto con la anterior, adquiere una coloración gris rojiza (2.5YR5/1) mostrando una mezcla de las características de ambos sedimentos. En la zona cercana a la pared del abrigo el sedimento se torna gris oscuro, casi negro (10YR3/1). Al mismo tiempo aparece

en el área suroeste un montón de cenizas conformado por una sucesión de capas de diferentes tonalidades, similar a los excavados previamente: una rubefactada y de tonalidad marrón rojiza en la base (5YR3/3); seguida de una capa negra; y finalmente una capa de cenizas concrecionada de tonalidad grisácea (7.5YR5/1). Los artefactos exhumados son muy pobres y se limitan a un fragmento medial de lámina, restos de talla, fragmentos de cerámica lisa y restos óseos de animales ungulados (Fernández-Eraso, 2013).

- Nivel XIII. Presenta un espesor medio de 41cm. Se trata de un nivel muy concrecionado de tonalidades grises y marrones (10YR 4/2 marrón grisáceo oscuro y 10YR 4/6 marrón oscuro), formado por varias unidades de combustión. De él se recuperaron diversos elementos de sílex, entre los que destacan 4 piezas elaboradas en sílex evaporítico. Por su parte, la cerámica está poco representada y los elementos encontrados son fragmentos de recipientes hechos a mano horneados a fuego oxidante. Destacan varios fragmentos que presentan decoración impresa mediante concha. Las dataciones de este nivel son análogas al del Nivel XII, por lo que ambos se podrían englobar en uno solo (Fernández-Eraso, 2014; 2015).
- Nivel XIII inferior. Este nivel yace directamente sobre la roca madre y su espesor varía entre 14 y 62cm. Su sedimento, que en algunas zonas está concrecionado, es de tonalidad gris oscura/negra e incluye gravas, clastos y bloques. Al contrario que en niveles superiores, el Nivel XIII inferior no presenta evidencias de quema por saneamiento, aunque sí hay zonas de combustión. Los materiales recuperados son muy abundantes, tanto en industria lítica como cerámica, dentro de esta última la mayoría de los fragmentos son lisos y destaca un fragmento de asa tubular y otro de pezón. La cronología del Nivel XIII inferior se enmarca en el Neolítico Antiguo local (

Nivel	Fecha BP	Cal BP	Cal. BC	Laboratorio
Fosa eremitas	450±40	540-460	1420-1490	Beta – 161188
Sup. Hoyo banda 8	3120±40	3410-3260	1460-1310	Beta – 288940
Hoyo banda 4	3240±40	3560-3380	1610-1430	Beta – 288942
II	3990±40	4530-4410	2580-2460	Beta – 252435
Hoyo banda 8	4020±40	4580-4420	2630-2470	Beta – 288943
IV	4030±40	4780- 4770/4580-4420	2830-2820 2630-2470	Beta – 252437

V inf	4080 \pm 40	4810- 4760/4700- 4660/4660- 4500/4490-4440	2860-2800 2750-2710 2710-2550	Beta – 268468
VI	4100 \pm 40	4280- 4740/4730- 4510/4470-4450	2870-2800 2780-2560 2520-2500	Beta – 268470
VI	4170 \pm 40	4840-4570	2890-2620	Beta – 268469
VII sondeo	4260 \pm 40	4860- 4820/4750-4720	2920-2870	Beta – 161187
VIII	4470 \pm 40	5300-4960	3350-3020	Beta – 288941
IX	4930 \pm 30	5720-5600	3770-3650	Beta. – 310013
X	4980 \pm 30	5840- 5830/5750-5640	3890-3880 3800-3700	Beta – 307799
X	5100 \pm 30	5920- 5840/5830-5750	3970-3890 3880-3800	Beta – 307800
XI	5320 \pm 30	6200-5990	4250-4040	Beta- 337632
XI	5410 \pm 30	6290-6180	4340-4230	Beta-337631
XII	5460 \pm 30	6300- 6265/6250-6210	4350-4315 4300-4260	Beta-373276
XII	5490 \pm 30	6310- 6275/6230-6220	4360-4325 4280-4270	Beta-373277
XII	5550 \pm 30	6400-6290	4450-4340	Beta-373275
XIII	5570 \pm 30	6405-6295	4490-4355	Beta-391721
XIII	5600 \pm 30	6440-6305	4455-4345	Beta-391718
XIII	5650 \pm 30	6490- 6395/6365-6355	4540-4445 4415-4405	Beta-391719
XIII	5670 \pm 30	6495-6400	4545-4450	Beta-391720
XIII	5720 \pm 30	6625- 6585/6565-6440	4675-4635 4615-4490	Beta- 421298
XIII	5880 \pm 30	6775- 6765/6750-6645	4825-4815 4800-4695	Beta- 421295
XIII	5960 \pm 30	6880-6730	4930-4780	Beta- 421296
XIII inf	6010 \pm 30	6940- 6780/6765-6755	4990-4830 4815-4805	Beta- 423461

- **Tabla 2)** (Fernández-Eraso, 2015).

Así pues, el uso del abrigo de San Cristóbal comienza en el Neolítico antiguo dilatándose hasta el Calcolítico. Aunque en un primer momento no se utilizó como redil (Fernández-Eraso, 2015), las actividades pecuarias en el abrigo comenzaron y se consolidaron a lo largo del Neolítico, período representado en los Niveles IX a XIII inferior. Durante el Calcolítico su utilización como redil se reitera y se localizan, además, estructuras como hogares y hoyos en el perfil sur, producto de actividades de tipo doméstico.

Nivel	Fecha BP	Cal BP	Cal. BC	Laboratorio
Fosa eremitas	450 \pm 40	540-460	1420-1490	Beta – 161188

Sup. Hoyo banda 8	3120 \pm 40	3410-3260	1460-1310	Beta – 288940
Hoyo banda 4	3240 \pm 40	3560-3380	1610-1430	Beta – 288942
II	3990 \pm 40	4530-4410	2580-2460	Beta – 252435
Hoyo banda 8	4020 \pm 40	4580-4420	2630-2470	Beta – 288943
IV	4030 \pm 40	4780- 4770/4580-4420	2830-2820 2630-2470	Beta – 252437
V inf	4080 \pm 40	4810- 4760/4700- 4660/4660- 4500/4490-4440	2860-2800 2750-2710 2710-2550	Beta – 268468
VI	4100 \pm 40	4280- 4740/4730- 4510/4470-4450	2870-2800 2780-2560 2520-2500	Beta – 268470
VI	4170 \pm 40	4840-4570	2890-2620	Beta – 268469
VII sondeo	4260 \pm 40	4860- 4820/4750-4720	2920-2870	Beta – 161187
VIII	4470 \pm 40	5300-4960	3350-3020	Beta – 288941
IX	4930 \pm 30	5720-5600	3770-3650	Beta. – 310013
X	4980 \pm 30	5840- 5830/5750-5640	3890-3880 3800-3700	Beta – 307799
X	5100 \pm 30	5920- 5840/5830-5750	3970-3890 3880-3800	Beta – 307800
XI	5320 \pm 30	6200-5990	4250-4040	Beta- 337632
XI	5410 \pm 30	6290-6180	4340-4230	Beta-337631
XII	5460 \pm 30	6300- 6265/6250-6210	4350-4315 4300-4260	Beta-373276
XII	5490 \pm 30	6310- 6275/6230-6220	4360-4325 4280-4270	Beta-373277
XII	5550 \pm 30	6400-6290	4450-4340	Beta-373275
XIII	5570 \pm 30	6405-6295	4490-4355	Beta-391721
XIII	5600 \pm 30	6440-6305	4455-4345	Beta-391718
XIII	5650 \pm 30	6490- 6395/6365-6355	4540-4445 4415-4405	Beta-391719
XIII	5670 \pm 30	6495-6400	4545-4450	Beta-391720
XIII	5720 \pm 30	6625- 6585/6565-6440	4675-4635 4615-4490	Beta- 421298
XIII	5880 \pm 30	6775- 6765/6750-6645	4825-4815 4800-4695	Beta- 421295
XIII	5960 \pm 30	6880-6730	4930-4780	Beta- 421296
XIII inf	6010 \pm 30	6940- 6780/6765-6755	4990-4830 4815-4805	Beta- 423461

Tabla 2. Relación de dataciones del yacimiento de San Cristóbal.

2.2 Los Husos II.

El abrigo de Los Husos II se abre bajo una pared de conglomerado y sus dimensiones son importantes: 7m de anchura, 10m de altura y 18m de profundidad

(Figura 6). Al fondo del abrigo hay una surgencia de agua que, aunque no es demasiado abundante, influye parcialmente en la configuración del relleno arqueológico. El año 1965 I. Amezua descubre el conjunto de Los Husos y en la década de los 70, cuando J.M. Apellániz realizaba el trabajo de campo en el vecino abrigo de Los Husos I, se procedió a la realización de un sondeo en el abrigo, aunque no ha quedado constancia de las dimensiones ni la ubicación de dicha intervención (Fernández-Eraso, 2003). No es hasta el 2001 que un equipo dirigido por J. Fernández Eraso procede a realizar un sondeo de 150x150cm en la zona oeste del abrigo que deja al descubierto una importante estratigrafía de origen antrópico, cuya horquilla cronológica comprende desde el Neolítico inicial hasta época romana (Tabla 3).



Figura 6. Vista actual del abrigo de Los Husos II (Imagen cedida por cortesía de Javier Fernández Eraso).

Entre 2003 y 2006 se llevó a cabo la excavación de 5m² de extensión, que dejaron al descubierto un relleno de diez niveles arqueológicos:

- Nivel superficial. Sedimento limo arcilloso, suelto, de coloración marrón rojizo (5YR4/3) que contiene gran cantidad de clastos y cantos rodados, carbón y

raíces. Entre los materiales arqueológicos cabe destacar fragmentos de cerámica romana (*sigillata*), así como restos de cerámica actual y ocasionales fragmentos de sílex (Fernández-Eraso, 2003).

- Nivel I. Con un espesor entre 12 y 29cm está compuesto por sedimento arenoso de color marrón grisáceo oscuro (10YR4/2). Contiene además pequeñas piedras, así como fragmentos desprendidos del techo del abrigo. Presenta también abundantes restos de carbón y raíces. Entre los materiales arqueológicos recuperados se encuentran fragmentos de hueso, vidrio, cerámica a mano, *terra sigillata* y elementos en metal (Fernández-Eraso, 2003).
- Nivel II. Presenta entre 20 y 40cm de espesor y fue dividido en dos (Nivel II y Nivel II inferior) durante el proceso de excavación, ya que apareció un tablón de haya (*Fagus sylvatica*) localizada en la zona noreste del yacimiento, de manera que hasta el tablón se denominó como Nivel II, y del tablón a la base II, Nivel II inferior. Está compuesto por un sedimento limo arcilloso suelto con una coloración marrón oscura (7.5YR3/2) que se torna gris muy oscuro a medida que se desciende en profundidad (10YR3/1). Entre los materiales exhumados encontramos cerámica *sigillata* y elementos en metal como clavos o chapas (Fernández-Eraso, 2003).
- Nivel II inferior. Se trata de una capa de color negro (2.5Y5.5/1) bajo la que aparece un sedimento rubefactado de color rojo oscuro (10YR2.5/1). Es una masa de tierra compacta con carboncillos y piedras craqueladas por la acción del fuego. Los restos arqueológicos recuperados son de la misma naturaleza que los descritos en los niveles superiores: cerámicas *sigillatas*, elementos en metal etc. (Fernández-Eraso, 2003).
- Nivel III. Con un espesor variable entre 8cm y 24cm, está compuesto por sedimento de color gris oscuro (7.5YR3/1) o marrón grisáceo (10YR5/2; 5YR3/3) dependiendo de la zona. No es uniforme puesto que el sedimento que la compone es en algunas zonas suave, aunque algo rasposa, mientras que en otras es limo arcilloso y áspero. En cualquier caso, hay presencia de carbones en su masa. Los restos arqueológicos exhumados están revueltos, coincidiendo elementos de época romana con otros claramente prehistóricos (Fernández-Eraso, 2003).

- Nivel III inferior. Se trata de una masa de unos 17cm, que se introduce en el Nivel III. De unos 17cm de espesor, este nivel está formado por cenizas blanquecinas (5YR7/1) y contiene gran cantidad de huesos humanos calcinados. Fueron recuperados de este nivel una punta de flecha, un raspador, dos piezas geométricas y láminas de sílex, asimismo se encontraron dos cuentas de collar (Fernández-Eraso, 2003).
- Nivel IV. Se compone de sucesivas capas de cenizas y aparece de manera uniforme en el yacimiento. Su coloración varía del marrón oscuro (7.5YR3/3) hasta el blanquecino de las capas de ceniza (7.5YR5/2 y 10YR6/2). Aunque no se han localizado materiales arqueológicos, sí se ha podido recuperar un molino de mano del interior de un hoyo que se localizaba en la primera capa del nivel (Fernández-Eraso, 2004b).
- Nivel IV inferior. Se trata de la base de la sucesión de cenizas del Nivel IV, está compuesto por cenizas de color grisáceo (7.5YR7/1 y 5YR7/1) y contiene restos de carbón, raíces y areniscas. En este caso sí que se encontró material arqueológico, eso sí en la base del nivel, como fragmentos de cerámica y sílex (Fernández Erasó, 2005).
- Nivel V. Es un nivel de entre 10 y 25cm. de espesor. El sedimento es suelto y suave, contiene abundantes piedras y raíces y su coloración es marrón oscuro (10YR4/3, 10YR3/1) tornándose grisáceo a medida que se avanza en profundidad (10YR5/2). Esta capa descansa sobre un sedimento ceniciento compacto, suave y con gran cantidad de carbonos, que en algunas zonas aparece carbonatado. Su coloración varía entre marrón grisáceo (10YR6/2) a gris claro (10YR6/2). En este nivel se ha localizado un agujero de poste que arranca al inicio del mismo nivel y concluye en el Nivel VI. Entre los restos recuperados destacan, en sílex, segmentos de retoque abrupto, un triángulo a doble bisel y un microburil, así como láminas de sílex evaporítico; también se han recuperado fragmentos de cerámica lisa y dos punzones en hueso (Fernández-Eraso, 2005).
- Nivel VI. Con un espesor variable entre 25 y 35cm., el Nivel VI está formado por sedimento suelto de color marrón (7.5YR5/3) además junto a este aparece un sedimento ceniciento de color marrón rojizo claro (5YR6/4). Lo más

significativo en este nivel es la presencia de un hogar, conformado por un círculo de piedras, además de una gran cantidad de materiales arqueológicos como segmentos a doble bisel o cerámica decorada a base de impresiones e incisiones. Este nivel presenta dos zonas diferenciadas: una en la zona más exterior del abrigo donde aparece el hogar y otra más hacia el interior que está formado por cenizas, que no son homogéneas en su espesor y presentan agujeros de poste excavados. Esta diferenciación parece que atiende a un uso diferenciado del espacio, reuniendo al ganado más hacia el interior mientras que las actividades diarias de los pastores se desarrollaban en el exterior (Fernández-Eraso, 2006).

- Nivel VII. Pertenece al mismo episodio que el nivel anterior. En él se distinguen una sucesión de capas con diferente coloración: primero un sedimento color marrón (7.5YR 3/2; 7.5YR 4/2- marrón- 5YR 3/2- marrón rojiza- y 5YR 4/3 -marrón negruzca-), limoso con gran cantidad de cantitos, clastos y raíces; a este le sigue un sedimento grisáceo (5YR/1 – gris oscuro- 2.5YR3/1- gris rojizo oscuro) suave y con apenas cantos y clastos. Finalmente aparece una capa negra (7.5YR 2.5/1; 10YR 2/1 y 10YR 2.5/1-negro-). Entre los artefactos arqueológicos destacan un segmento de círculo a doble bisel, un fragmento de triángulo, cristales de roca y la punta de un punzón en hueso (Fernández-Eraso, 2006).
- Nivel VIII. Formado por arenas muy rasposas de color amarillo rojizo (7.5YR6/6), tiene un espesor de unos 25cm y en algunas zonas reposa directamente sobre la roca madre. Es arqueológicamente estéril (Fernández Erasó, 2006).
- Nivel IX. Se trata de una fina capa entre los 6 y 8cm de espesor que se localiza únicamente en la zona sur del yacimiento. Está conformada por un sedimento arcillo limoso de color marrón (7.5 YR 4/3) con areniscas, cantitos y restos de carbón. De su masa se recuperaron fragmentos de cerámica impresa, un segmento de círculo a doble bisel y restos de fauna, entre otros.
- Nivel X. Se trata de un sedimento muy similar al del Nivel VIII conformado por arenas amarillas rojizas (7.5YR6/6), arqueológicamente estéril y que descansa directamente sobre la roca base (Fernández-Eraso, 2006).

Como ya se ha mencionado la cronología representada en Los Husos II abarca momentos de la Prehistoria reciente, especialmente el periodo Neolítico, viéndose representadas en su estratigrafía todas sus etapas. Durante este momento el abrigo funciona como redil (Niveles IX a IV), para posteriormente ser reutilizado como lugar de inhumación durante el Calcolítico. La Tabla 3 resume la batería de dataciones obtenidas a partir de elementos singulares de vida corta (huesos de ungulados).

NIVEL	FECHA BP	CAL. BP	CAL. BC	LABORATORIO
I	1610±40	1570-1410	380-540 AD	Beta.208842
I	1570±40	1540-1360	410-580AD	Beta.208843
II	1370+40	1320-1250	620-700 AD	Beta.208844
II inf.	1770±50	1820-1550	130-400 AD	Beta.208845
III	4670±50	5580-5520 5480-5300	3630-3570 3540-3350	Beta.208847
IV	4910±60	5740-5580	3790-3630	Beta.208848
IV inf.	4930±40	5730-5600	3780-3650	Beta.208849
V	5280±40	6180-5930	4230-3980	Beta.208850
V	5300±40	6190-5940	4240-3990	Beta.161184
V	5430±60	6310-6100 6070-6020	4360-4150 4120-4070	Beta.161185
V	5490±40	6320-6250 6250-6200	4370-4300 4300-4250	Beta.208851
VI	5300±40	6190-5940	4240-3993	Beta.208852
VI	5520±40	6400-6280	4450-4320	Beta.208853
VII	5790±40	6670-6680	4720-4530	Beta 221641
VII	6050±40	6990-6770	5040-4820	Beta 221640
IX	6040±40	6990-6760	5040-4810	Beta 221642
X	7360±40	8200-8050	6250-6100	Beta 221643

Tabla 3. Relación de dataciones del yacimiento de Los Husos II (Modificado de Fernández-Eraso, 2006).

2.3 El Mirador de Atapuerca.

El yacimiento de El Mirador se localiza en una cueva orientada al sur con una altitud 1033 metros sobre el nivel del mar, que se abre en la zona meridional del sistema kárstico de Atapuerca, en la provincia de Burgos, sus coordenadas geográficas son: 42°20'58" N, 03°30'33" O (Vergès et al. 2002; 2008). Se trata de una oquedad caliza de importantes dimensiones: 23m de anchura, 4m de altura y 15m de profundidad. No obstante, el aspecto actual del abrigo no se corresponde con el que tendría durante su ocupación debido a que sufrió el desplome de la

visera, por lo que tendría un aspecto de cueva, y no de aprisco (Figura 7) (Vergès et al. 2008).



Figura 7. Vista actual de la cueva del Mirador (Imagen extraída de Vergès et al., 2016a).

Aunque la cueva de El Mirador se conoce desde lo década de los 70, cuando el Grupo de Espeleólogos Edelweiss realizó una pequeña cata en el interior (Vergès et al., 2002), los trabajos arqueológicos, que se prolongan hasta la actualidad, no comienzan hasta el año 1999. Es en este año cuando un equipo de especialistas, dirigido por el Dr. J.M. Vergès, abre un sondeo de 6 m². La primera fase de excavación se focalizó en dicho sondeo, el cual puso en evidencia una secuencia estratigráfica que presenta ocupaciones con una horquilla cronológica que comienza en el Pleistoceno y se prolonga hasta fechas tardías del Holoceno (Edad del Bronce). La secuencia sedimentaria ha sido definida por conjuntos estratigráficos que se resumen a continuación (Vergès et al., 2002 2008):

- MIR1. Revuelto superficial.
- MIR2. Relleno alterado por bioturbaciones actuales (madrigueras), que alteran también los dos siguientes conjuntos, así como el MIR1. Se trata de un sedimento orgánico, limo arcilloso, de coloración parduzca. Los materiales arqueológicos en MIR2 son esporádicos.

- MIR3. Sedimento homogéneo, orgánico, limo arcilloso y de coloración parduzco amarillento. Contiene carbones de pequeñas dimensiones y algo de ceniza.
- MIR4. Unidad estratigráfica conformada por un depósito de redil, producto de la quema periódica de los excrementos generados por el ganado estabulado. Se han distinguido para esta unidad diferentes facies que conforman dicho depósito y que se resumen en la Tabla 4.
- MIR4a. Depósito de inhumación correspondiente al Bronce medio/tardío. Se trata de una fosa que altera la unidad anterior y que fue utilizada para depositar los restos de varios individuos.
- MIR5. Estratificación muy fina que cuenta con la presencia de egagrópilas. El sedimento es limo arcilloso de coloración pardo grisáceo y presenta poco material arqueológico. Este hecho sumado a la presencia de egagrópilas se ha interpretado como un hiato en la utilización de la cueva
- MIR6. Al igual que la unidad MIR4 se trata de un depósito de redil compuesto por una sucesión de episodios de combustión y el sedimento se distingue en facies (Tabla 4)
- MIR7 y MIR7A. Hoyos realizados y rellenados desde MIR8
- MIR8 a 16. Secuencia de redil
- MIR17. Unidad de revuelto antrópico
- MIR18 a 23. Secuencia de redil
- MIR24. Sedimento con escasos restos de combustión y que presenta sedimento de los niveles inferiores adscritos al período Pleistoceno

Facie	Descripción
--------------	--------------------

a	Limo arcilloso con piedras a veces modificadas por impacto térmico, masivo, frágil, con microcarbones y materiales comunes, concentrados o dispersos
b	Ceniza pura, blanca, masiva, a veces con fina laminación plana, con carbones y pequeñas manchas amarillentas
bg	Acumulaciones de ceniza con características intermedias entre las facies b y g
f	Como 4b, pero con fibras horizontales de orientación varia
c	Acumulación de carbones
d	Material orgánico, negro, formado por excrementos (coprolitos), a veces soldados unos a otros
g	Limo gris claro, masivo, con abundante ceniza
m	Ceniza parda clara, a veces con estructura laminar, con pequeños carbones y fragmentos rubefactados
o	Sedimento orgánico, negro, homogéneo, sin estructuras
r	Horizontes rubefactados por impacto térmico
v	Limo verde oliva con abundante ceniza dispersa
s	Sedimento ceniciento fuertemente deformado o roto con características heterogéneas
t	Arcilla limosa, pardo grisáceo oscuro, con laminación plana débilmente ondulada, fibras vegetales horizontales, aportaciones detríticas y arqueológicas ocasionales

Tabla 4. Descripción de las facies que componen un *fumier* y que están representadas en las muestras que hemos analizado, según Vergès et al. 2002 y Angelucci et al. 2009.

Así pues, la secuencia holocena que alberga la cueva de El Mirador es consecuencia de la actividad antrópica llevada a cabo en el interior de la cavidad, en este caso el uso del espacio como corral. Parece que la cavidad es utilizada recurrentemente a lo largo de la Prehistoria reciente como redil, y no es hasta el Bronce cuando dejamos de apreciar muestras de este uso. Asimismo, se detecta el uso funerario del sitio en momentos puntuales, al igual que ocurre en Los Husos II. No obstante, ha de tenerse en cuenta que los niveles superiores del depósito han sido objeto de saqueos furtivos, por lo que parte de la información del depósito ha desaparecido (Vergès et al., 2002). En cualquier caso, los trabajos en El Mirador han dado una importante relación de dataciones que lo contextualizan entre el Neolítico inicial y la Edad del Bronce (Tabla 5) (Vergès et al., 2002).

Conjunto arqueológico	Material datado	Taxón	Referencia del laboratorio	Edad radiocarbónica media	Cal BP	Cal BC
MIR 4 (techo)	Carbón	<i>Quercus sp. Perennifolio</i>	Beta- 154894	3020±40	3040±40	3350-3140 1400-1190
MIR 4 (base)	Carbón	<i>Quercus sp. Caducifolio</i>	Beta- 153366	3380±40	3400±40	3720-3560 1760-1610
MIR 6	Carbón	<i>Quercus sp. Perennifolio</i>	Beta- 153367	4760±40	4780±40	5600-5460 3650-3510
MIR 8	Carbón	<i>Quercus sp. Perennifolio</i>	Beta- 181086	4950±40	4970±40	5860-5830 3910-3880
MIR 9	Semilla	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta- 220912	5050±40	5090±40	5920-5730 3970-3780
MIR 11	Carbón	<i>Quercus sp. Perennifolio</i>	Beta- 181087	5340±50	5360±50	6280-6000 4330-4040
MIR 13	Semilla	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta- 208131	5420±40	5470±40	6310-6190 4360-4240
MIR 14	Semilla	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta- 220913	5470±40	5480±40	6320-6200 4360- 4250
MIR 16	Carbón	<i>Quercus sp.</i>	Beta- 181088	5700±70	5700±70	6660-6320 4710-4360
MIR 18	Semilla	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta- 208132	6090±40	6120±40	7160-7110 7100-6880 5210-5160 5150-4930
MIR 19	Carbón	<i>Quercus sp. Caducifolio</i>	Beta- 182040	6130±50	6130±50	7180-6870 5230-4920
MIR 20	Semilla	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta- 197384	6070±50	6100±50	7160-7110 7100-6800 5210-5160 5150-4850
MIR 21	Carbón	<i>Quercus sp.</i>	Beta- 197385	6350±40	6380±40	7410-7250 5460-5300
MIR 22	Semilla	<i>Triticum aestivum/durum</i>	Beta- 208133	6110±40	6150±40	7180-6900 5230-4950
MIR 23	Semilla	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta- 208134	6300±50	6320±50	7320-7170 5370-5220
MIR 24	Semilla	<i>Triticum dicoccum</i>	Beta- 220914	6080±40	6110±40	7160-7120 7030-6870 5210-5170 5080-4920
	Carbón	<i>Pinus tipo sylvestris</i>	Beta- 197386	7030±40	7060±40	7960-7800 6000-5840

Tabla 5. Relación de fechas radiocarbónicas de la cueva del Mirador (modificado de Vergès et al., 2008)

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

Existe una extensa bibliografía en torno a la formación y características de los microrrestos que analizamos en este trabajo, especialmente en relación con los fitolitos. Este apartado constituye una recopilación de la información fundamental relacionada con estas cuestiones, cuyo objetivo principal es el de caracterizar estos microrrestos y mostrar sus aplicaciones en el plano arqueológico.

3.1 Los fitolitos: qué son y cómo se forman.

Las plantas producen diferentes tipos de biomineralizaciones en el interior de su estructura celular (He et al., 2014). Los más comunes son los fitolitos de sílice y los cristales de oxalato de calcio.

La formación de los fitolitos de sílice se produce cuando el ácido monosilícico (H_4SiO_4) presente en el suelo es absorbido por las plantas junto con el agua y transportado hasta las partes aéreas de las mismas rellenando su estructura celular donde, por un proceso de polimerización, finalmente se silicifica (Piperno, 1988, 2006). La deposición de la sílice puede producirse en 1) las paredes celulares, 2) el lumen de la célula 3) o bien en espacios intracelulares. A su vez, este proceso puede producirse en el tejido epidérmico, de manera más abundante, o en el mesófilo, en función de la filiación genética que tenga la planta (Piperno, 2006). En suma, los fitolitos reproducen la estructura celular de las plantas donde se han formado, de manera que pueden proporcionar importante información taxonómica y anatómica en torno a las plantas en las que se formaron. Además, su composición mineralógica (sílice opalina), hace que sean altamente resistentes al paso del tiempo pudiendo conservarse en depósitos de varios millones de años (Piperno, 2006; Strömberg, 2004).

Esta composición opalina de los fitolitos, amorfa en su estructura atómica, hace que a nivel óptico sean isotrópicos (Piperno, 2006). Su color es transparente, aunque dependiendo del sedimento de donde se extraigan pueden adoptar tonalidades parduzcas, en función de los minerales de que se componga dicho sedimento. Además, en aquellos conjuntos que han sufrido la acción del fuego, los fitolitos pueden presentar una coloración oscura (Parr, 2006; Weiner et al., 2020).

Si bien la sílice es un mineral abundante en el organismo de algunas plantas, llegando a constituir hasta un 10% del mismo (Epstein, 1994), no todas las plantas son productoras de fitolitos. Esta producción está determinada por factores tanto exógenos como endógenos. Los factores exógenos son de tipo medioambiental y están relacionados con el suelo donde crece la planta, el clima de la región donde ésta se desarrolla, así como con la disponibilidad de agua y de ácido monosilícico en el suelo.

No obstante, los elementos más importantes que determinan la producción de fitolitos en las plantas son endógenos y tienen que ver con la edad de la planta, pero, sobre todo, con factores de tipo genético (Piperno, 2006; Tsartsidou et al., 2007). Así, hay grupos de plantas que producen gran cantidad de fitolitos, otras que lo hacen en menor número, mientras que hay grupos que no los generan. Es importante señalar que, independientemente de las condiciones climáticas, edáficas o pluviométricas (factores exógenos) las especies que genéticamente no están diseñadas para producir fitolitos no lo harán, y viceversa. En general tanto en angiospermas, como en gimnospermas y en pteridofitos hay taxones que generan fitolitos, si bien es cierto que el valor taxonómico de los morfotipos producidos varía (unos son más diagnósticos que otros) dentro de cada grupo taxonómico (Carnelli et al., 2001; 2004; Piperno, 2006).

Al mismo tiempo, encontramos diferencias en la producción de fitolitos a nivel cuantitativo, incluso dentro de la misma familia hay plantas que producen mayor número de fitolitos que otras. Además, estas diferencias pueden depender de la parte de la planta, por ejemplo, en el caso de las gramíneas las inflorescencias producen más fitolitos que las hojas/tallos (Tsartsidou et al., 2007). En consecuencia, hay especies que están infrarrepresentadas en los registros fitolitológicos.

Para mejor conocer cuál es la producción y morfología de los fitolitos en las diferentes plantas es imprescindible desarrollar estudios de plantas modernas (colecciones de referencia) que analicen los datos desde un punto de vista tanto

morfológico como cuantitativo, de tal modo que sea posible evaluar la aportación de cada planta al registro sedimentario o arqueológico para poder realizar una reconstrucción paleoambiental o arqueológica mucho más ajustada (Albert y Weiner, 2001; Tsartsidou et al., 2007).

Por ejemplo, el grupo de las monocotiledóneas, donde se engloba la familia de las Poaceae a las que pertenecen los principales cultivos de cereales domésticos (trigo, cebada, avena, mijo, etc.), son grandes productores de fitolitos. Este factor unido a la importancia económica de alguna de las especies de esta familia, han estimulado la gran proliferación de estudios en torno a plantas monocotiledóneas en general y Poaceae en particular, que detallaremos en el apartado 3.1.3 (Ball et al., 1993, 1996, 1999, 2009; Brown, 1984; Kaplan et al., 1992; Mulholland y Rapp, 1992; Ollendorf, 1992; Rosen, 1992; Rosen y Weiner, 1994; Twiss et al., 1969; Twiss, 1992). Por su parte, estudios realizados en el Levante mediterráneo establecieron que el tronco/corteza de las plantas dicotiledóneas producen aproximadamente 20 veces menos fitolitos que las monocotiledóneas en esta zona. Del mismo modo, dentro de las dicotiledóneas las hojas son las que producen un mayor número de fitolitos, aunque 16 veces menos que las Poaceae (Albert, 1999; Albert y Weiner, 2001) aunque estos suelen tener una peor preservación en los depósitos (Albert y Weiner, 2001; Tsartsidou et al., 2007).

3.1.2 Preservación

Una vez la materia orgánica de la planta desaparece (por descomposición, incineración, ingestión, etc.), los fitolitos quedan liberados y pueden encontrarse formando parte del sedimento, de la ceniza, de restos de defecación, o de cualquier lugar donde se hubiera depositado la planta. Una vez depositados, los fitolitos son susceptibles de sufrir alteraciones debido a procesos postdeposicionales que pueden llegar a disolverlos y su preservación dependerá del contexto en el que se encuentren. En consecuencia, un conjunto alterado donde una parte de los fitolitos ha desaparecido del registro puede darnos una visión sesgada de la realidad, de manera que las conclusiones extraídas sean erróneas. Por ello, resulta

imprescindible comprender los factores postdeposicionales que pueden alterar un conjunto fitolitológico.

Al mismo tiempo, sus probabilidades de preservación deben relacionarse con las propias condiciones de preservación de la sílice. En este sentido, el pH es determinante para su preservación y conservación. Los pH básicos (superiores a 8.5) conforman entornos agresivos para la sílice y por lo tanto para los fitolitos, llegando a hacerlos desaparecer del registro (Albert et al., 2006; Cabanes et al., 2011a; Cabanes y Shahack-Gross, 2015; Karkanis et al., 2000; Piperno, 2006); mientras que los entornos neutros o ligeramente ácidos son más beneficiosos para su conservación. En términos generales, los mayores problemas de conservación se presentan en contextos en los que confluyen una alta concentración de calcita y flujos de agua, puesto que la calcita al entrar en contacto con agua eleva los niveles de pH afectando a la conservación de la sílice (Weiner, 2010). En cuevas donde las propias dinámicas geológicas actúan de forma diferente dependiendo de la zona de la cavidad, puede suceder que exista una preservación diferencial de los fitolitos en función del área de donde se extraiga el sedimento a analizar (Albert y Marean, 2012). En consecuencia, es importante conocer la composición mineralógica de los sedimentos, así como los modos de formación de los depósitos, ya que nos aporta información en torno a los procesos que han actuado sobre los restos contenidos en el depósito. Para lograr tal fin los análisis de espectrometría de infrarrojos por derivada de Fourier (FTIR) se han revelado como una herramienta fundamental (Albert et al., 1999, Albert, 2000; Cabanes, 2009; Weiner, 2010). Este tipo de analíticas permiten generar, en muy poco tiempo y con un bajo coste, un difractograma con la caracterización mineralógica de la muestra seleccionada. Pero lo fundamental de estos análisis es que, a diferencia de otras técnicas, son capaces de detectar minerales amorfos, entre los cuales se encuentran los fitolitos de sílice.

No solo la estabilidad del depósito es una cuestión capital en la preservación y/o conservación de un conjunto de fitolitos, sino que el grado de silicificación de la planta y la morfología del fitolito también intervienen en este aspecto. En lo

referente al primer factor, parece evidente que cuanto mayor haya sido el proceso de silicificación dentro de la estructura celular, ya sea por la disponibilidad de agua o por factores genéticos, mayor oposición a la disolución presentará (Albert et al., 2006; Piperno, 2006; Cabanes et al., 2011a). Al mismo tiempo hay morfologías que son más estables que otras en función de su decoración o forma (Albert y Weiner, 2001; Cabanes et al. 2011a; Cabanes y Shahack-Gross, 2015). Así, gracias a la presencia o ausencia de determinados morfotipos puede evaluarse el estado de preservación de un conjunto.

Un elemento clave para tener en cuenta con relación a la conservación de objetos y/o artefactos arqueológicos o elementos orgánicos en un determinado yacimiento (especialmente si nos referimos a otros elementos bióticos como semillas y carbones) es si estos han sido sometidos o no a la acción del fuego, así como la virulencia de éste. En lo que respecta a la sílice, su punto de fusión es muy alto y está establecido entre 850°C y 1000°C (Canti, 2003; Piperno, 2006; Weiner et al., 2020) por lo que son altamente resistentes a fuegos que alcanzan altas temperaturas. Por ello los fitolitos pueden aportar información en torno a los usos del fuego (Albert y Cabanes, 2008; Weiner et al., 2020). A pesar de su gran resistencia a las altas temperaturas, en ocasiones se detecta la presencia de fitolitos derretidos, los cuales presentan una coloración muy oscura y burbujas en su superficie (Weiner et al., 2020). En casos muy extremos, se han llegado a identificar escorias de sílice producto de temperaturas superiores a los 900°C (Gur-Arieh et al. 2013; 2014; Weiner et al., 2020).

Por último, también hay procesos de alteración de tipo mecánico que, en algunos casos, pueden estar íntimamente relacionados con el procesado vegetal para la obtención de harinas. Estos procesos tienen como consecuencia principal la disgregación de fitolitos en conexión anatómica y la fragmentación de los morfotipos (Albert y Portillo, 2005; Portillo, 2006; Portillo et al. 2013).

También existen otros factores como las bioturbaciones que tienen como consecuencia la traslocación de los fitolitos de su posición original, de tal manera

que el punto de donde se han obtenido no es el lugar de deposición original (Madella y Lancelotti, 2012).

3.1.3 Estado de la cuestión de las investigaciones de fitolitos

Aunque la primera persona en dar cuenta, en 1835, de la existencia de silicificaciones en plantas vivas fue el botánico alemán Struve (Struve, 1835), quien es considerado como padre de los estudios de fitolitos, es el naturalista alemán Ehrenberg, quien recibió de Darwin una muestra de polvo sahariano adherido a las velas del *Beagle* en 1845. Ehrenberg detectó la presencia de microorganismos y estructuras celulares de plantas silicificadas a los que denominó de manera general como *infusoria* y que más tarde matizaría dejando este término para designar a los microorganismos y acuñando el término *phytolitharia* para los fitolitos. El alemán publicó en 1854 su obra *Mikrogeologie* en la cual establece la primera clasificación de estos microrrestos (Ehrenberg, 1854) y sienta las bases del análisis de fitolitos en Alemania. El trabajo de Ehrenberg fue continuado por botánicos y naturalistas de la época, entre los que destacan Grob y Grunz, quienes durante el último cuarto del siglo XIX dieron un fuerte impulso a las investigaciones sobre los fitolitos desde el prisma de la botánica, centrándose en la anatomía celular y las diferencias entre plantas de unas regiones y otras (Grob, 1896).

El comienzo de la II Guerra Mundial pone freno a esta escuela germana, trasladándose el foco hacia Rusia, donde las investigaciones se centran en los fitolitos procedentes de contextos edáficos. Esta línea de investigación seguirá siendo explorada por parte de científicos de la Europa occidental y Estados Unidos en la década de los 50 (Powers, 1992). Durante el período posterior a la II Guerra Mundial se produjeron grandes avances en lo referente a la anatomía celular, destacando los trabajos de Blackman, Metcalfe y Twiss. Este último resulta crucial pues establece los criterios para discriminar entre tres subfamilias de gramíneas: cloridoides, panicoides y pooideas (Blackman, 1971; Blackman y Parry, 1968; Metcalfe, 1960; Twiss, 1969).

En 1971 Rovner publica un artículo en el que pone de manifiesto la potencialidad de los estudios de fitolitos para la reconstrucción paleoambiental y arqueológica (Rovner, 1971). En 1988 se publica la síntesis de Piperno (*Phytoliths analyses: an archaeological and geological perspective*) en la cual se pone en orden toda la información que se había acumulado durante las décadas anteriores. Esta síntesis aún los datos referentes no solo a la formación y desarrollo de los fitolitos en sí, sino que también aborda los trabajos desarrollados tanto en fitolitos de plantas actuales como en fitolitos, así como sus aplicaciones en los campos de la paleobotánica o la Arqueología (Piperno, 2006). Para una información más detallada ver (Powers, 1992; Brochier, 1999; Hoyas et al., 1990; Piperno, 2006).

A partir de la publicación de Piperno (1988) se aprecia un gran impulso en los estudios de fitolitos en sus tres líneas de investigación fundamentales: botánica, paleobotánica y arqueobotánica. Estos adelantos se materializan no solo en la publicación de monografías específicas (Rapp y Mulholland, 1992; Pearsall y Piperno, 1993), sino también en las sucesivas reuniones de especialistas que se congregan bianualmente, a través del *International Phytolith Society*, desde 1996 en los denominados International Meeting for Phytolith Research (IMPR). En estas reuniones se aborda el estudio de los fitolitos desde un punto de vista transversal, atendiendo a los avances metodológicos, de clasificación, morfométricos etc.

La identificación de los fitolitos en las plantas, como muchas otras disciplinas arqueológicas, necesita de la realización de una colección de plantas modernas de referencia, que nos permitan identificar en este caso, el tipo y cantidad de fitolitos producidos en cada planta y parte de la planta. A partir de esta identificación se desarrollan los sistemas de clasificación que permiten catalogar y encontrar un idioma común, a partir de la atribución de un nombre, donde se definan las características principales y que permitan establecer una lengua común entre todos los investigadores. Actualmente, uno de los puntos de debate más importantes gira en torno a la necesidad de desarrollar un sistema de nomenclatura y clasificación universal (ICPN 2.0 - Neumann et al., 2019). A pesar de la publicación de diferentes sistemas de clasificación y nomenclatura, no existía un consenso en

suutilización de manera que cada investigador empleaba una terminología diferente para un mismo morfotipo (Albert, 1995; Albert, 1999; Runge, 1999; Bozarth, 1992; Pearsall y Dinan, 1992; Twiss, 1992; Brown, 1984; Strömberg, 2004). Por ello se crea en el año 2000 el *International Working Group on Phytolith Nomenclature* (IWGPN) con el fin de crear un lenguaje común para nominar a los fitolitos que facilitará la comunicación entre los científicos. Fruto de este trabajo es la creación del *International Code for Phytolith Nomenclature* (ICPN) (Madella et al. 2005) el cual establece un sistema de nomenclatura con base en aspectos de (1) forma, (2) textura y/o decoración y (3) origen anatómico, siendo estos tres caracteres acumulativos. Aunque hay un consenso en el uso de esta herramienta se sigue trabajando en su perfeccionamiento, y en el 2014 surge el *International Committee for Phytolith Taxonomy*, para dar continuidad y ampliar el actual ICPN. Resultado de este trabajo es el *International Code for Phytolith Nomenclature* (ICPN) 2.0 (Neumann et al., 2019). En este nuevo trabajo se profundiza en la descripción, y adscripción de los fitolitos y se amplía la nomenclatura, convirtiéndose en una herramienta de trabajo fundamental para los investigadores en este campo.

Otra herramienta empleada en la investigación de los fitolitos en los últimos años es el de la morfometría. A partir de la aplicación de análisis morfométricos se pretende mejorar la identificación a nivel taxonómico y de especies entre fitolitos con características morfológicas similares. Los análisis morfométricos se iniciaron durante la década de los 90, por Ball, y estaban dirigidos a permitir la diferenciación entre especie de trigos y cebadas (Ball et al., 1993, 1996, 1999, 2001, 2009, 2015). En estos trabajos se establecen los criterios para discriminar entre diferentes especies de trigos cultivados a partir de ciertos morfotipos producidos en las inflorescencias de estas plantas, especialmente útiles en este sentido son los ELONGATE DENDRITIC y PAPILLATE. Siguiendo las bases propuestas por Ball, y a lo largo de los últimos años, se han realizado, entre otros, estudios dirigidos a discriminar entre *Avena sativa* y *A. strigosa* (Portillo et al. 2006); *Panicum miliaceum* y *Setaria Italica* (Out et al., 2014; Out y Madella,

2016); arroz silvestre y arroz cultivado (Pearsall et al., 1995; Zhao et al., 1998); e incluso palmáceas (Albert et al., 2009). La proliferación de los estudios en este sentido hace que en 2011 se configure un comité que trabaja para estandarizar los materiales y métodos utilizados, de tal manera que se puedan extrapolar los estudios a nivel global: *International Commitee for Phytolith Morphometrics* (ICPM) (Ball et al., 2015).

En cuanto a los estudios cuantitativos, Albert et al. (1999) establecieron la metodología que permite cuantificar la cantidad de fitolitos producidos por diferentes taxones y partes de la planta. De esta manera es posible calcular las cantidades de fitolitos que aporta cada planta al substrato y poder realizar una interpretación más aproximada del registro arqueológico, paleoambiental etc. (Albert y Weiner, 2001; Tsartsidou et al., 2007).

La proliferación de colecciones de referencia de plantas modernas hace necesario que se creen medios rápidos y de gran alcance para su difusión. El formato libro era el más utilizado hasta hace unos años, sin embargo, el desarrollo de herramientas vinculadas con internet favorece que la información se extienda mucho más rápidamente a un coste relativamente bajo y sea mucho más accesible (Albert et al., 2016). En este sentido, Albert et al. (2016) están desarrollando un catálogo online (PhytCore: www.phytcore.org) en el que se pone a disposición de toda la comunidad científica no solo colecciones de referencia de plantas modernas, sino también información recogida de suelos modernos, muestras arqueológicas y paleosuelos. De esta manera, mediante esta herramienta cualquier investigador del mundo puede acceder a una información que le ayude a la identificación e interpretación de sus propias muestras (Albert et al., 2016).

En lo que respecta a nuestro país, las investigaciones en este campo comienzan hacia principios de la década de los 90 con un proyecto desarrollado desde el Laboratorio de Paleoecología del Museo Arqueológico de Barcelona, enfocado al estudio de fitolitos, así como de oxalatos de calcio (Hoyas et al., 1990). Sin embargo, no es hasta mediados de esta década cuando este tipo de estudios

comienza a hacerse más visible gracias a la celebración en Madrid del primer IMPR (*International Meeting for Phytoliths Research*), organizado en 1996 por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Este primer congreso internacional coincide además con la publicación en España de los primeros trabajos en este campo (Albert, 1995; Albert et al., 1996; 1997; Juan-Tresseras y Lalueza, 1993; Juan-Tresseras y Albert, 1995; Pinilla et al., 1997; Pinilla y Bustillo, 1997).

En la actualidad en España existen tres laboratorios donde los estudios de fitolitos juegan un papel principal y los tres se hallan ubicados en Barcelona. El trabajo desarrollado desde estos laboratorios ha logrado que Barcelona se consagre como uno de los centros de estudio más importantes, con una inestimable aportación a la comunidad científica internacional.

3.1.4 Aplicaciones.

Los fitolitos tienen gran cantidad de aplicaciones en las ciencias de la Tierra, la Biología, la Arqueología, etc. En el marco que nos ocupa, el de la Arqueología, los fitolitos tradicionalmente se han aplicado en dos planos principalmente: el arqueológico y el paleoecológico. Los análisis de fitolitos en contextos paleoecológicos no solo se centran en el período Cuaternario, sino que también puede emplearse en períodos geológicos anteriores, permitiendo caracterizar el entorno ecológico de un lugar concreto, así como su evolución paleoclimática y vegetal (Strömberg, 2004, 2011; Strömbreg et al., 2007). De la misma manera, la gran cantidad de información paleoambiental producida por análisis fitolitológicos hace que proliferen los trabajos en períodos plio-pleistocenos del continente africano, concretamente en los contextos en los que se desarrollaron los primeros homínidos, de manera que es posible contextualizarlos en su ambiente ecológico y acercarse a su comportamiento a través de los recursos bióticos de los que disponían (Alexandre et al., 1997; Albert et al., 2006, 2009, 2015; Albert y Bamford, 2012; Barboni et al., 1999, 2007, 2010; Bremond et al., 2005a, 2005b,

2008; Ashley et al. 2010a, 2010b; Cordova, 2011; 2012; Cordova y Scott, 2010; Neumann et al., 2017).

Al mismo tiempo, durante los últimos años ha habido un creciente interés por mejorar el conocimiento sobre el paleopaisaje y su evolución a partir de la composición isotópica de los fitolitos. No obstante, las investigaciones en este sentido están todavía en fase de desarrollo (Shahack-Gross et al. 1996; Webb y Longstaffe, 2000; 2002; 2006; Crespin et al., 2008).

Por otro lado, son diversas las aplicaciones de fitolitos dentro del plano puramente arqueológico que es el que concierne a este trabajo, por lo que nos detendremos más en las posibilidades de los estudios de fitolitos en este ámbito. Los análisis de fitolitos en contextos arqueológicos pasan no solo por los tradicionales análisis de suelos y sedimentos, sino también por la posibilidad de muestrear artefactos cerámicos y líticos, artefactos de molienda, así como el esmalte dentario procedente de individuos y animales, permitiendo además identificar la parte o partes de la planta presentes en el registro. Los recipientes cerámicos proporcionarían información sobre las plantas o sus derivados que pudieran haber sido almacenadas (Albert y Portillo, 2005; Cabanes et al., 2011b; Petö et al., 2013; Saul et al., 2013), mientras que por su parte los artefactos de molienda arrojan datos sobre los vegetales procesados: si son o no productos cultivados y qué tipo de cereales u otros vegetales están siendo explotados (Albert y Portillo, 2005; Pearsall, et al., 2004; Portillo, 2006; Portillo y Albert, 2014; Portillo et al., 2013; Radomski y Neumann, 2011).

El análisis de fitolitos procedentes del cálculo dental, tanto de humanos como de animales, está tomando gran impulso a la luz de la proliferación de diversos trabajos en torno a la dieta prehistórica. Este tipo de estudios implica también el análisis almidones y el estudio de la microestriación dentaria (Estebaranz et al., 2014; Lalueza Fox et al., 1996; Gügel et al., 2001; Hardy et al., 2009; Henry y Piperno, 2008; Henry et al., 2011; Madella et al., 2014; Mainland, 2003; Middleton y Rovner, 1994; Rivals et al., 2014).

Gracias a su perdurabilidad y a la diversidad de sus aplicaciones, los fitolitos pueden aportar información arqueobotánica de contextos en los que no se dieron las condiciones de preservación necesarias para recuperar otros restos vegetales, como carbones y/o semillas. Así, los trabajos de fitolitos aplicados en contextos del Paleolítico están paliando un cierto vacío de información que existía en lo referente a la explotación vegetal por parte de las sociedades del Pleistoceno, especialmente cuando aquellas no habían sido combustionadas. De este modo es posible identificar plantas que fueron usadas para diferentes propósitos: como parte de la dieta, como elementos para conformar los lechos dentro de los refugios etc. (Madella et al., 2002; Cabanes et al., 2010; Albert y Esteban, 2016). También, su aplicación al estudio de hogares permite detectar el combustible empleado, de modo que, aportan información en torno al uso de los recursos bióticos, así como a la funcionalidad de los fuegos y las estrategias de subsistencia (Albert y Cabanes, 2008; Albert y Marean, 2012; Albert et al., 1999, 2000, 2003, 2012; Elbaum et al., 2003; Esteban et al., 2015; Madella et al. 2002; Rosen, 2003; Rodríguez-Cintas y Cabanes, 2015).

Por otro lado, la aplicación de los análisis de fitolitos ha demostrado ser una gran fuente de información en contextos más recientes, que tienen que ver con las primeras sociedades productoras y el inicio de la economía de producción, así como su difusión y evolución a lo largo del tiempo. De acuerdo con Ball et al. (2016), en el estudio de las primeras sociedades productoras el análisis de fitolitos puede desempeñar diferentes roles, pudiendo ser: 1) el único elemento que determina la presencia de cultivos; 2) un marcador complementario a otro(s); 3) un identificador capaz de llegar a niveles taxonómicos más precisos, 4) elemento identificador de la presencia de cultivos y su impacto medioambiental y, por último; 5) marcadores de la expansión de cultivos. Geográficamente, pueden detectarse tres grandes focos de actuación: el continente americano, Asia y la cuenca mediterránea, especialmente Oriente Próximo. Esta diferenciación geográfica hace que los esfuerzos estén enfocados en estudiar los fitolitos producidos por las plantas económicamente más representativas de cada zona. De

este modo en el continente americano el maíz y la cucúrbita son objeto de gran atención por parte de los investigadores (Grobman et al., 2012; Pearsall et al., 2003; Piperno, 1984a, 1984b, 2009; Russ y Rovner, 1989; Sanjur et al., 2002); mientras que para el continente asiático los mijos y arroces tienen mayor tradición en la investigación (Harvey y Fuller, 2005; Lu et al., 2009; Madella et al. 2013; Out et al., 2014; Out y Madella, 2016; Wang et al., 2014; Xinxin y Houyuan, 2011; Zhang et al., 2011, 2012); al tiempo que en la cuenca mediterránea los trigos y cebadas poseen gran peso en los estudios (Albert et al., 2008; Ball et al., 1993, 1996, 1999, 2009; Portillo et al. 2014; Rosen, 1992; Rosen y Weiner, 1994). Además, gracias a la información sobre la procedencia anatómica de la planta que aportan los fitolitos, es posible reconstruir las prácticas de procesado de los cultivos (Lancelotti y Madella, 2012; Harvey y Fuller, 2005).

Por último, cabe destacar los últimos avances producidos en el área de las dataciones radiométricas. Durante su proceso de formación, los fitolitos pueden ocluir en su interior restos de materia orgánica susceptible de ser utilizada para dataciones radiocarbónicas. En este sentido se han realizado en los últimos años, diferentes trabajos al respecto, aunque con resultados contradictorios por lo que existen dos corrientes opuestas, una que defiende la validez de estos trabajos (Boaretto, 2007, 2009; Piperno, 2006, 2015; Asscher et al., 2017; Zuo et al., 2017), mientras que, por el contrario, hay especialistas que la rechazan la utilización de fitolitos para realizar dataciones de C^{14} (Alexandre et al., 2015; Santos et al. 2010, 2012). Lo controvertido de los datos obtenidos a través de esta técnica puede deberse a que el corpus metodológico está todavía en fase de desarrollo, por lo que no se puede rechazar la validez de la datación a través de fitolitos (Piperno, 2015).

3.1.2 Fitolitos fecales

El análisis de fitolitos en contextos de economías productivas no solo se ciñe a la agricultura, sino que también se pueden realizar inferencias en torno a actividades relacionadas con la ganadería a través del análisis de los restos fecales de animales. A partir de los datos recuperados es posible además establecer puentes de unión

entre prácticas agrarias y pecuarias, convirtiéndose los fitolitos en un vínculo de unión entre la zooarqueología y la arqueobotánica (Shahack-Gross, 2011), siendo hoy en día una línea de investigación de gran relevancia. Nos parece interesante centrarnos algo más detenidamente en la aplicación de los fitolitos a contextos que contengan restos excrementales, dado que es el objeto fundamental de este trabajo.

Aunque la materia orgánica es el principal componente del estiércol también hay un porcentaje mineral en su composición (Shahack-Gross, 2011) que tiene mayor perdurabilidad por lo que se puede detectar con mayor facilidad en el registro arqueológico. Los fitolitos son uno de esos elementos minerales que componen el estiércol ya que son resistentes también a procesos predeposicionales, en este caso aquellos que tienen que ver con la ingesta, desde la masticación y la digestión hasta la secreción. Así, los fitolitos que se detectan en las heces no sufren apenas alteraciones desde el momento de la rumia ni durante su tránsito por el aparato digestivo, dada su naturaleza ácida (Albert, 2003); al mismo tiempo, que las grandes cantidades de material defecado genera estratos ricos en fitolitos (Albert et al., 2008). Es más, algunos estudios sugieren que incluso es posible, en ciertos casos, llegar a distinguir a través del registro fitolitológico del estiércol qué tipos de animales están presentes (Powers et al., 1989; Tsartsidou et al., 2008).

Pese a proporcionar gran cantidad de información en torno a las actividades pecuarias, resulta fundamental combinar estos análisis con el estudio de esferolitos ya que los fitolitos no son indicativos de la presencia de excrementos *per se*, mientras que los esferolitos constituyen un marcador inequívoco de su presencia. Por ello, en la actualidad, la combinación de ambos análisis se presenta imprescindible para identificar la presencia de zonas de estabulación en los primeros yacimientos urbanos de la cuenca mediterránea (en especial los yacimientos del Oriente Próximo); o evidenciar prácticas pastoriles en lugares al aire libre, donde este tipo de actividades dejan pocos indicios arqueológicos (Albert et al., 2008; Albert y Henry, 2004; Kadowaki et al., 2015; Portillo y Albert, 2011, 2014; Portillo et al., 2010, 2012, 2014; Shahack-Gross et al., 2003, 2004).

3.2 Microrrestos calcíticos

3.2.1 Esferolitos fecales

Los esferolitos fecales son agregaciones de carbonato cálcico que se generan en el aparato digestivo de algunos animales, fundamentalmente herbívoros rumiantes (oveja, cabra y vaca) (Brochier et al., 1992; Canti; 1997; 1998; 1999; Portillo et al., 2012; 2014). En los esferolitos el carbonato cálcico tiene un patrón de cristalización radial, adoptando una morfología externa subsférica de entre 5 y 15 micras de tamaño. Su detección al microscopio se realiza bajo luz polarizada, que permite ver su cruz de extinción característica (Canti, 1997, 1998, 1999). Se desconocen el motivo y el proceso por los que se forman estos microrrestos, ni tampoco cuál es su verdadera función (si es que la tuvieran), por lo que la información que proporcionan se limita a la de marcador de la presencia de estiércol.

Para su preservación, los esferolitos necesitan de un entorno neutro-alcalino puesto que los pH ácidos perjudican su preservación llegando incluso a disolverlos. Al mismo tiempo su ingesta por parte de lumbrícidos (bioturbaciones) también puede hacer que desaparezcan del registro sedimentario (Canti, 1999). En lo que respecta a la acción del fuego, Shahack-Gross (2011) apunta a que los esferolitos tienden a disolverse a temperaturas entre los 650°C y los 700°C. Asimismo, Gur-Arieh et al. (2013) establecen que la temperatura máxima a la que pueden preservarse es de 700°C. En cualquier caso, estos datos no hacen sino indicar que los esferolitos fecales tienen gran resistencia a la acción del fuego, a lo que hay que sumarle que estas temperaturas se alcanzan bajo condiciones muy específicas, por lo que no es extraño encontrarlos en contextos combustionados.

Tradicionalmente los esferolitos han sido estudiados desde el campo de la micromorfología (Brochier, 1983; Brochier et al., 1992; Macphail et al., 1997). No obstante, a lo largo de las últimas décadas se han creado criterios de cuantificación bajo microscopio óptico, lo cual permite esclarecer cuál es el aporte que tienen

estos microrrestos calcíticos en los sedimentos (Canti, 1999; Gur-Arieh et al., 2013, 2014). La posibilidad de realizar un análisis cuantitativo de esferolitos permite comparar su estudio con el de otros microrrestos como fitolitos o pseudomorfos de calcita de tal manera que se establezcan relaciones entre ellos. Por el contrario, a nivel morfológico no se encuentran diferencias que permitan utilizar a los esferolitos fecales como indicadores de la presencia de un tipo de ganado específico (Canti, 1999; Portillo, 2014).

En el plano arqueológico, la utilidad de los esferolitos va más allá de la detección de prácticas pecuarias en un yacimiento, así como de las áreas del yacimiento donde se han desarrollado (Portillo et al., 2014; 2019), de modo que son abundantes los trabajos en los que se realizan este tipo de análisis. En este sentido, el estiércol es ampliamente utilizado como material constructivo, por lo que es posible encontrar esferolitos en ladrillos y otros elementos constructivos (Berna, 2017; Ghur-Arieh et al., 2018). Al mismo tiempo, el poder calorífico del estiércol hace que las sociedades preindustriales lo utilicen como combustible (Ghur-Arieh et al., 2013; 2014; Portillo et al., 2017). De este modo, los estudios de esferolitos ponen de relieve, no solo el desarrollo de prácticas ganaderas, sino también la gestión del estiércol por parte de las sociedades del pasado.

3.2.2 Oxalatos de calcio y pseudomorfos de calcita.

Al contrario que con los fitolitos, los cristales de oxalato de calcio no han recibido el mismo interés por parte de la comunidad científica, debido posiblemente a su (aparentemente) bajo valor taxonómico y su mala conservación en depósitos arqueológicos (Brochier y Thinon, 2003; Canti, 2003; Shahack-Gross, 2011). La producción de oxalatos está atestiguada en gran variedad de plantas, aunque son particularmente abundantes en angiospermas, siendo menos abundantes en monocotiledóneas y gimnospermas. Los oxalatos son producto de la síntesis del ácido oxálico con el carbono de la atmósfera ($C_2H_2O_4$) llevado a cabo por el metabolismo de la propia planta en una gran variedad de órganos y tejidos (frutos, raíces, corteza etc.) pudiendo estar presentes en dos estados diferentes:

monohidratados -whewellita- o dihidratados -weddellita- (Prychid y Rudall, 1999; Brochier y Thinon, 2003; Franceschi et al., 2005; Webb, 1999). Hay autores que sostienen que la producción de oxalatos tiene que ver con la sintetización, por parte del metabolismo de la planta, del calcio que produce el organismo vegetal como reacción a algún elemento tóxico (Hoyas et al., 1990). Sin embargo, su ubicuidad en numerosas familias de plantas hace pensar que más bien se produzcan mediante un mecanismo controlado, que podría ser un proceso análogo al del calcio producido en los huesos de animales y seres humanos (Franceschi y Nakata, 2005).

Los oxalatos de calcio pueden presentar morfologías y tamaños diversos en función de la célula que los haya sintetizado y la cantidad de calcio disponible (Franceschi y Nakata, 2005). Así las morfologías más habituales son: romboedros, prismas y drusas en plantas dicotiledóneas; y rafidias, producidas principalmente por monocotiledóneas (Webb, 1999). Lamentablemente, todavía no disponemos de una colección de referencia sólida que, a través de la comparativa con el material vegetal actual (Albert et al., 2016), nos permita clasificar y adscribir taxonómica y/o anatómicamente los morfotipos de oxalatos de calcio producidos por las plantas. La mayoría de las plantas dicotiledóneas producen gran cantidad de oxalatos de calcio en gran parte de sus tejidos y órganos (Franceschi y Horner, 1980; Franceschi y Nakata, 2005). Aun así, su preservación en los sedimentos arqueológicos es más delicada que la de los fitolitos de sílice, puesto que hay determinadas bacterias que se alimentan de ellos (Shahack-Gross, 2011).

Sin embargo, y tras haber sido sometidos a la acción del fuego, a temperaturas entre 450°C y 500°C, los cristales de oxalato cálcico se transforman a una fase mucho más estable, conservando su morfología original, y pasando a denominarse pseudomorfos de calcita (Brochier y Thinon, 2003). Una vez combustionados y transformados en calcita, estos microrrestos presentan una mayor resistencia al paso del tiempo y a los procesos postdeposicionales. Los pseudomorfos de calcita son uno de los componentes principales de las cenizas de origen leñoso (Canti, 2003; Gur-Arieh et al., 2013, 2014; Shahack-Gross y Aylon, 2013; Toffolo y Boaretto, 2014) y su presencia en el sedimento es indicativa de la presencia de

cenizas derivadas de la combustión de material leñoso. Al igual que ocurre con los esferolitos, los pseudomorfos de calcita tienden a disolverse en ambientes ácidos o a temperaturas superiores a los 700°C (Gur-Arieh et al., 2014).

A pesar de la utilidad de los pseudomorfos de calcita, a nivel arqueológico la literatura especializada no es tan amplia. Los trabajos que estudian este tipo de microrrestos comienzan a proliferar durante esta última década, enfocados sobre todo al estudio de hornos preindustriales (Gur-Arieh et al., 2013; 2014; Portillo et al., 2016).

CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Dado el contexto pirogénico en el que nos encontramos, evaluar el efecto de la acción del fuego sobre los microrrestos calcíticos, así como silíceos supone el primer paso para entender el estado de preservación del registro arqueológico en contextos de quema. Para ello hemos dividido el estudio que presentamos en dos partes, un estudio experimental y uno arqueológico.

En el estudio experimental, analizamos estiércol moderno de oveja, así como de hojas y ramas de *Quercus* sp. Ambos tipos de restos se sometieron a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro y ocho horas con el fin de identificar si, en una diferencia de tiempo mínima se pueden detectar cambios en los microrrestos presentes dentro del estiércol (fitolitos, esferolitos) y del *Quercus* sp. (pseudomorfos de calcita).

La segunda parte de este trabajo integra todas las muestras recuperadas de los contextos arqueológicos y sus microrrestos objetos de estudio en este trabajo. Estas fueron recogidas de todos los niveles neolíticos de ambos yacimientos. En el caso del Mirador analizamos el Nivel MIR6 correspondiente al Neolítico final. También se recogieron muestras de control del entorno de los yacimientos. Las muestras de control que se recogen de entornos naturales sin aparente perturbación antrópica sirven para certificar que el aporte de fitolitos al registro arqueológico proviene de actividades antrópicas y no tiene que ver con la composición fitolitológica del sedimento circundante, por ello es importante tomar estas muestras de sedimentos procedentes del entorno de los depósitos (Piperno, 2006).

4.1.1 Materiales para la experimentación

El estiércol fue recogido de un corral del municipio de Barcina de los Montes, en la provincia de Burgos (Figura 8) a finales del mes de abril y principios del mes de junio de 2015. Hemos seleccionado el estiércol de oveja puesto que este animal, junto con la cabra, es el que más esferolitos produce (Canti, 1999; Portillo et al., 2014) además de ser un animal ampliamente explotado durante el Neolítico en la

zona de estudio. El ganado se alimenta, durante estas fechas, del pasto silvestre circundante al establo, no obstante, no disponemos de información botánica sobre el entorno de donde se alimentan estos animales.

Por su parte, los pseudomorfos de calcita fueron extraídos de ramas y hojas de *Quercus* sp. recolectada de la propia Sierra de Cantabria a finales del mes de abril de 2015. Hemos analizado las ramas y hojas puesto que entendemos que son más accesibles a la hora de recolectar el material a quemar, y por tanto los pastores se habrían servido más de estas partes de la planta. El *Quercus* sp. fue seleccionado debido a su gran presencia en el entorno de los yacimientos tanto de la Sierra de Cantabria como la de Atapuerca.

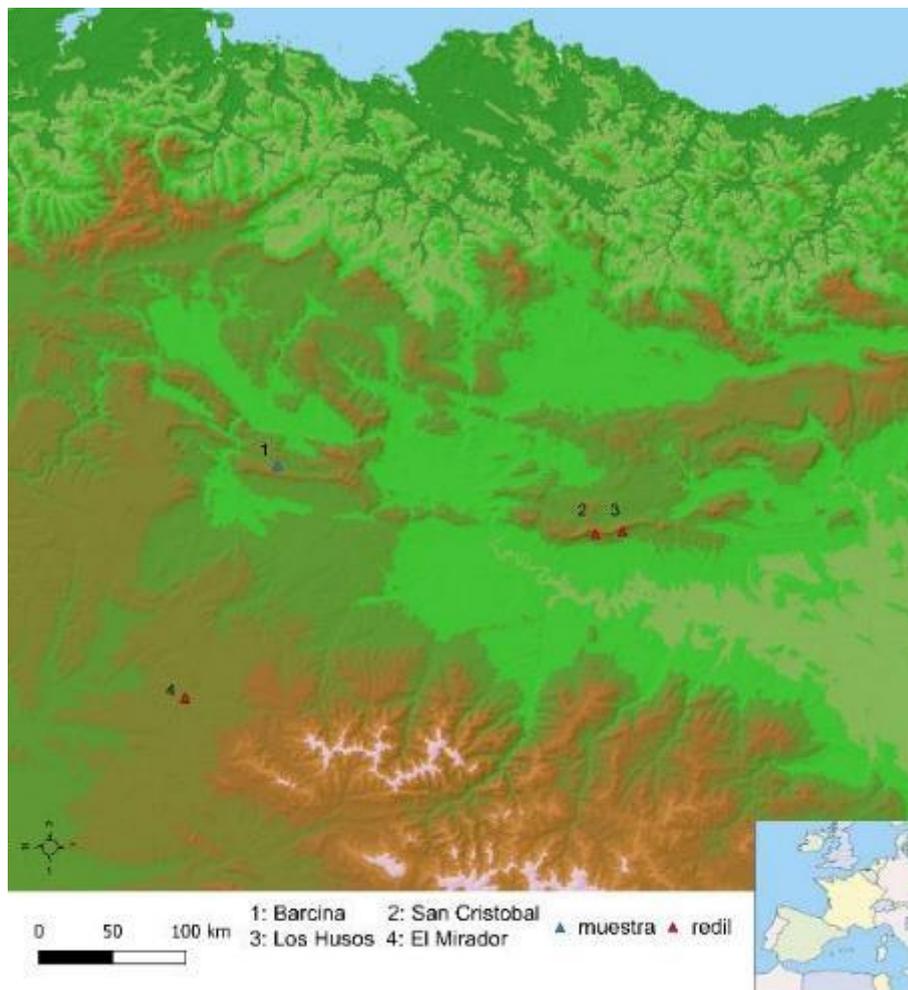


Figura 8. Mapa donde se localizan los yacimientos arqueológicos estudiados, así como el lugar donde se recogió el material fecal para la experimentación (cortesía de Maite García Rojas).

4.1.2 Muestras arqueológicas: estrategia de muestreo

Un total de 128 muestras arqueológicas y 6 muestras de control fueron recogidas en columna de los tres yacimientos de estudio, siguiendo el mismo procedimiento en todas ellas, limpiando el perfil primero y, a continuación, de abajo a arriba sistemáticamente se realizó la extracción del sedimento (Tabla 6). Cada una de las capas que componen la secuencia de redil fueron muestreadas y el sedimento fue introducido en bolsas limpias de cierre hermético o bien en tubos *eppendorf*, dependiendo del tamaño de la muestra.

Yacimiento	Área	Muestras arqueológicas	Muestras de control
San Cristóbal	Perfil oeste	20	2
	Perfil este	22	
Los Husos II	Perfil norte	27	3
	Perfil sur	37	
El Mirador	MIR6	22	1
Σ		128	6

Tabla 6. Lista del número de muestras arqueológicas y de control recogidas de los yacimientos estudiados.

En los casos tanto de San Cristóbal como de Los Husos II se muestrearon dos perfiles opuestos. En el primer caso, los perfiles Este (Figura 9) y Oeste (Figura 10) se muestrearon para determinar posibles diferencias en el uso del espacio en ambas zonas del yacimiento. Las muestras de control fueron recogidas en la zona boscosa del entorno del yacimiento, no lejos del mismo.

Por su parte los perfiles muestreados para Los Husos II fueron el Norte y el Sur. Las muestras del perfil Norte (Figura 11) fueron extraídas de la parte central del perfil, puesto que conformaba la secuencia mejor conservada. Por su parte, el perfil Sur (Figura 12) fue muestreado en su parte más oriental, ya que conservaba la secuencia de estabulación completa. Las tres muestras de control se recogieron en el entorno del yacimiento: una cercana a la excavación y otras dos en el bosque circundante.

En lo que respecta al Mirador (Figura 13), el sedimento se extrajo durante el desarrollo de las excavaciones a las que la autora no acudió, por lo que la recogida de muestras se realizó en el laboratorio de Arqueobotánica de la Universidad Rovira i Virgili (Tarragona). En cualquier caso, la estrategia de muestreo fue la misma que la utilizada por la autora: representar cada capa del perfil estratigráfico para su caracterización. Las muestras de control proceden del suelo moderno que se extiende frente al yacimiento.

Todas las muestras arqueológicas analizadas han sido tratadas de la misma manera de modo que se ha establecido una metodología homogénea para la totalidad del estudio y con el mismo instrumental disponible en el laboratorio de Arqueología del Departamento de Historia y Arqueología de la Universidad de Barcelona. De este modo, podemos confirmar que los datos obtenidos por los análisis son comparables entre sí.



Figura 9. Perfil Este de San Cristóbal con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis.

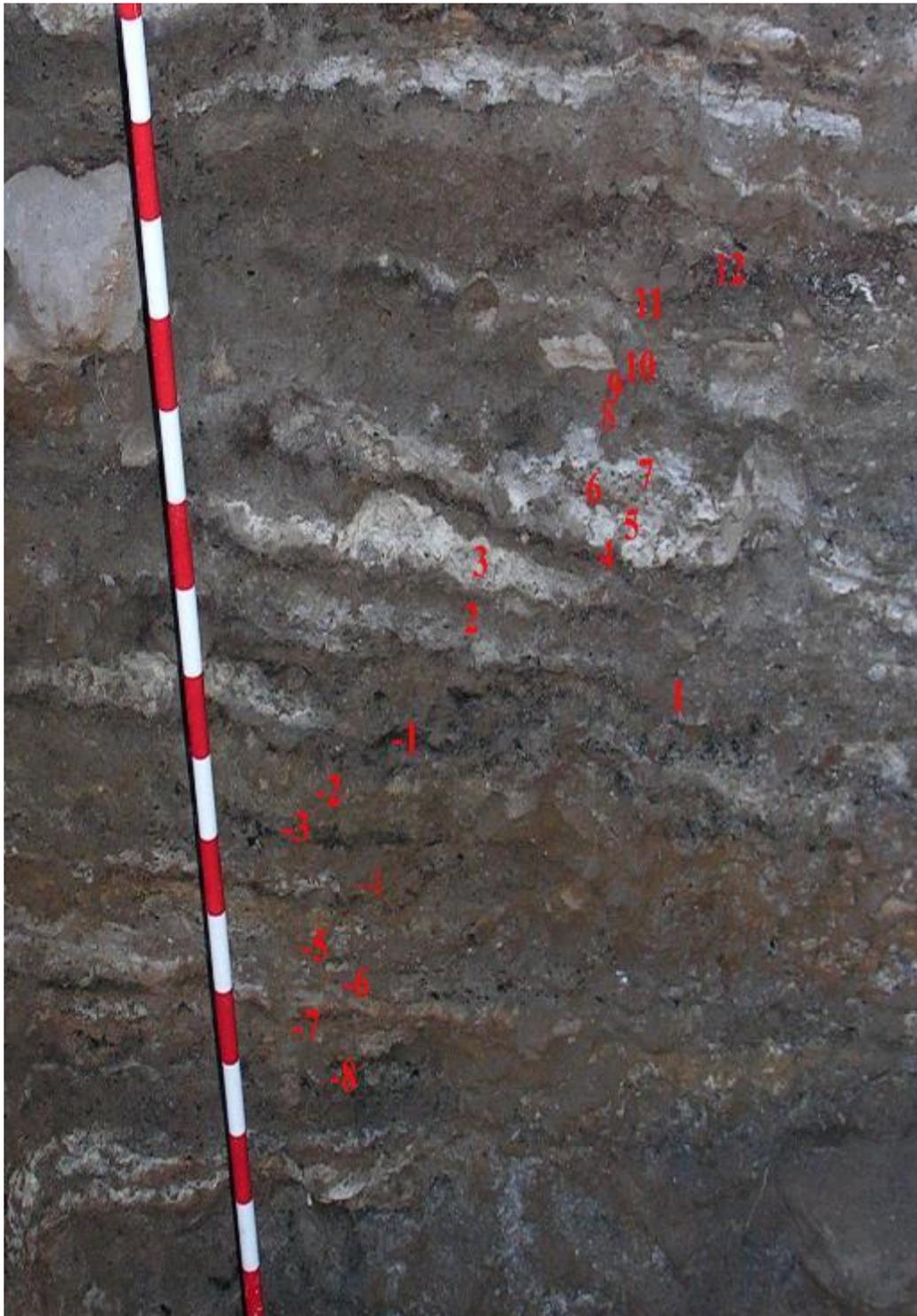


Figura 10. Detalle del Perfil Oste de San Cristóbal con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis.

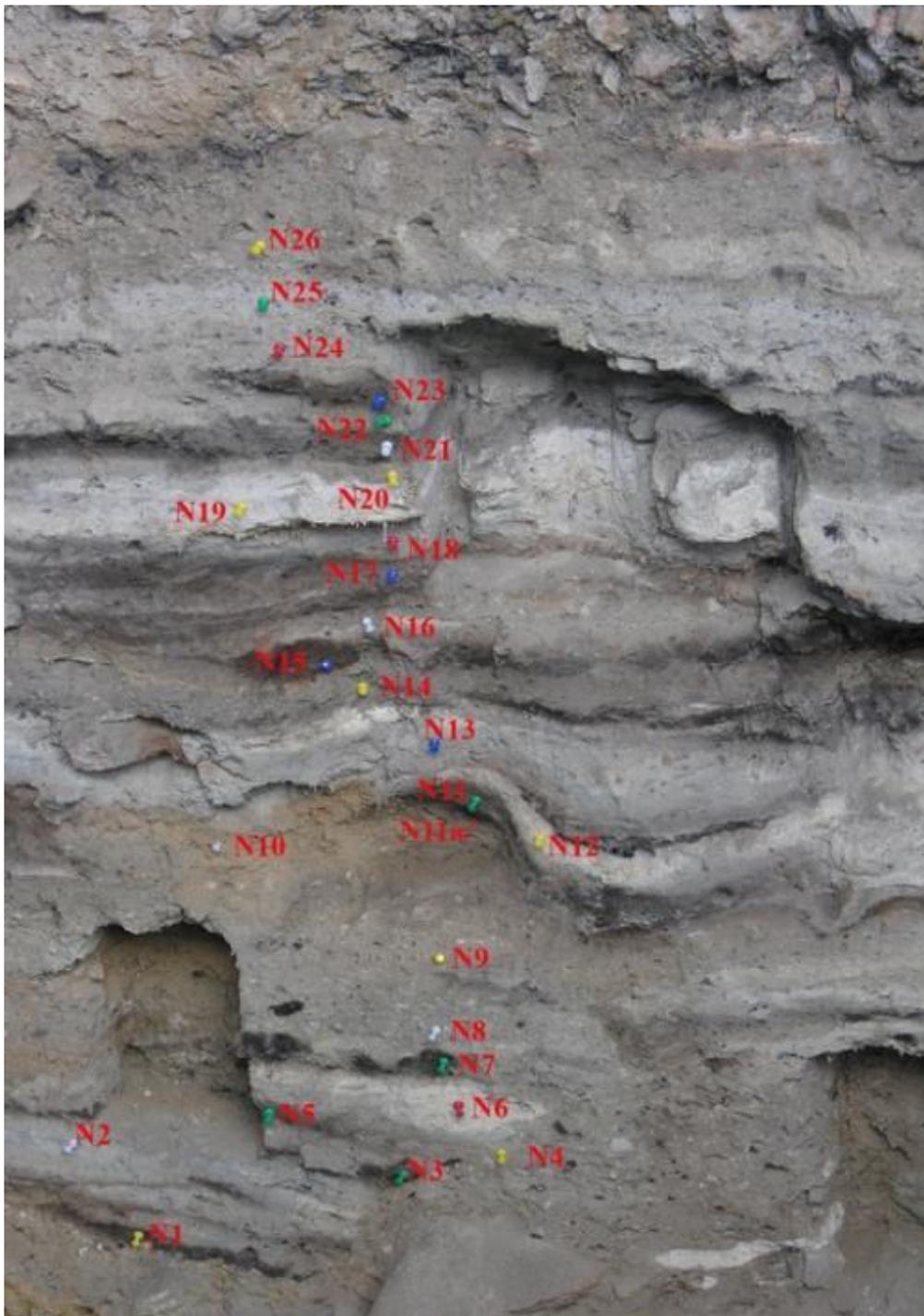


Figura 11. Perfil Norte de Los Husos II con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis.

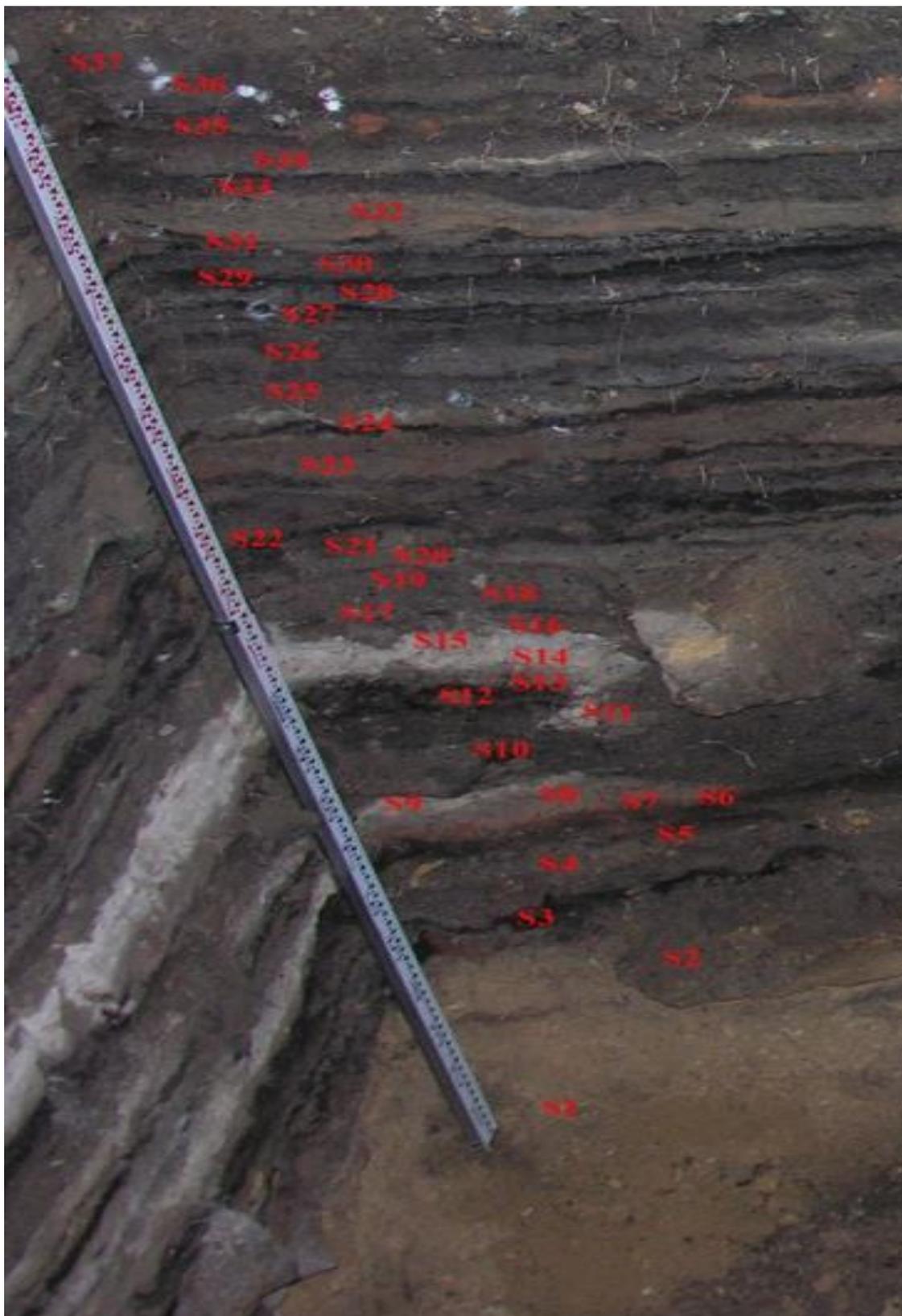


Figura 12. Perfil Sur de Los Husos II con los puntos exactos de donde se extrajeron las muestras para su análisis (Modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017).

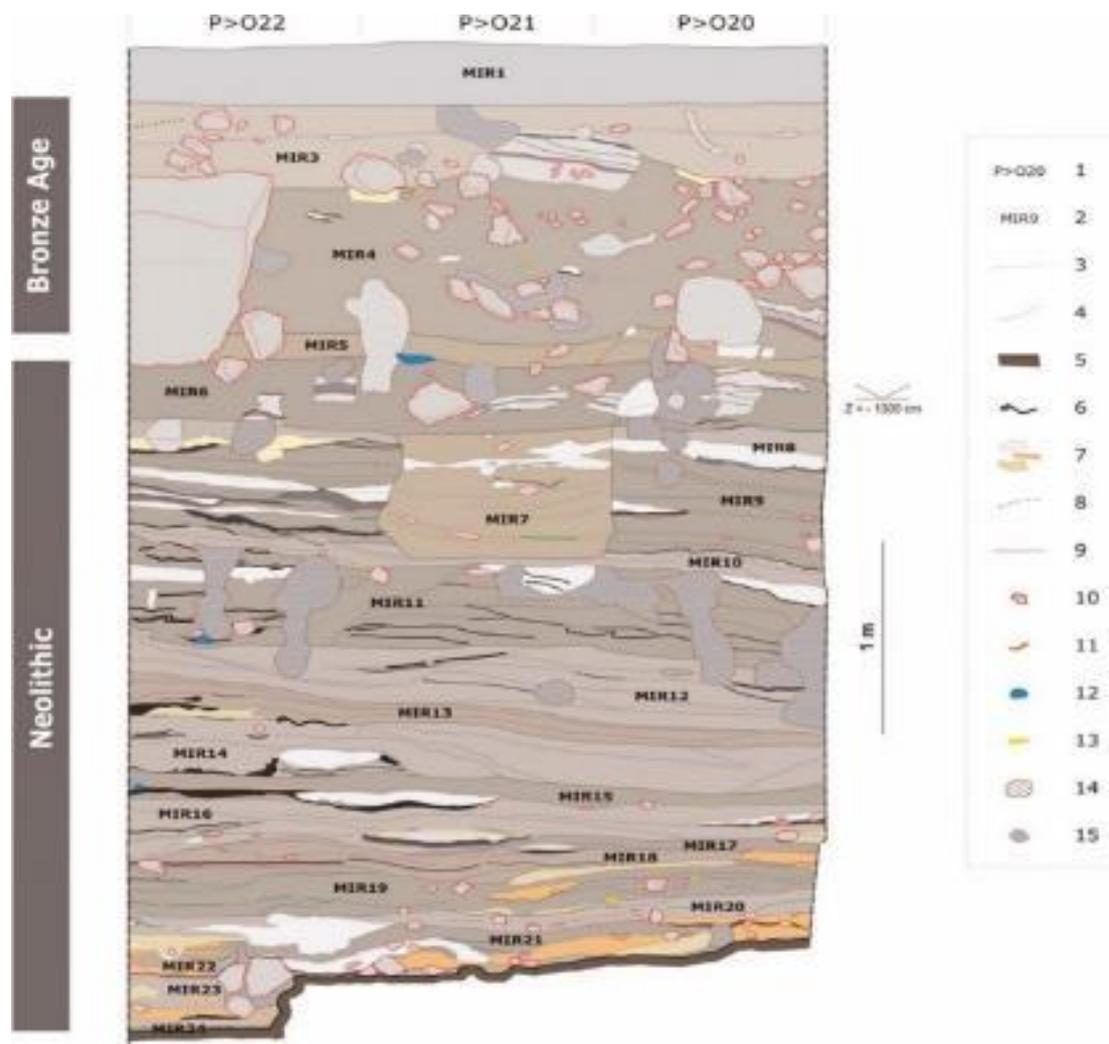


Figura 13. Sección del depósito de El Mirador. Leyenda: 1) cuadro, 2) nombre de las unidades, 3) límite de las unidades, 4) límite de las facies, 5) parte de arriba de la secuencia pleistocena, 6) acumulaciones de carbón, 7) acumulaciones de ceniza, 8) capas de ceniza, 9) sedimento quemado, 10) fragmentos de caliza, 11) fragmentos de cerámica, 12) artefactos líticos, 13) huesos, 14) excavaciones actuales, 15) excavaciones antiguas (Imagen cortesía de J.M. Vergès).

4.2 Métodos

4.2.1 Experimentación

Previo al proceso de combustión, el estiércol fue secado en una estufa durante 24-48 horas a unos 70°C. Las ramas/hojas de *Quercus* sp. fueron limpiadas en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos para eliminar materias adheridas y, posteriormente, secado en el horno a 70°C durante 24-48 horas. Una vez seco, tanto

el material fecal como vegetal fueron sometidos a temperaturas de 500, 600, 700, 800 y 900°C durante cuatro y ocho horas respectivamente.

Las cenizas resultantes del proceso de quema del material vegetal y del estiércol se pesaron y se montaron en láminas utilizando entre 0.50 y 0.80 mg de muestra que se mezclaron con una resina (Entellan New Merck) con el fin de analizar tanto los pseudomorfos de calcita como los esferolitos. Las muestras se cubrieron con un cubre de 21x21 mm. Este procedimiento se realizó con tres láminas diferentes para obtener datos más fiables. El contaje se realizó a 400x en un microscopio Olympus Bx41, y se observaron diferentes líneas de campo escogidas de forma aleatoria.

Por su parte para la extracción de fitolitos del estiércol se ha seguido el método propuesto por Parr et al. (2001) que se resume a continuación. En torno a 1 gramo de las cenizas de estiércol son transferidas a un tubo de 50 ml al que se añade 10 ml de una solución de ácido clorhídrico a 1 normal (1N HCl) para eliminar carbonatos. Una vez la reacción finaliza se centrifugan las muestras durante 5 minutos a 3000 r.p.m. para retirar el ácido y, a continuación, se añade agua destilada repitiéndose la operación tres veces para eliminar las trazas de ácido que pudieran quedar. El material resultante se deja secar para pesarlo posteriormente. En caso de que hubiera mucha materia orgánica se añaden 20 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 33% al baño maría. Al igual que con el ácido una vez la reacción desaparece, la muestra se limpia siguiendo el mismo procedimiento, se deja secar y se anota el peso final. Entre 0.50 y 0.60 mg de muestra fueron colocados en un portaláminas y se cubrieron con un cubre de 21x21. Se identificaron un mínimo de 200 fitolitos morfológicamente identificables a 400x aumentos en un microscopio Olympus Bx41.

4.2.2 Muestras arqueológicas

Tanto para el proceso de extracción de los microrrestos como de los análisis de FTIR, las muestras se secaron en una estufa al menos durante 24 horas a 90°C. El proceso de laboratorio e identificación al microscopio fue realizado en el

laboratorio de Arqueología del Departament d'Història i Arqueologia de la Universitat de Barcelona.

Para el análisis de fitolitos se ha utilizado el método propuesto por Katz et al. (2010), ya que se trata de un procedimiento rápido y menos agresivo que otras técnicas y que se resume a continuación. Entre 20 y 50 miligramos de sedimento se pesa y se deja en la estufa entre 24-48 horas a unos 70°, una vez seco se añaden 50 µl de ácido clorhídrico a 6 normal (6N HCl) para eliminar los carbonatos. Seguidamente, se añaden 450 µl de polyngtustate de sodio [Na₆ (H₂W₁₂O₄₀) H₂O] a una densidad de 2.4 g/ml, para separar los fitolitos de otros minerales. La mezcla se introduce a continuación en un baño de ultrasonidos entre 5 y 10 minutos para separar las posibles arcillas que haya en el sedimento. Tras este paso, la mezcla se centrifuga durante 5 minutos a 6.000 revoluciones por minuto, los fitolitos que están suspendidos en la fracción líquida se traspasan a otro tubo. La muestra es agitada para homogenizarla previamente al montaje de la lámina, y se utilizan 50 µl de la fracción líquida que son colocados en un portaobjetos y cubiertos por un cubre de 24x24 milímetros. Para realizar el conteo se contabilizan los fitolitos presentes en un mínimo de 16 campos visuales a 200x. Por su parte, el análisis morfológico se lleva a cabo a 400x e identificando un número mínimo, siempre que sea posible, de 200 morfotipos (Albert y Weiner, 2001).

La identificación de los fitolitos, se realizó con ayuda de la base de datos Phytcore (www.phytcore.org), donde se incluyen diversas colecciones de referencia procedentes de diversos grupos de investigación. Así mismo también se revisó literatura estandarizada (Mulholland y Rapp, 1992; Piperno, 2006; Rosen, 1992; Twiss et al., 1969; Twiss, 1992). La nomenclatura de los morfotipos ha seguido siempre que ha sido posible el International Code for Phytoliths Nomenclature (ICPN 2.0) (Neumann et al. 2019).

En lo referente a las estructuras multicelulares (fitolitos en conexión anatómica), el protocolo de cuantificación que se ha seguido es el propuesto por Jenkins (2009) que consiste en no sólo cuantificar la estructura celular de manera individual, sino

también en contabilizar e identificar cada uno de los fitolitos que conforman dicha estructura, añadiéndolos a la identificación general puesto que son susceptibles de romperse y convertirse en fitolitos singulares.

Las estructuras multicelulares se han adscrito a las partes anatómicas de las plantas donde se forman (hojas/tallos, inflorescencias, etc.) siguiendo el trabajo de Rosen (1992). Así, en aquellas estructuras en las que aparezcan ELONGATE DENTATE, ELONGATE DENDRITIC o PAPILLATE serán adscritas siempre a inflorescencias; así mismo las células cortas que aparezcan asociadas a células de inflorescencia se adscribirán a este grupo, mientras que si aparecen en estructuras multicelulares de hojas/tallos se vincularán a este otro grupo (Weiner et al., 2020).

En lo que respecta a la extracción de esferolitos y pseudomorfos de calcita de los depósitos arqueológicos, el procedimiento de extracción seguido ha sido el propuesto por Gur-Arieh et al. 2013, que se resume a continuación. Entre 5 y 40 miligramos de sedimento son tamizados con una luz de 150 micras, de modo que el material de mayor tamaño que esferolitos y pseudomorfos de calcita son eliminados. A este sedimento tamizado se le añaden 500 µl de polyngtustato de sodio a una densidad de 2,4 g/ml y se pone en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos para disgregar el sedimento. Finalmente, el líquido es agitado y se montan 50 µl de solución en un portaobjetos y se cubre con un cubreobjetos de 24x24 mm. El conteo se realiza, al igual que en el método anterior, a 200x contabilizando los individuos presentes en un mínimo de 16 campos visuales, bajo luz polarizada.

Por su parte, el estudio de esferolitos fecales ha sido desarrollado desde un punto de vista cuantitativo, ante la imposibilidad de detectar diferencias morfológicas que los puedan relacionar con los animales que los produjeron.

Para deducir el número de fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita por gramo de sedimento el cálculo hemos aplicado la siguiente fórmula planteada por Albert (1999):

$$\frac{n^{\circ} \text{ de microrrestos contados}}{\text{área contabilizada}} \times \text{área de la lámina}$$

$$= n^{\circ} \text{ de microrrestos en } 50 \mu\text{l} = A$$

$$\frac{A \times 10 = n^{\circ} \text{ de microrrestos en } 500 \mu\text{l}}{\text{peso inicial de la muestra en mg}} \times 1000$$

$$= \text{número de microrrestos en } 1 \text{ g de sedimento}$$

4.2.3 FTIR

Para el análisis de espectroscopia de infrarrojos por derivada de Fourier (FTIR), unas pocas decenas de microgramos de sedimento se mezclan con bromuro potásico (KBr) y se prensan para obtener una pastilla que se introduce en el espectrómetro, previamente calibrado con una pastilla hecha únicamente de KBr. El espectro se obtiene a una resolución de absorbencia de 4cm^{-1} estableciendo la escala entre 350 y 5000cm^{-1} . La identificación de los elementos mineralógicos presentes en el difractograma se realizó apoyándonos en la colección de referencia desarrollada desde el Weizmann Institute of Science (Israel). La naturaleza de las cenizas se estudió siguiendo el método propuesto por Regev et al. (2010), basado en la ratio de las alturas de los picos característicos ν_2/ν_4 , normalizados a la altura del pico ν_3 . Finalmente hemos detectado la acción del fuego en los sedimentos a través de los cambios en los picos distintivos de las arcillas siguiendo a Berna et al. (2007).

4.3 Tratamiento de los datos.

4.3.1 Ratio entre pseudomorfos de calcita y esferolitos fecales (PSR)

Con el fin de saber si el sedimento procedente de los yacimientos estudiados analizado proviene de la quema de estiércol o si, por el contrario, su origen se debe a la combustión de madera se ha efectuado una ratio entre pseudomorfos de calcita y esferolitos fecales (en adelante PSR). Este método sigue la propuesta de Gur-Arieh et al. (2013) que establecen el PSR basándose en las siguientes asunciones:

- el estiércol produce gran cantidad de esferolitos fecales y contiene una cantidad baja de pseudomorfos de calcita, siempre en función de la dieta del ganado que selecciona preferentemente las plantas herbáceas antes que las plantas leñosas.
- la quema de madera produce una gran cantidad de pseudomorfos de calcita, mientras que los esferolitos fecales deberían estar ausentes.

Así, cuando el valor del PSR es cercano a 0 mayor, se interpreta que hay una mayor cantidad de estiércol, mientras que, si dicho valor se acerca a 5, o lo supera, la composición del sedimento proviene indudablemente de la combustión de madera (Gur-Arieh et al., 2013, 2014).

4.3.2 Ratio entre esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita y fitolitos alterados térmicamente (SMR y PMR).

Siguiendo el trabajo previo de Alonso-Eguiluz et al. (2017) y con el fin de determinar si las temperaturas alcanzadas tienen un impacto en la cantidad de microrrestos calcíticos detectados en el sedimento arqueológico, hemos establecido una ratio entre fitolitos alterados térmicamente (incluyendo fitolitos derretidos y escorias de sílice) y esferolitos fecales (SMR) y pseudomorfos de calcita (PMR). De este modo, a mayor ratio mayor disolución de microrrestos calcíticos.

4.3.3 Test de correlación de Pearson

Para conocer el alcance del efecto de la quema en la conservación del conjunto fitolitológico de las muestras arqueológicas hemos aplicado la regresión de Pearson o correlaciones bivariadas entre fitolitos alterados químicamente y alterados térmicamente. Según Cabanes et al. (2011a) los fitolitos quemados son más susceptibles a la disolución que aquellos que no lo están. Además, los procesos postdeposicionales suelen tener lugar inmediatamente después de la deposición de los microrrestos en el sedimento (Karkanas et al., 2000; 2002). En consecuencia, el test de correlación de Pearson nos permite evaluar si la alteración

química de los fitolitos se produce como consecuencia de la acción del fuego. Este test se ha realizado utilizando el software SPSS V.23.

4.3.4 Análisis de componentes principales.

De acuerdo con los resultados aportados por Alonso-Eguiluz et al. (2017) no se detecta variabilidad en la composición morfológica de fitolitos de las muestras procedentes del perfil Sur de Los Husos II, de manera que la composición de la secuencia no varía a lo largo del tiempo. Con el fin de determinar si esta tendencia se reproduce y no se encuentran patrones de agrupación a lo largo de las secuencias de los yacimientos analizados, hemos aplicado el análisis de componentes principales (PCA) a todas las muestras con relación a los morfotipos y partes de la planta detectadas. Este análisis se ha realizado utilizando el programa S-PLUS.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

A continuación, nos disponemos a exponer los resultados obtenidos de los análisis de fitolitos, esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita y de FTIR en las muestras de experimentación, así como en las arqueológicas. En primer lugar, procederemos a realizar un resumen en relación con los morfotipos de fitolitos identificados en todas las muestras analizadas, procedentes tanto del estiércol actual como de las muestras arqueológicas, con el fin de explicar su adscripción taxonómica o anatómica, según corresponda. El objetivo de este apartado es justificar la adscripción utilizada para los morfotipos predominantes y/o más importantes, que se han identificado a lo largo del trabajo. De este modo, se facilita la comprensión de los resultados que se detallan después de este apartado.

5.1 Resumen de los principales resultados morfológicos de fitolitos.

Se han detectado un total de 34 morfotipos diferentes en todas las muestras analizadas (arqueológicas y de referencia). Tal y como se puede ver en la Figura 14 y la Tabla 7 la mayoría de los morfotipos que hemos identificado están presentes en bajas cantidades y son pocos los que despuntan por su gran número. Revisaremos los más representativos por su mayor presencia en las muestras o por su valor taxonómico o anatómico que permitan mejorar la interpretación.

El grupo de morfotipos de fitolitos más abundantes son las células cortas (Grass Silica Short Cell phytolith - GSSCP) las cuales son características del tejido epidérmico de las plantas de la familia Poaceae. Se trata de morfotipos con características morfológicas determinadas que los hace fácilmente reconocibles. Lo más interesante es que algunos de estos morfotipos pueden ser adscritos a diferentes subfamilias de las Poaceae con patrón fotosintético (C_3 y/o C_4) y que por tanto crecen bajo diferentes condiciones ambientales. Así pues, se trata de morfotipos con un importante valor ecológico a la vez que económico cuando se interpretan en contextos arqueológicos, especialmente aquellos relacionados con los procesos agrícolas. Además, estos morfotipos suelen ser resistentes a diferentes procesos postdeposicionales (Cabanes et al., 2011a), por lo que son

abundantemente documentados en las muestras. En nuestro caso, el morfotipo más abundante dentro de las GSSCP es RONDEL (Tabla 7, Figura 14 y Figura 16a). También hemos identificado el morfotipo TRAPEZOID aunque en menor cantidad (Tabla 7). Ambos morfotipos se asocian tradicionalmente a la subfamilia Pooideae con patrón fotosintético C₃ (Twiss et al., 1969; Twiss 1992). Las Pooideae crecen generalmente en latitudes altas y en zonas de alta y media montaña, normalmente en climas templados y húmedos (Twiss et al., 1969; Twiss, 1992). En zonas más tropicales cuando aparecen suelen estar asociadas a la presencia de bosques relativamente abiertos (Barboni et al., 2007; Bremond et al., 2005, 2008). Dentro de esta subfamilia se encuentran también las principales plantas de cultivo utilizadas en la vertiente mediterránea para consumo humano, como trigos y cebadas (Zohary et al., 2012). Estudios llevados a cabo en ciertas regiones de África señalan que las RONDEL también pueden ser producidos por plantas de la subfamilia Cloridoide de patrón fotosintético C₄ (Bamford et al., 2006; Barboni y Bremond, 2009; Barboni et al., 2007). De todos modos, no existe en nuestra zona de estudio, ni en la península Ibérica, un análisis detallado sobre las RONDEL de C₃ y C₄, por un lado, y por otro, la escasez de plantas C₄ en nuestra zona de estudio. Así pues, en este trabajo adscribiremos estos morfotipos a la subfamilia C₃ Pooideae por tres razones principales: la dimensión de los morfotipos identificados encaja con el rango de tamaño que produce esta subfamilia; su asociación con TRAPEZOID que sí se observan mayormente en la subfamilia Pooideae; y los resultados de la vegetación y el clima de la zona durante la época de estudio que apuntan a zonas boscosas, contextos en los que se desarrollan este tipo de plantas, al contrario que las Cloridoideae que son características de paisajes abiertos y condiciones cálidas y secas.

También hemos documentado, aunque en menor medida otras GSSCP como son BILOBATE (Figura 16b) y POLYLOBATE (Tabla 7). Estos morfotipos suelen ser producidos abundantemente por plantas de patrón fotosintético C₄ de la subfamilia Bambusoideae que se desarrollan en zonas húmedas y cálidas (Twiss, 1992; Lu et al., 2012; Madella et al., 2013; Out y Madella, 2015) y que no ocurren en nuestra

zona. También se han documentado en plantas Pooideae, principalmente de la tribu Stipeae y en otras familias de plantas, aunque en pequeñas cantidades (Neumann et al., 2019 y referencias en él). BILOBATE y POLYLOBATE son también comunes en las Panicoideae, a la que se adscriben cultivos como el mijo y, finalmente, son también abundantes en la subfamilia Arundinoideae (Ollendorf et al., 1988; Twiss, 1992; Albert et al., 1999, 2000; Chauhan et al., 2011; Shakoore et al., 2014; PhytCore database: www.phytcore.org). Descartamos la presencia del mijo en nuestros niveles por varias razones. En primer lugar, los principales cultivos de mijo no llegan a la Península hasta fechas posteriores al Neolítico. En el caso de nuestra área de estudio la fecha más temprana para la entrada del mijo se establece en el período Calcolítico en el yacimiento de Kobaederra (Vizcaya) (Zapata, 2002). Por otro lado, la explotación de estos cultivos no comienza a generalizarse hasta la Edad de Bronce para ganar más peso durante la Edad de Hierro (Buxó y Piqué, 2008; Zapata, 2002; Moreno-Larrazábal et al., 2015). Dentro de la subfamilia Arundinoideae se enmarcan las plantas riparias como *Arundo donax*, relacionadas con zonas de alta humedad como riberas de ríos (Chauhan et al., 2011). Por ello, y teniendo en cuenta que otras plantas tipo C₄ no son abundantes en las zonas de estudio ni han sido documentadas en este periodo, adscribimos los morfotipos BILOBATE y POLYLOBATE a plantas tipo arundinoides.

ELONGATE ENTIRE (Figura 16c) constituye el segundo morfotipo más abundante en el registro (Tabla 7 y Figura 14). Este morfotipo es producido por diferentes familias, principalmente de plantas monocotiledóneas, como gramíneas, juncos y palmáceas. Dentro de las gramíneas, se producen mayormente en el tallo y hojas de estas plantas, aunque también se ha detectado en plantas dicotiledóneas. Es por ello por lo que no es posible adscribirlo a un en concreto y, en consecuencia, forma un único grupo independiente (ICPN, Newman et al. 2019). Su presencia en nuestras muestras constituye un cuarto del registro fitolitológico, y hemos podido detectarlo tanto en células independientes como en conexión anatómica formando estructuras multicelulares (Figura 16c).

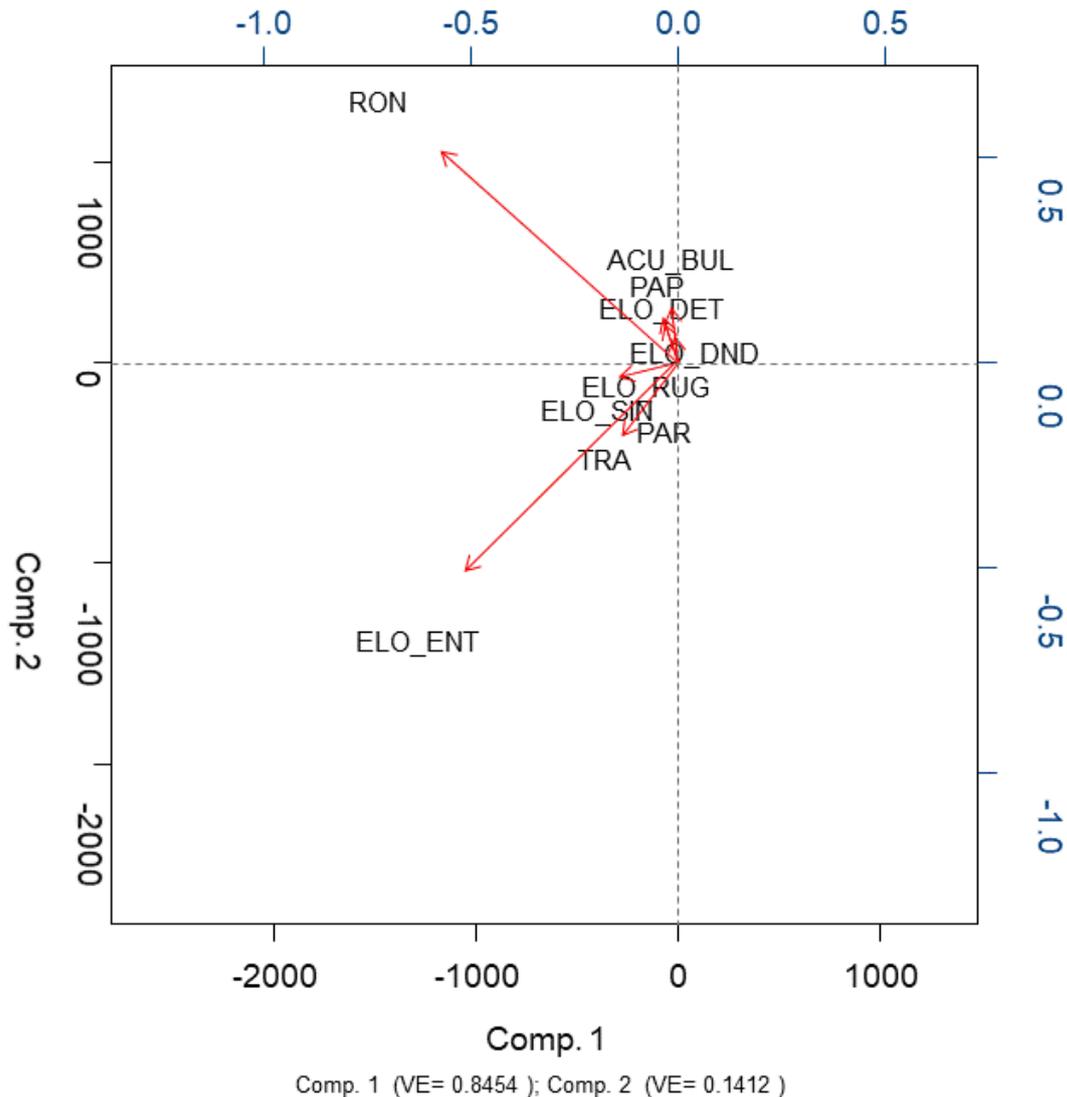


Figura 14. Análisis de componentes principales (PCA) aplicado a todas las morfologías detectadas en todas las muestras analizadas (incluyendo material actual y arqueológico). Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: RON: RONDEL; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; TRA: TRAPEZOID; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; PAR: PAPILLAR; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE; ELO_RUG: ELONGATE RUGOSE; ELO_DET: ELONGATE DENTATE. Es posible apreciar como hay dos morfologías (RONDEL y ELONGATE ENTIRE) que sobresalen en el registro, mientras que el resto de morfotipos se disponen en el medio de la gráfica debido a su menor variabilidad.

Por el contrario, el grupo de ELONGATE ORNATE sí podemos adscribirlo al grupo de las gramíneas y en función de la decoración de sus márgenes pueden ser adscritos a los tallos/hojas o a las inflorescencias de dichas plantas. Asimismo, dentro de las inflorescencias los detalles de los márgenes pueden ofrecer información a nivel de género e incluso de especie. Es por ello por lo que estos

morfotipos tienen gran valor anatómico y taxonómico. En nuestro caso los morfotipos más abundantes son los ELONGATE SINUATE (Figura 16d) que se distinguen por tener al menos uno de sus márgenes ondulados (Tabla 7 y Figura 14). Este morfotipo se forma en la epidermis de las hojas/tallos de plantas gramíneas, por lo que su presencia es indicativa de estas partes de gramíneas. Otro grupo de morfotipos que se generan en las células largas de las plantas son aquellas que se producen en la inflorescencia de las Poaceae: ELONGATE DENTATE ((Figura 16e) y DENDRITIC (Figura 16f) (Tsartsidou et al., 2007; Ball et al., 1999; Rosen, 1992, 1999, 2001; Rosen y Weiner, 1994). La identificación en número elevado de ELONGATE DENDRITIC se asocia normalmente a la presencia de plantas cultivadas, en especial si aparecen en un porcentaje mayor al 8%, así como a partir del análisis morfométrico de éstos morfotipos (Albert et al., 2008; Ball et al., 1999).

ACUTE BULBOSUS (Figura 16g): se trata de un morfotipo que se genera en los apéndices de tejido epidérmico de las hojas/tallos de las plantas gramíneas (Albert, 1999). Estos morfotipos aparecen recurrentemente en todas las muestras y ofrecen información a nivel anatómico de las partes de la planta representadas (Tabla 7).

ACUTE, hace referencia a un morfotipo que se forma en gramíneas, así como en las hojas de algunas plantas dicotiledóneas. De acuerdo con el ICPN (ICPN 2.0 Neumann et al., 2019) se trata de morfotipos alargados que se estrechan hacia un apéndice apuntado con un ángulo inferior a 90°. En nuestras muestras, hemos identificado estos morfotipos con unas características determinadas como son una silicificación débil, un extremo apuntado teniendo la base una apertura en ángulo menor a 90°. Estas características también se han observado en la inflorescencia de las Poaceae (

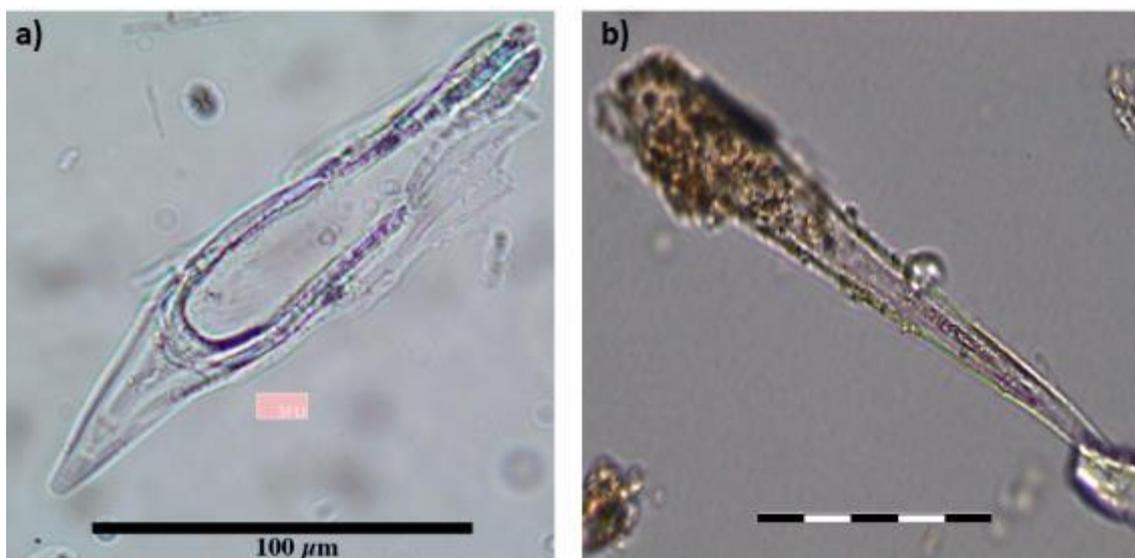


Figura 15). De esto modo hemos, teniendo en cuenta que en nuestras muestras estos morfotipos aparecen asociados a otros morfotipos característicos de esta parte de las plantas, los hemos adscrito tentativamente a esta parte.

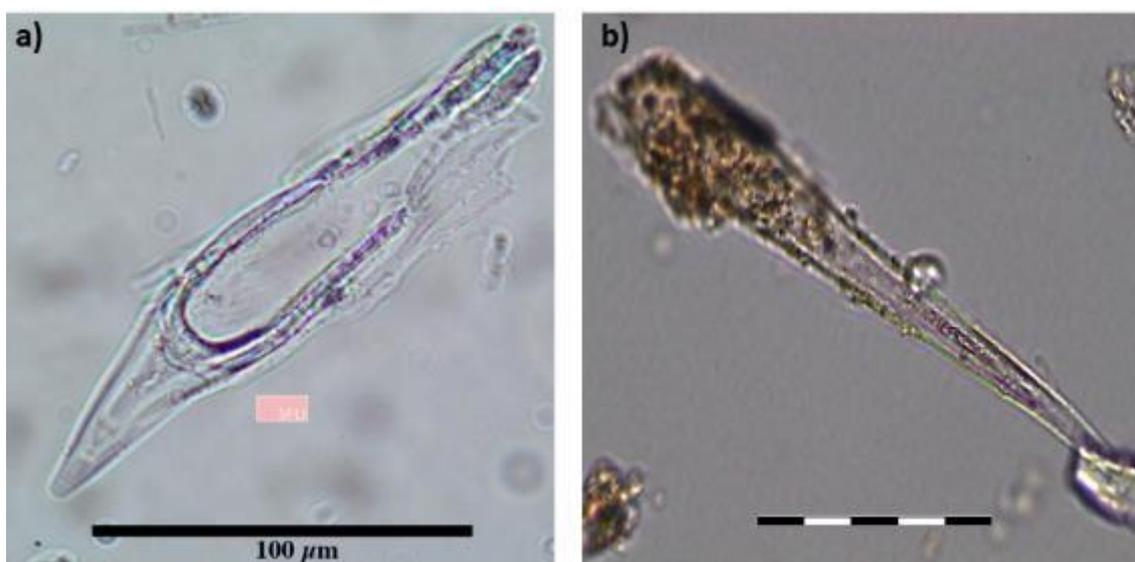


Figura 15. Microfotografías del morfotipo ACUTE, a) fitolito modificado de PhytCore DB, procedente de las inflorescencias de planta *Eleusine africana*, subfamilia Pooideae. Se puede apreciar que su base es visiblemente más ancha, pero sin llegar a formar un ángulo de 90°, y que no tiene una fuerte silicificación; b) morfotipo ACUTE procedente del estiércol de referencia utilizado en este trabajo. Aunque en este caso sólo se observa el extremo distal apuntado del morfotipo, es posible advertir que existe una tendencia a ensancharse hacia la base. La escala representa 50 μm .

PAPILLATE (Figura 16h): este morfotipo aparece en pocas ocasiones (Tabla 7) a lo largo de nuestro registro. Se silicifica en las células especializadas de las partes de floración de las Poaceae (ICPN 2.0 Neumann et al., 2019). Su apariencia es la de

un apéndice epidérmico con una protuberancia en su parte medial (Ball et al., 2009). La identificación de PAPILLATE indica la presencia de inflorescencias de Poaceae, no obstante, su valor taxonómico requiere de estudios morfométricos en profundidad para poder discernir el taxón al que pertenecen, incluso entre plantas cultivadas (Ball et al., 1999; 2009). Finalmente, se trata de un morfotipo inestable, que tiende a la disolución fácilmente (Cabanes et al., 2011a), aunque también se ha identificado en condiciones de combustión de hasta 800°C y presentando en el apéndice un color oscurecido (Weiner et al., 2020).

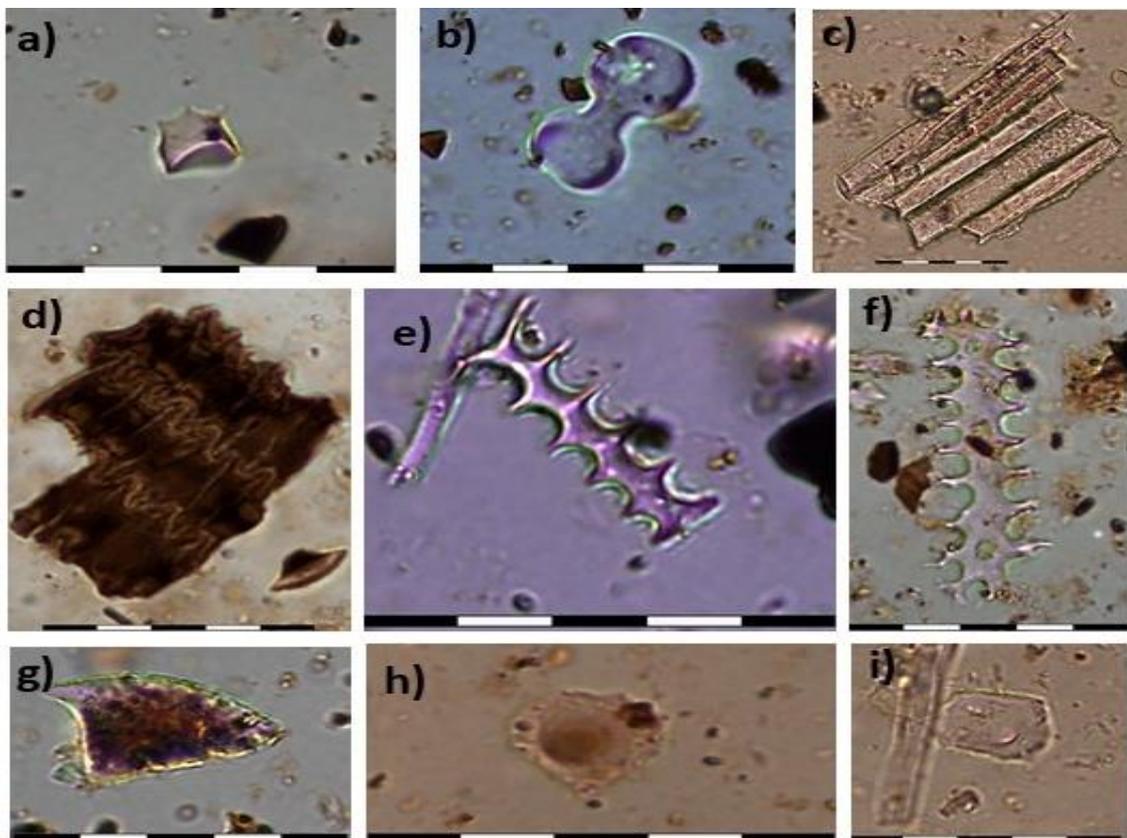


Figura 16 Microfotografías de fitolitos tomadas a 400x : a) RONDEL procedente de la muestra W4 del perfil Oeste de San Cristóbal; b) BILOBATE procedente de la muestra E26 del perfil Este de San Cristóbal; c) estructura multicelular formada por ELONGATE PSILATE, aunque algunos presentan su superficie parcialmente rugosa, identificada en la muestra 20r del Mirador; d) estructura multicelular compuesta por ELONGATE SINUOUS documentados en la muestra S23 del perfil Sur de Los Husos II, es posible observar una tonalidad oscura derivada probablemente de la combustión; e) ELONGATE DENTATE recuperada de la muestra W-5 del perfil Oeste de San Cristóbal; f) ELONGATE DENDRITIC procedente de la muestra N26 del perfil Norte de Los Husos II; g) ACUTE BULBOSUS extraído de la muestra S10 del perfil Sur de Los Husos II, es posible observar una

tonalidad oscura derivada probablemente de la combustión; h) PAPILLATE documentada en la muestra W6 del perfil Oeste de San Cristóbal, se puede apreciar que el apéndice tiene una coloración más oscura debido a la acción del fuego; i) PAPILLAR, característico de plantas ciperáceas, identificado en la muestra 20r del Mirador. La escala representa 50µm.

PAPILLAR (Figura 16i): Hemos adscrito el nombre de PAPILLAR (ICPN 2.0 Neumann et al., 2019) a aquellas morfologías con una base redondeada y una protuberancia en su parte medial y que son características del tejido epidérmico de plantas hidrófilas tipo juncos, por lo que su presencia indica cercanía a cursos de agua cercanos a los yacimientos. Son las anteriormente denominadas “hat shape” (Ollendorf, 1992; Ollendorf et al., 1987). Aunque no hemos documentado este morfotipo abundantemente, su presencia es significativa ya que nos informa de zonas de agua cercana a los yacimientos (Tabla 7). La mayor parte de estos morfotipos se han detectado articulados, formando estructuras multicelulares. Paralelamente, se trata de morfotipos delicados que no son habituales en los sedimentos arqueológicos y, en consecuencia, su presencia es indicativa de unas condiciones postdeposicionales estables del sedimento a nivel químico y con una rápida sedimentación (Karkanis et al., 2002; Albert et al., 2006; Cabanes et al., 2011a).

Por último, los fitolitos procedentes de plantas dicotiledóneas son mucho menos abundantes en el registro, siendo los más abundantes los morfotipos BLOCKY, IRREGULAR, POLYGONAL, SPHEROID y TRACHEARY ANULAR (Tabla 7).

BLOCKY abarca los morfotipos paralelepípedos más largos que anchos y más gruesos que la mitad del ancho y se produce en varios grupos de plantas, por lo que su valor taxonómico no es alto (Albert, 1999; ICPN 2.0 Neumann et al., 2019). En nuestro caso, dado que se pueden localizar en diversas plantas dicotiledóneas del entorno mediterráneo las hemos adscrito al tronco/corteza de dicotiledóneas (Albert, 1999; Tsartsidou et al., 2007).

Los IRREGULAR son morfotipos sin una forma geométrica clara y son producidos ampliamente en el tronco/corteza de plantas dicotiledóneas (Albert, 1999).

Por su parte los morfotipos POLYGONAL son poligonales y planos, conocidos previamente como “platelets” son producidos en las hojas de plantas dicotiledóneas (Albert, 1999).

SPHEROID corresponde con morfologías globulares cuya superficie puede ser variable (lisa, rugosa, dentada etc.) (Albert, 1999; Albert et al., 2009; ICPN 2.0 Neumann et al., 2019). Normalmente se localiza en el tronco/corteza de dicotiledóneas, sin embargo, en función de la decoración de su superficie, pueden ser indicativas de un tipo de planta en concreto, como restionáceas o palmáceas (Albert et al., 2009; Esteban et al., 2017). Dado que no hemos detectado SPHEROID con diferentes decoraciones y que la vegetación a la que hacen referencia no se encuentra en nuestra zona de estudio, este morfotipo lo hemos adscrito exclusivamente al tronco/corteza de dicotiledóneas.

Finalmente, TRACHEARY se forman en la xilema de las plantas y pueden presentar una forma ramificada, así como una superficie variable (*annular, pitted or bordered*) (Albert, 1999; ICPN 2.0 Neumann et al., 2019). Aunque su valor taxonómico es bajo ya que se encuentra en una amplia cantidad de familias, los TRACHEARY ANNULAR que hemos detectado en nuestras muestras suelen estar relacionados con plantas dicotiledóneas (ICPN 2.0 Neumann et al., 2019), por lo que hemos adscrito este morfotipo a las hojas de dicotiledóneas.

Es necesario señalar que el tronco/corteza de las plantas dicotiledóneas producen hasta 20 veces menos fitolitos que las plantas monocotiledóneas; mientras que las hojas producen hasta 16 veces menos, aunque la preservación de éstos últimos es más delicada que la de aquellos procedentes del tronco/corteza (Albert, 1999; Albert y Weiner, 2001; Albert et al., 2000; Tsartsidou et al., 2007; Cabanes et al., 2011a; Cabanes y Shahack-Gross, 2015).

Finalmente, aquellos fitolitos que presentaron altas condiciones de disolución y por tanto no pudieron ser identificados taxonómica, anatómica o morfológicamente fueron agrupados en una misma categoría denominada “fitolitos alterados químicamente”. Por otro lado, la combustión de los sedimentos

también puede alterar la apariencia de los fitolitos. Esta alteración térmica incluye cambios en la coloración, aparición de burbujas en su superficie y en ocasiones, la imposibilidad de identificarlos morfológicamente (fitolitos derretidos). Existe también otra categoría denominada escorias de sílice, y que se detectan en cenizas que se han formado a altas temperaturas (700°C-900°C) (Guhr-Arieh et al., 2014; Mentzer, 2014; Weiner et al., 2020). En contextos arqueológicos las escorias de sílice pueden ser confundidos con fragmentos de sílice. No obstante, y dado el contexto pirogénico en el que nos encontramos, interpretaremos estos elementos como derivados de fitolitos derretidos.

	Interpretación	Experimentación			ASCE			ASCW			LHII N			LHIS			MIR6		
		#	P	DE	#	P	DE	#	P	DE	#	P	DE	#	P	DE	#	P	DE
RONDEL	GSSCP (C ₃)	4306	397,2	251,8	2014	106,0	34,4	1697	84,8	47,4	1953	72,3	358,9	3815	103,1	33,0	2155	98,0	28,7
ELONGATE PSILATE	Monocotiledóneas	3151	30,9	27,8	589	31,0	10,9	376	18,8	11,2	1209	44,8	221,9	884	23,9	10,7	1279	58,1	27,0
ELONGATE RUGOSE	Monocotiledóneas	423	5,7	6,7	131	6,9	4,7	112	5,6	4,5	147	5,4	27,1	162	4,4	4,9	108	4,9	4,2
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	315	31,5	14,5	312	16,4	8,2	268	13,4	10	390	14,4	71,5	586	16,7	6,3	258	11,7	4,0
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de Poaceae	868	2,5	3,0	136	7,2	5,8	207	10,3	10,1	208	7,7	38,4	433	11,7	8,7	424	19,3	10,8
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	169	8,7	11,5	35	1,8	1,7	17	0,8	1,3	126	4,7	23,3	331	8,9	5,6	157	7,1	6,2
TRAPEZOID	GSSCP (C ₃)	818	81,8	41,6	193	10,2	8,8	64	3,2	4,4	132	4,9	24,4	21	3,5	3,4	109	5,0	4,6
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	147	14,7	13,1	13	0,7	1,1	21	1	1,7	43	1,6	8,3	314	9,2	6,5	126	5,7	4,9
POLYGONAL	Hojas dicotiledóneas	-	-	-	2	0,1	0,3	3	0,15	0,37	70	2,6	18,2	6	1,0	0,6	0	-	8,3
BILOBATE	GSSCP (C ₃ /C ₄)	64	5,8	4,8	76	4,0	9,3	39	2	3	22	0,8	4,2	19	1,6	1,0	22	1,0	1,0
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	87	8,7	9,4	1	0,1	0,2	1	0,05	0,2	15	0,6	2,9	52	4,0	5,3	24	1,1	2,0
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	143	14,3	17,3	3	0,2	0,4	10	0,5	0,8	23	0,9	4,3	64	2,3	1,5	28	1,3	1,0
BULLIFORM FLABELLATE	Hojas de Poaceae	24	0,4	0,5	9	0,5	0,6	5	0,2	0,5	13	0,5	2,5	140	3,8	2,7	0	0,1	11,6
BLOCKY PSILATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	13	1,3	1,8	8	0,4	0,8	18	0,9	1,2	5	0,2	1,0	41	2,1	1,8	14	0,6	1,3
BLOCKY RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	2	0,1	0,3	3	0,1	0,5	-	-	-	2	0,7	0,6	1	0,0	0,2
PAPILLAR	Cyperaceae	434	43,4	31,2	6	0,3	0,6	4	0,2	0,5	17	0,6	3,4	3	1,0	1,7	25	1,1	1,4
IRREGULAR PSILATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	11	1,1	1,4	10	0,5	1,1	18	0,90	1,17	4	0,1	0,9	26	1,9	1,4	4	0,2	0,4
IRREGULAR RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	9	0,5	1,0	6	0,3	0,6	1	0,0	0,3	5	1,7	1,5	3	0,1	0,5
SPHEROID PSILATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	6	0,6	0,8	6	0,3	0,7	1	0,05	0,2	3	0,1	0,7	11	1,4	0,9	38	1,7	2,7
SPHEROID RUGULATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	2	0,1	0,3	3	0,1	0,4	-	-	-	-	-	-	1	0,0	0,2
CRENATE	Poaceae (C ₃)	-	-	-	0	0,0	0,0	2	0,1	0,4	13	0,5	2,6	-	-	-	-	-	-
ACUTE BASE	Hojas dicotiledóneas	7	0,7	0,9	1	0,1	0,2	3	0,1	0,3	-	-	-	15	1,1	0,5	21	1,0	1,3
ELLIPSOID DENTATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	-	-	-	10	0,5	1,5	-	-	-	8	1,0	0,5	7	0,3	0,8
ELONGATE TUBERCULATE	Inflorescencia de Poaceae	5	0,5	1,6	0	0,0	0,0	4	0,2	0,4	4	0,1	0,8	5	1,0	0,7	0	-	1,9
POLYLOBATE	GSSCP (/C ₄)	65	6,5	6,6	4	0,2	0,5	14	0,7	0,9	3	0,1	0,7	5	1,0	0,7	13	0,6	0,6
ELLIPSOID PSILATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	-	-	-	3	0,1	0,3	-	-	-	4	0,7	0,5	1	0,0	0,2

ELLIPSOID RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	-	-	-	-	-	-	1	0,0	0,2	-	-	-	2	0,7	0,6	-	-	-
STOMATA	Hojas de monocotiledóneas/dicotiledóneas	18	1,8	1,9	0	0,0	-	-	-	-	1	0,0	0,3	5	1,0	0,7	1	0,0	0,2
TRACHEARY ANNULAR	Hojas dicotiledóneas	17	1,7	3,1	0	0,0	-	4	0,2	0,5	5	0,2	1,0	5	1,0	0,7	14	0,6	1,3
CROSS	GSSCP (C ₄)	2	0,2	0,4	4	0,2	0,5	4	0,2	0,4	1	0,0	0,3	1	0,5	0,7	1	0,0	0,2
ACUTE UNCINATE	Hojas dicotiledóneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1,0	1,4	3	0,1	0,5
SADDLE	GSSCP (C ₄)	1	0,1	0,3	0	0,0	-	-	-	-	0	-	-	5	2,5	3,5	0	-	-
ELONGATE STRIATE	Monocotiledóneas	-	-	-	1	0,1	0,2	-	-	-	-	-	-	62	1,7	3,3	5	0,2	1,1
ELONGATE BULBOSUS	Monocotiledóneas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1,0	0,0	6	0,3	0,6

Tabla 7. Lista de los morfotipos detectados en todas las muestras analizadas. La clasificación se ha realizado basándonos en el ICPN 2.0 (Neumann et al., 2019) así como en el PhytCore DB (www.phytcore.org). La información está clasificada en función de la proveniencia de los morfotipos identificados: material actual de la experimentación y yacimientos arqueológicos. ASCE: perfil Este de San Cristóbal; ASCW: perfil Oeste de San Cristóbal; LHIIN: perfil Norte de Los Husos II; LHIIS: perfil Sur de Los Husos II; MIR6: El Mirador; #= número de morfotipos identificados; P=promedio; DE: desviación estándar.

5.2 Experimentación del material de referencia

Para este apartado, tal y como hemos señalado en el Capítulo 4, hemos combustionado por separado el estiércol recogido de la granja, para la extracción de fitolitos y esferolitos fecales; y las ramas y hojas de *Quercus sp.* del entorno del abrigo de San Cristóbal, para la extracción de pseudomorfos de calcita.

5.2.1 Estiércol

5.2.1.1 Esferolitos

La

Tabla 8 y la Figura 17a y b muestran la cantidad estimada de esferolitos por gramo de material seco documentada tras la quema del estiércol a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro y ocho horas. En todos los casos, los esferolitos aparecen de manera disgregada, aunque en ocasiones también pueden mostrarse agrupados en pequeñas acumulaciones (Figura 18). A nivel morfológico, no hemos detectado diferencias entre ellos, su apariencia es estándar con una forma subsférica y mostrando una cruz de extinción bajo luz polarizada. Su tamaño no varía con respecto a lo que ya se había publicado previamente, y puede establecerse en una horquilla entre 5 y 15 μm (Canti, 1997, 1998, 1999). En lo que respecta al impacto de la temperatura sobre estos microrrestos a nivel cuantitativo, con base en los resultados obtenidos, se puede apreciar que:

1) hay una disminución de la presencia de esferolitos a medida que aumenta la temperatura: con una combustión de cuatro horas, la cantidad de esferolitos por gramo de sedimento va de 420 millones (500°C) a 173 millones (600°C) (Tabla 8 y Figura 17a). Esto significa que, en términos relativos, el aumento de 100°C en la temperatura, después de cuatro horas de combustión, tiene como consecuencia una pérdida de esferolitos de en torno al 59%.

2) la incidencia de la temperatura sobre los esferolitos es más intensa cuanto más se prolonga el tiempo de combustión: tras ocho horas a 500°C de quema, la cantidad estimada de esferolitos por gramo de material quemado es de 253

millones mientras que a 600°C esta cantidad se reduce a 64 millones, suponiendo la pérdida del 75% de los microrrestos (Tabla 8 y Figura 15b). Así, la cantidad de esferolitos disueltos durante las quemas de ocho horas es mayor que en el material quemado durante cuatro horas, del orden del 40% a 500°C y 63% a 600°C (Tabla 8).

3) a 700°C los esferolitos desaparecen, independientemente del tiempo que hayan sido sometidos a la acción del fuego (Tabla 8 y Figura 15a y b).

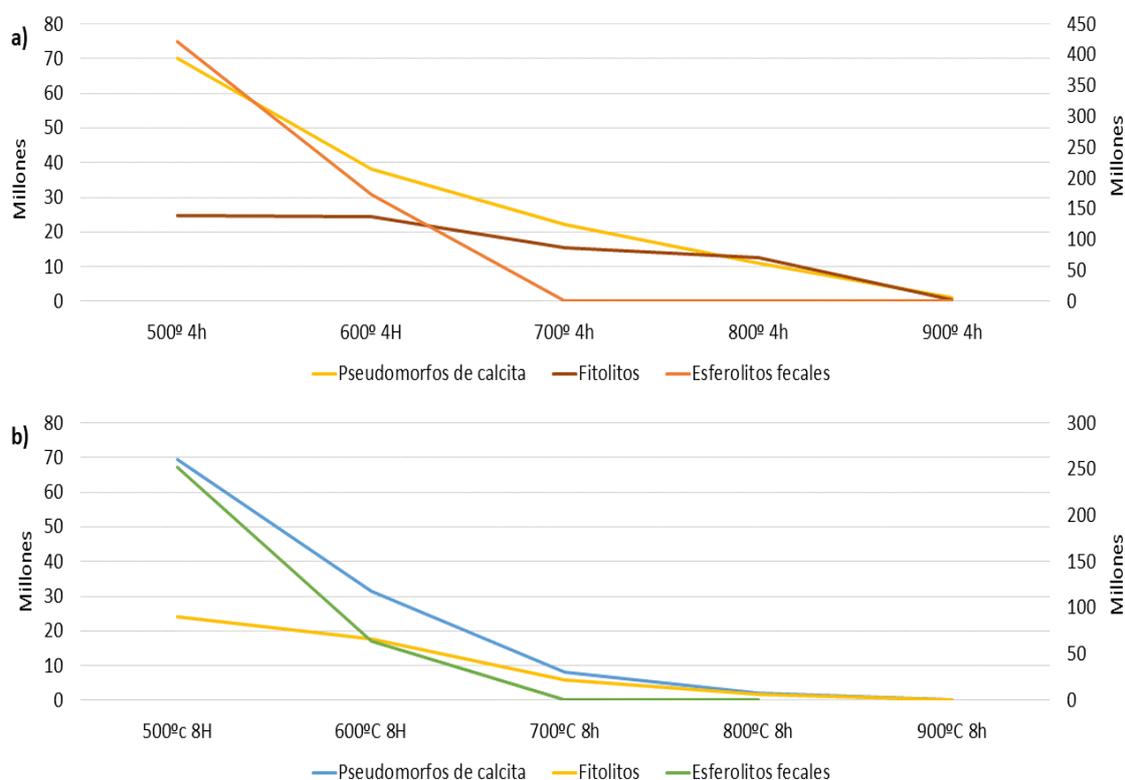


Figura 17. Diagrama que muestra el descenso en el número estimado de microrrestos por gramo de material, sometiendo el material a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro horas (a) y ocho horas (b). Nótese que el eje secundario refleja la cantidad estimada de esferolitos por gramo de material seco. En el diagrama se aprecia cómo la cantidad estimada de microrrestos desciende a medida que aumentan las temperaturas. Este decrecimiento es más drástico cuando el tiempo de exposición aumenta a ocho horas. El eje de la izquierda representa los esferolitos por gramo de sedimento.

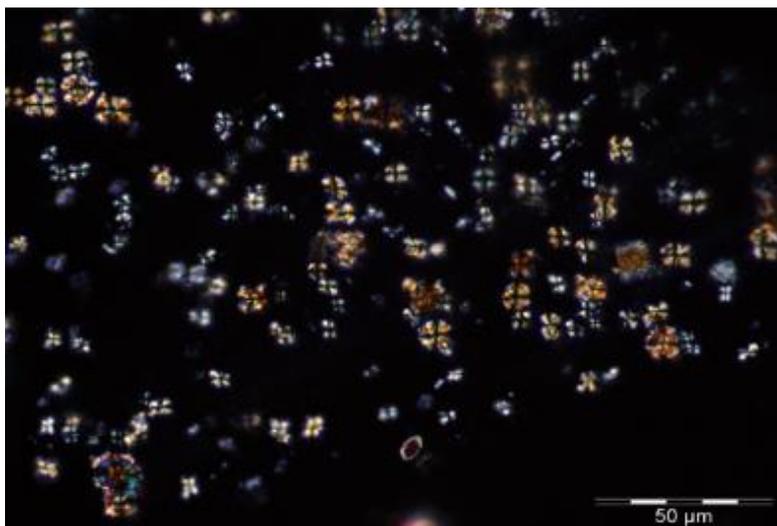


Figura 18. Microfotografía bajo luz polarizada tomada a 400x aumentos de los esferulitos extraídos del material de referencia quemado a 500°C durante ocho horas. En la imagen podemos observar cómo los microrrestos se disponen de manera disgregada en la lámina.

5.2.1.2 *Fitolitos en el estiércol*

El efecto del fuego y la temperatura también afecta a la concentración de fitolitos en el estiércol en función de la temperatura y su prolongación en el tiempo, aunque de forma diferente a los esferulitos. Las diferencias en la cantidad de fitolitos quemados a 500°C y 600°C durante cuatro horas son mínimas puesto que se alcanza un promedio de 25 y 24,5 millones de fitolitos por gramo de material seco (Tabla 8 y Figura 17a). A 700°C la cantidad de fitolitos disminuye un 36% alcanzando la cifra de 15,5 millones. La concentración inicial se reduce en un 50% con respecto cuando la temperatura aumenta a 800°C aportando una cantidad estimada de microrrestos de 12,5 millones. Finalmente, la presencia de fitolitos se rebaja drásticamente con temperaturas de 900°C, perdiendo el 98,2% de microrrestos y presentando valores de 460 mil fitolitos por gramo de material seco (Tabla 8 y Figura 17a).

Si estas temperaturas se dilatan en el tiempo hasta ocho horas, los efectos son aún más visibles (Tabla 8 y Figura 17a). En un primer momento, el número de fitolitos por gramo de material seco detectados en el material quemado a 500°C durante ocho horas es similar al documentado a la misma temperatura durante cuatro horas, 24 millones. A 600°C esta cantidad desciende en un 26,7% hasta los 17,6 millones.

Cuando la temperatura alcanza los 700°C el descenso es mucho más acusado, disolviéndose el 75% de los microrrestos, quedando 6 millones de fitolitos estimados por gramo de material seco. En el momento que se alcanzan temperaturas superiores de 800°C y 900°C la cantidad de fitolitos disminuye en un 92,6% y 99,6% respectivamente, de modo que los valores llegan a 1,8 millones y 90 mil fitolitos por gramo de material seco (Tabla 8 y Figura 17b). A excepción de las quemas a 900°C, en las que el porcentaje de disolución es bastante similar a cuatro y ocho horas de combustión, es posible observar que el porcentaje de disolución es más alto durante ocho horas. En cualquier caso, la cantidad de fitolitos detectada durante cuatro horas de combustión es sensiblemente mayor que las cantidades obtenidas en el material combustionado durante ocho horas.

Es interesante detenernos en analizar la presencia de las estructuras multicelulares en las quemas a diferentes temperaturas. El porcentaje detectado en el material quemado durante 4 horas a 500°C alcanza el 7,8%, el cual va en aumento hasta alcanzar 11,3% a 700°C (Tabla 9). Por el contrario, este porcentaje disminuye drásticamente a 800°C reduciéndose a un 7,5% (Tabla 9).

Tiempo (horas)	Temperatura	Esferolitos por g. material seco (millones)	% esferolitos alterados químicamente	Pseudomorfos por g. de material seco (millones)	% pseudomorfos disueltos	Fitolitos por g. de material seco (millones)	% fitolitos disueltos
4	500°C	42	-	70	-	25	-
	600°C	173	59	38	46	24	2,0
	700°C	-	-	22	68	15	38,0
	800°C	-	-	11	84	12	50,0
	900°C	-	-	1	99	0,46	98,2
8	500°C	253	-	69	-	24	-
	600°C	64	75	31	55	17	26,7
	700°C	-	-	8	88	6	75,0
	800°C	-	-	2	97	2	92,5
	900°C	-	-	0	99	0,09	99,6

Tabla 8. Relación del número estimado de microrrestos por gramo de material seco obtenidos a temperaturas de 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro y ocho horas. En la tabla se detalla tanto el promedio de microrrestos calculado como el % de disolución.

Durante ocho horas de combustión el porcentaje de estructuras multicelulares se mantiene estable a 500°C y 600°C con porcentajes de 7,5% y 7,2% respectivamente (Tabla 9). A temperaturas de 700°C y 800°C la cantidad de estructuras multicelulares aumenta levemente hasta 8,2% y 9,2% respectivamente (Tabla 9).

Tiempo (horas)	Temperatura	% estructuras multicelulares
4	500°C	7,8
	600°C	8,6
	700°C	11,3
	800°C	7,5
	900°C*	6,1
8	500°C	7,6
	600°C	7,3
	700°C	8,2
	800°C	9,3
	900°C*	0,0

Tabla 9. Porcentaje de estructuras multicelulares en el material de referencia combustionado durante cuatro y ocho horas a 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C. *no interpretado.

5.2.1.3 Caracterización morfológica del registro fitolitológico

El conjunto de fitolitos extraídos del estiércol utilizado para realizar las quemas experimentales refleja la dieta del ganado, el cual se ha alimentado de pasto durante la primavera, época en la que se realizó el muestreo. Los fitolitos están presentes de manera individual o bien en conexión anatómica, formando estructuras multicelulares. Estos últimos proceden en su mayoría de hojas/tallos de gramíneas.

En lo que respecta a la procedencia taxonómica de los fitolitos del estiércol, la mayor parte proceden de plantas Poaceae y en particular de la subfamilia *Pooideae* de patrón fotosintético C₃.

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio%
RONDEL	GSSCP C ₃	40,71
ELONGATE ENTIRE	Monocotiledóneas	32,44
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de Poaceae	10,62
TRAPEZOID	GSSCP C ₃	5,31
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	2,21
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	2,19
PAPILLAR	Cyperaceae	1,91
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	1,22
BLOCKY	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,79
BILOBATE	GSSCP C ₄	0,68
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,54
STOMATA	Monocotiledóneas	0,40
ELONGATE TUBERCULATE	Inflorescencia de Poaceae	0,37
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	0,30
IRREGULAR PSILATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,23
POLYLOBATE	GSSCP C ₄	0,23
HAIR BASE	Hojas de dicotiledóneas	0,16
TRACHEARY	Hojas de dicotiledóneas	0,07

Tabla 10. Lista de morfotipos identificados en las muestras del material fecal actual. Cada morfotipo presenta su adscripción taxonómica o anatómica según proceda, así como el porcentaje promedio de individuos identificados.

Dentro de este grupo de la subfamilia C₃ *Pooideae*, los morfotipos más abundantes son las RONDEL, que suponen un promedio del 40% del total del registro morfológico (Tabla 10). Aunque en menor medida, también se han documentado BILOBATE y POLYLOBATE las cuales suponen un 0,7 y un 0,2% del registro respectivamente (Tabla 10). Las plantas gramíneas también están representadas en el registro por morfotipos ELONGATE SINUATE (10,6%), ELONGATE DENDRITIC (0,54%) y ELONGATE DENTATE (0,43%) (Tabla 10).

También se ha documentado una elevada presencia de ELONGATE ENTIRE, común en las Poaceae pero también en otras plantas monocotiledóneas. En este sentido también se han identificado morfotipos diagnósticos la familia Cyperaceae

(juncos), plantas riparias, representadas por el morfotipo PAPILLAR (1,9%) (Ollendorf, 1992) (Figura 19a y b).

Por otro lado, los fitolitos de plantas dicotiledóneas son los menos abundantes en el registro y suponen únicamente un 1,25% del total, incluyendo los morfotipos IRREGULAR PSILATE, BLOCKY (tronco/corteza), ACUTE BASE y TRACHEARY (hojas) (Figura 19).

5.2.1.4. Efectos del fuego en la caracterización morfológica de los fitolitos

A continuación, evaluaremos los efectos del fuego en la caracterización morfológica del conjunto de fitolitos extraídos del estiércol actual. Como se aprecia en los resultados de la experimentación hay morfotipos que permanecen más o menos estables independientemente de la temperatura que se haya aplicado. En este sentido, durante cuatro horas de combustión los morfotipos RONDEL, ELONGATE PSILATE, TRAPEZOID, ELONGATE SINUATE, ACUTE BULBOSUS y POLYGONAL SCROBICULATE son los más estables (Figura 19a). Por su parte, a partir de 600°C observamos la aparición del morfotipo ELONGATE RUGOSE, y su presencia va en aumento hasta los 800°C (Figura 19a). La rugosidad de la superficie posiblemente se deba a los efectos de la combustión (Cabanés et al., 2011a), por lo que en este caso no debería considerarse un morfotipo en sí mismo, sino un producto alterado por la combustión.

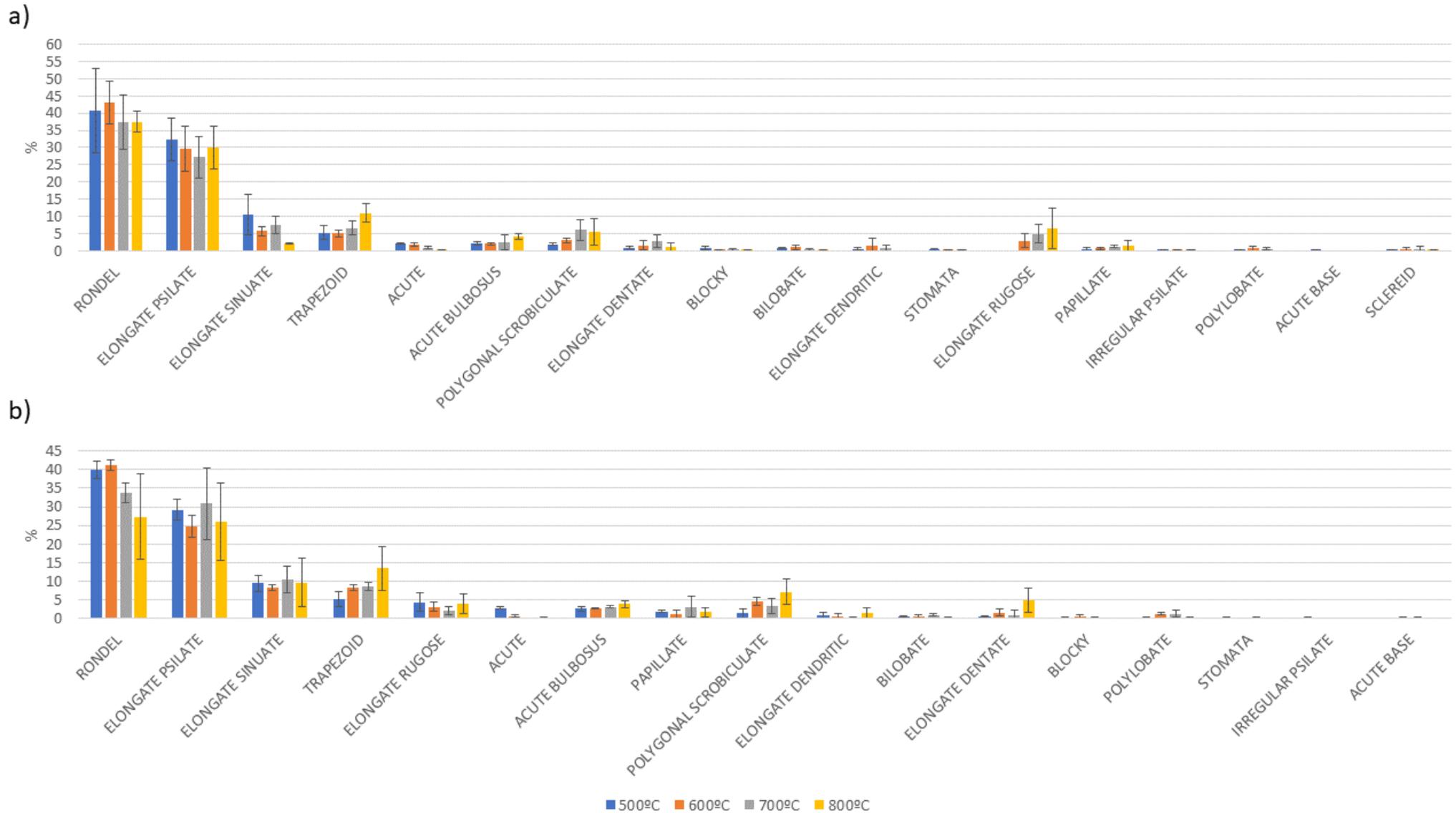


Figura 19. Histogramas con el porcentaje promedio de morfologías identificadas en el material de referencia durante la combustión a 500°C, 600°C, 700°C, 800°C y 900°C durante cuatro (a) y ocho (b) horas respectivamente, donde n=3. Las barras muestran la desviación estándar a 1σ .

No encontramos una gran variación en las morfologías si aumentamos el tiempo a ocho horas, aunque sí que hay matices que conviene tener en cuenta. En primer lugar, las morfologías que se mantenían estables durante cuatro horas de combustión mantienen sus porcentajes: RONDEL, ELONGATE PSILATE, TRAPEZOID, ELONGATE SINUATE (Figura 19a y b). Por el contrario, otros morfotipos no son tan resistentes y pierden visibilidad en el registro. El caso más evidente es el morfotipo ACUTE, que aparece de manera significativa únicamente en el material quemado a 500°C desapareciendo del registro a temperaturas más altas. Ello está en consonancia con los datos reportados por Cabanes et al., (2011a) que apuntan a que esta morfología es más tendente a la disolución. Finalmente, los ELONGATE RUGOSE aparecen ya a 500°C de combustión, al contrario de lo que ocurre cuando el tiempo de quema es de cuatro horas, que no comienzan a aparecer a 700°C (Figura 17b).

5.2.1.5 Alteraciones térmicas provocadas por la exposición de los fitolitos a altas temperaturas.

Una de las observaciones más interesantes es la aparición de la alteración térmica en los fitolitos que podemos agrupar en fitolitos con signos de haber sido combustionados, fitolitos derretidos (Figura 20) y escorias de sílice (Figura 21). Los primeros muestran alteraciones en su coloración, que se vuelve más oscura, la aparición de burbujas en su superficie y la imposibilidad de identificar su morfología. Antes de llegar a aparecer derretidos, existen alteraciones en la coloración y la textura de la superficie. En lo que se refiere a la coloración, un ejemplo claro es el del morfotipo PAPILLATE que presenta su apéndice medial muy oscurecido a partir de 700°C, coincidiendo con el estudio de Weiner et al. (2020). Por lo que respecta a la alteración de la textura de la superficie, el ejemplo más ilustrativo lo encontramos con las ELONGATE ENTIRE, que pasan a presentar una textura rugosa a partir de los 600°C en combustiones de ocho horas (Figura 16b).

El proceso más interesante es la aparición, a partir de 800°C, de escorias de sílice derivadas de fitolitos derretidos (Weiner et al., 2020). Este tipo de elementos han

sido detectado en hornos de sociedades preindustriales, en los que la temperatura del fuego es muy alta y prolongada en el tiempo. En la literatura especializada reciben el nombre de escorias de sílice, y están relacionadas con la cristobalita, polimorfo de sílice que se produce a altas temperaturas ($>800^{\circ}\text{C}$) (Gur-Arieh et al., 2013; Portillo et al., 2017; Weiner, 2010 Weiner et al, 2020).

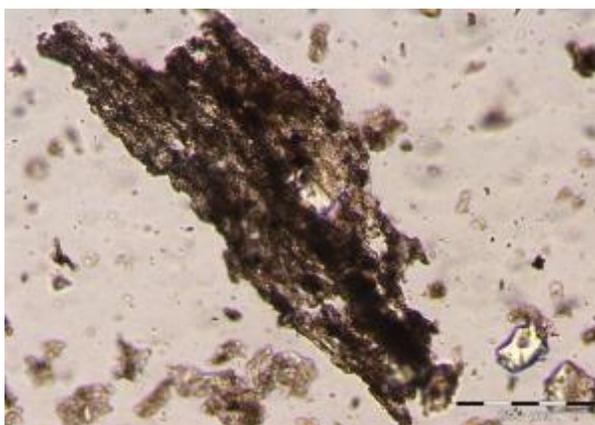


Figura 20. Microfotografía tomada a 200x de una estructura multicelular procedente del material de referencia quemado durante ocho horas a 900°C . Se puede apreciar cómo el color del fitolito se ha oscurecido y es difícil identificar una forma concreta, ya que los fitolitos aparecen fusionados unos con otros.

Durante cuatro horas de combustión, las alteraciones propias de los fitolitos derretidos comienzan a hacerse visibles ya a 600°C , aunque en un porcentaje muy poco significativo de 0,5%, mientras que a 700°C aumenta hasta 3,2% (Figura 22a). La presencia de fitolitos alterados térmicamente se dispara hasta el 26,5% a 800°C apareciendo también escorias de sílice, aunque en un porcentaje menor, 11,3%. A 900°C esta tendencia se invierte pudiéndose observar que las escorias de sílice están presentes en un 84,9%, mientras que los fitolitos derretidos solo representan el 8,5% (Figura 22a).

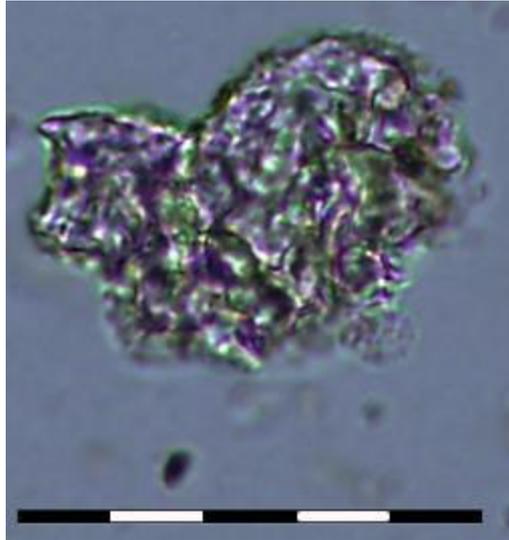


Figura 21. Microfotografía tomada a 400x de una escoria de sílice recuperada de la muestra -1 del perfil Oeste de San Cristóbal. La escala representa 50 μ m.

Cuando el tiempo de cremación aumenta a ocho horas, la alteración térmica de los fitolitos aparece ya a 500°C, aunque únicamente el 0,2% de los fitolitos están derretidos, aumentando al 4,23% a 600°C y a 44,2 a 700°C (Figura 22b) El porcentaje de fitolitos derretidos es de 59,2% a 800°C y, de nuevo, a esta temperatura aparecen las escorias de sílice en un porcentaje de 7,4%. Otra vez, esta tendencia se invierte a 900°C de tal manera que el porcentaje de fitolitos derretidos desciende a 0,3% disparándose la presencia de escorias de sílice hasta un 98% (Figura 22b).

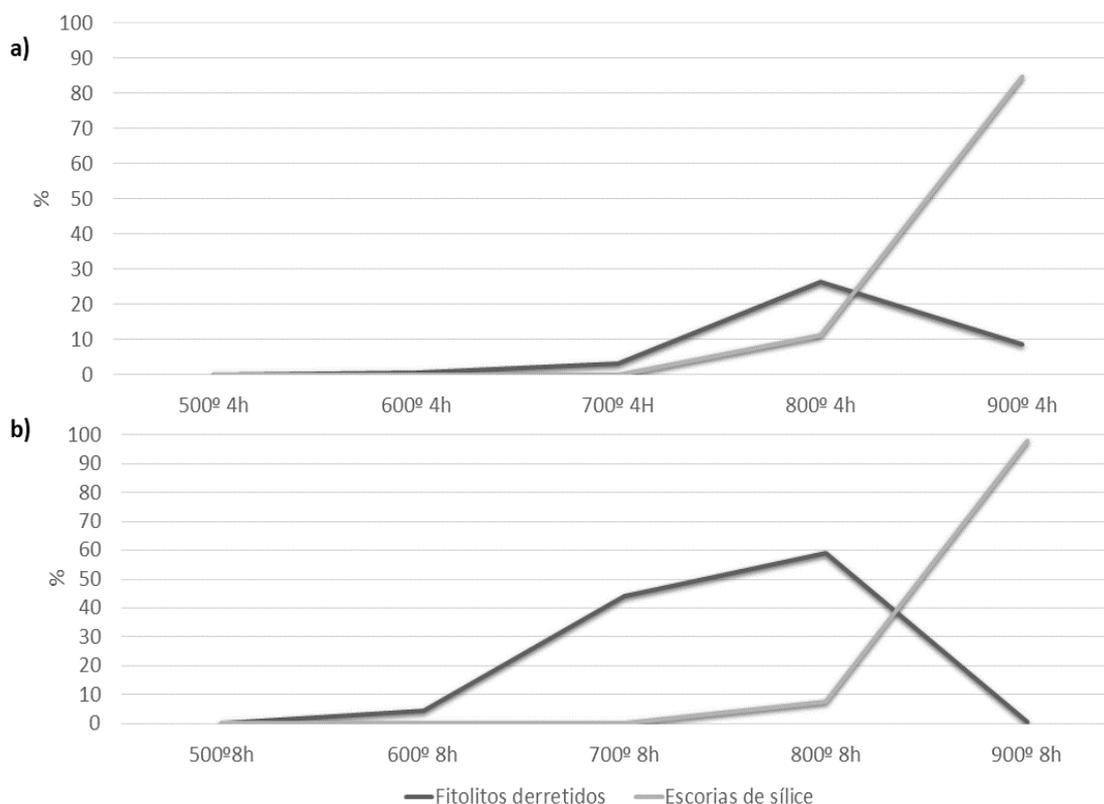


Figura 22. Diagrama que muestra el porcentaje de fitolito derretidos y escorias de sílice que aparecen en el estiércol actual quemado a cuatro (a) y ocho (b) horas respectivamente y a diferentes temperaturas. Se observa cómo la alteración térmica es más visible cuando el material se combustiona durante ocho horas (b), apareciendo fitolitos derretidos ya a 600°C mientras que durante cuatro horas de combustión los fitolitos necesitan de 700°C para derretirse (a). Por el contrario escorias de sílice necesitan al menos 800°C para formarse independientemente del tiempo de combustión.

5.2.1.6 Composición mineralógica del estiércol.

Los resultados mineralógicos muestran algunas diferencias en los difractogramas de FTIR en virtud de los cambios en la temperatura, estas diferencias se dan principalmente a partir de 700°C (Figura 23), con independencia del tiempo que se hayan prolongado las quemas. La variación más importante es la disminución del pico de carbonato en torno a 1400cm^{-1} . Este pico, junto a los picos 874 y 3400cm^{-1} son indicativos de la presencia de carbonatos. El carbonato es un mineral polimorfo, por lo que puede presentarse de diferente manera en los sedimentos. Teniendo en cuenta la naturaleza del material analizado, estiércol en este caso concreto, esos picos nos están indicando la presencia de monohydrocalcita,

componente principal de los esferolitos fecales (Shahack-Gross et al., 2003; Weiner, 2010).

Además de los carbonatos, se pueden distinguir otros dos grupos en la composición mineralógica del material analizado: fosfatos y silicatos. Los fosfatos, relacionados directamente con la presencia de materia orgánica, están representados por el carbonato de hydroxylapatito, también conocido como dalita. La dalita es un mineral autigénico producto de la interacción de los fosfatos presentes en la materia orgánica con la calcita y resulta un marcador muy útil para detectar la presencia de materia orgánica en los sedimentos (Shahack-Gross et al., 2003, 2004; Albert et al., 2003, 2008; Karkanis et al., 2000; Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2010; Weiner et al., 2002; Weiner, 2010; Shahack-Gross, 2011).

En el grupo de los silicatos encontramos principalmente arcillas, pues forman parte de la fracción mineral del estiércol, ya que son partículas que pueden ser ingeridas como parte de contaminación o bien adheridas tras la deposición (Shahack-Gross, 2011). El pico identificativo de las arcillas se mueve a valores mayores a 1030cm^{-1} al tiempo que los picos de la banda de 3600cm^{-1} desaparecen, en consonancia con el aumento de las temperaturas (Figura 23) (Berna et al., 2007). A partir de los 800°C empiezan a aparecer picos prominentes en torno a 900cm^{-1} , los cuales se hacen más visibles en los difractogramas de 900°C . Estos picos están relacionados con la alteración térmica de las arcillas (Berna et al., 2007). Además de las arcillas, está presente el ópalo, componente fundamental de los fitolitos y que se encuentra representada en los picos en torno a 1630cm^{-1} , 1102cm^{-1} , 792cm^{-1} y 695cm^{-1} (Figura 23) (Weiner, 2010). La acción del fuego sobre la sílice produce cristobalita que comienza a formarse a partir de los 700°C (Weiner 2010; Weiner et al., 2020). En consecuencia, deberíamos encontrar los picos característicos (1633cm^{-1} , 119cm^{-1} , 1094cm^{-1} , 796cm^{-1} y 62cm^{-1}) al menos en los espectros a partir de dicha temperatura y sin embargo en ninguno de los difractogramas obtenidos hemos podido detectar ninguno de los picos característicos.

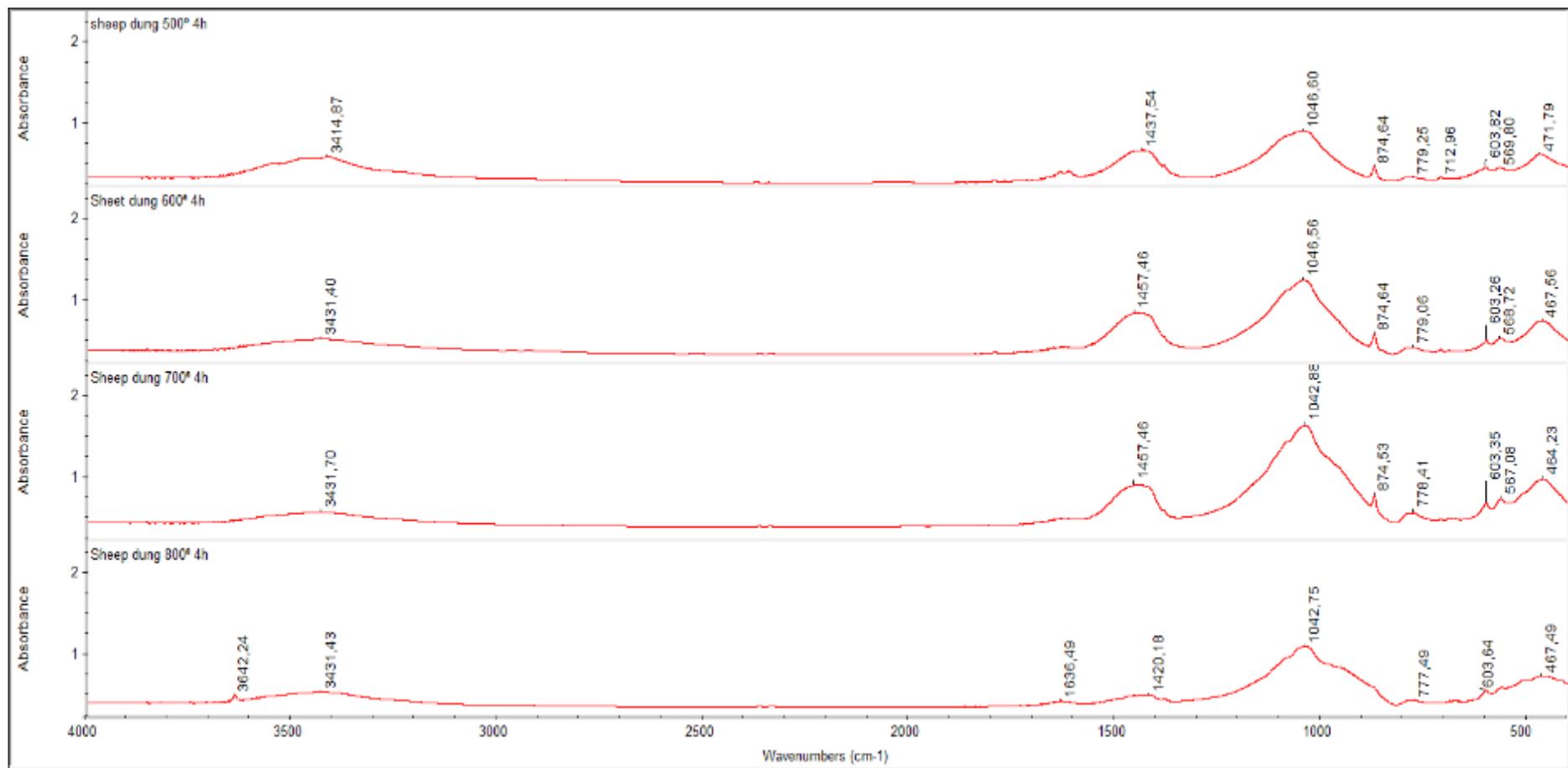


Figura 23. Difractogramas de FTIR procedentes de las cenizas de estiércol utilizadas para analizar el comportamiento de los esferulitos y fitolitos sometidos a las altas temperaturas.

5.2.2 Plantas modernas: hojas y ramas de *Quercus* sp.

De las plantas modernas solo se estudiaron los pseudomorfos de calcita, pero no los fitolitos. Respecto al impacto de la combustión sobre los pseudomorfos de calcita, los valores estimados por gramo de material quemado se muestran en la

Tabla 8 y Figura 17. Como en el caso de los esferolitos se observa una disminución en la presencia de estos microrrestos en relación con la temperatura, aunque en este caso, pueden identificarse todavía entre 800-900°C. La cantidad de pseudomorfos de calcita detectada a temperaturas de 500°C durante cuatro horas es de 70 millones por gramo de material, cantidad que disminuye en un 46% hasta reducirse a 38 millones a 600°C. Estos valores se reducen de nuevo en un 68%, siempre con respecto a la cantidad inicial, hasta 22,2 millones a temperaturas de 700°C. De nuevo, a 800°C estos microrrestos desaparecen en un 84%, llegando a la cifra de 11 millones de microrrestos estimados por gramo de material seco. Además, a esta temperatura se pueden apreciar cambios en su apariencia con una coloración más oscura, prácticamente negra. Por último, la disminución más drástica se produce a 900°C en la que se pierde el 99% de microrrestos alcanzando la cantidad de 46.000 (

Tabla 8 y Figura 17).

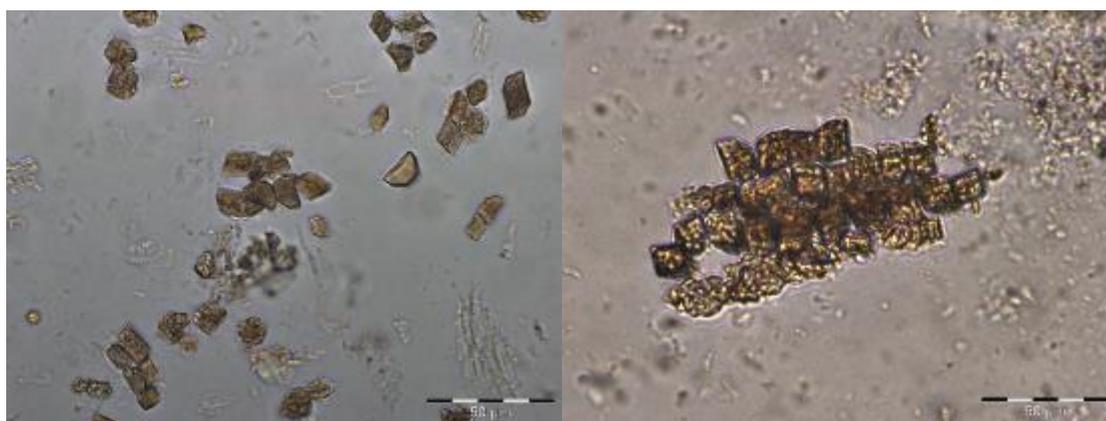


Figura 24. Microfotografías tomadas a 400x aumentos de los pseudomorfos de calcita extraídos a 500°C durante cuatro horas (a) y a 700°C durante ocho horas (b). La imagen a muestra los pseudomorfos de calcita disgregados, mientras que en la imagen b a la muestra en una pequeña acumulación.

Durante ocho horas de combustión, las cantidades iniciales a 500°C y 600°C no varían demasiado con respecto a la cantidad documentada durante cuatro horas de quema. La cantidad estimada de pseudomorfos de calcita en el primer caso es de 69,5 millones por gramo de material. Esta cantidad disminuye en un 55% a 600°C llegando a los 31,5 millones de microrrestos. El cambio más sustancial comienza cuando la temperatura sube a 700°C ya que el 88% de los pseudomorfos desaparece, documentándose valores estimados de en torno a 8 millones. Una vez la temperatura alcanza los 800°C ese porcentaje de disolución se eleva a 97% y la cantidad de pseudomorfos de calcita detectados es de 2 millones. Finalmente, el material vegetal sometido a temperaturas de 900°C durante ocho horas no presenta ningún microrresto (Tabla 8 y Figura 17).

En definitiva, y al igual que ocurre en el caso de los esferolitos, la prolongación de las quemas en el tiempo tiene como resultado una mayor disolución de los pseudomorfos de calcita, de tal manera que cuanto más tiempo se exponen estos microrrestos a la combustión mayor cantidad de microrrestos se disuelven.

En nuestro estudio, las morfologías identificadas corresponden fundamentalmente a poliedros, abundantes en plantas dicotiledóneas y, de manera aislada, alguna drusa. Los primeros presentan formas romboédricas y prismáticas que pueden aparecer disgregados de manera individual o bien formando pequeñas agrupaciones (Figura 24).

*5.2.2.1 Composición mineralógica del material de referencia, hojas y ramas de *Quercus sp.**

En lo que respecta a las cenizas resultantes de combustión de ramas y hojas de *Quercus sp.*, la composición mineralógica varía, en primer lugar, en función de la temperatura alcanzada y en segundo lugar de la duración de la quema. El difractograma de FTIR resultante de la quema del material vegetal a 500°C durante cuatro y ocho horas coincide con el difractograma de la calcita, cuyos picos de absorción se establecen en torno a 1436cm⁻¹, 875cm⁻¹ y 712cm⁻¹. Las variaciones durante las cuatro horas de quema comienzan a 700°C, cuando aparece un pico a

3.642cm^{-1} que se mantendrá en el resto de difractogramas. Este pico es representativo de hidróxido de calcio, denominado comúnmente cal. Durante ocho horas, el pico de cal a 3.642cm^{-1} aparece antes, a 600°C , temperatura mínima a la que la calcita se convierte en cal (Toffolo y Boaretto, 2014; Weiner, 2010). También existen variaciones en los picos de la banda en torno a 1100cm^{-1} , ya que se mueven a valores más altos a medida que la temperatura aumenta (Figura 25).

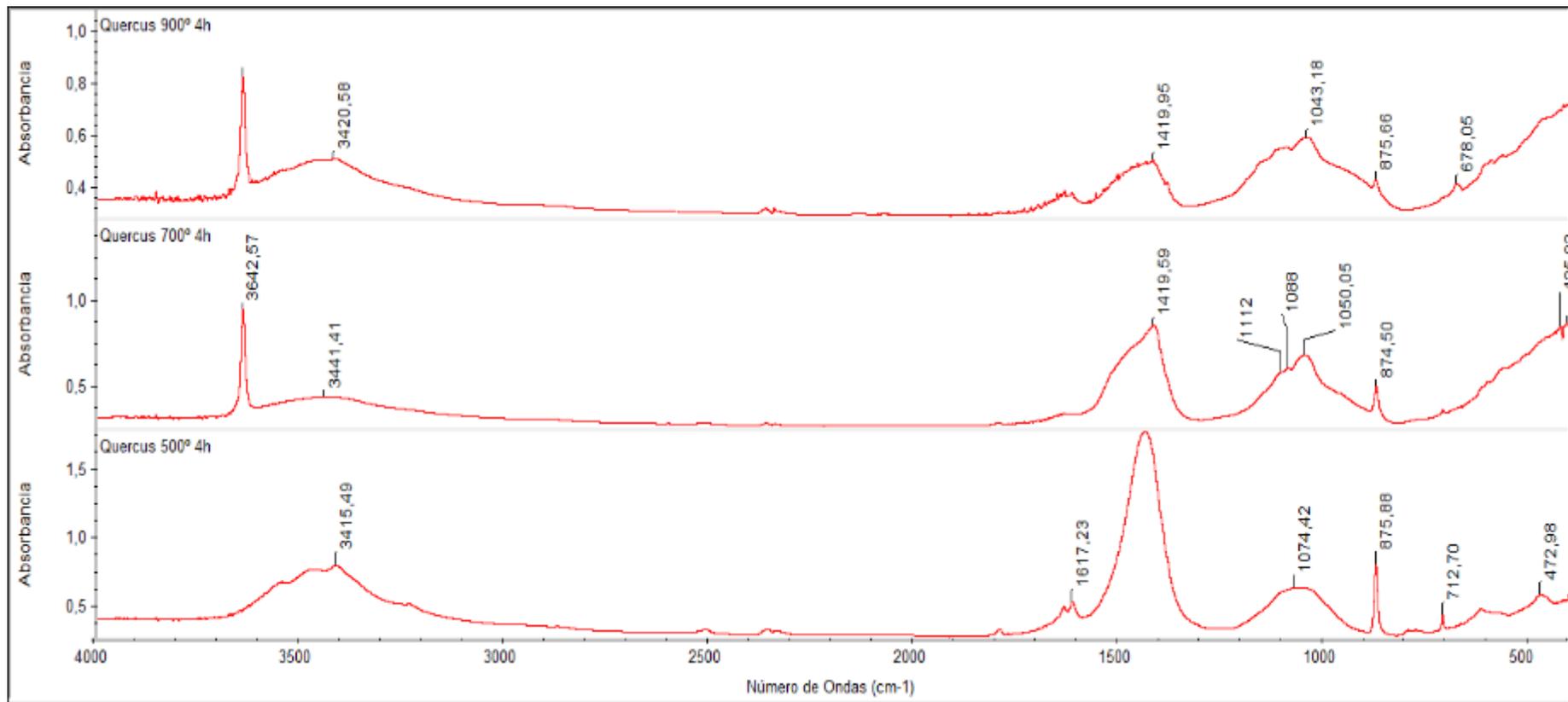


Figura 25. Difractograma de FTIR procedente de las cenizas de *Quercus sp.* utilizadas para analizar el comportamiento de pseudomorfos de calcita sometidos a las altas temperaturas

5.3 Muestras arqueológicas

A continuación, analizaremos los resultados obtenidos del estudio de fitolitos, esferolitos fecales y pseudomorfos de calcita recuperados de las muestras arqueológicas. Los resultados serán expuestos por yacimiento y, dentro de cada yacimiento, cada perfil muestreado será analizado independientemente. Al final de este apartado mostraremos los resultados de los análisis mineralógicos (FTIR).

5.3.1 San Cristóbal

5.3.1.1 Perfil Este

De este perfil se han analizado 22 muestras (Tabla 6 y Figura 9). En general, tanto fitolitos como esferolitos fecales se encuentran en abundancia en prácticamente todas las muestras (Tabla 11). Lo mismo ocurre con los pseudomorfos de calcita que también están presentes en la mayoría de las muestras. Los esferolitos se han detectado de manera dispersa, aunque puntualmente también hemos podido documentarlos formando pequeñas aglomeraciones. En lo que respecta a las morfologías de los pseudomorfos de calcita, solo se han podido identificar romboedros y poliedros.

A esta tendencia hay que señalar excepciones importantes. En primer lugar, la muestra E33 del Nivel XIII no presenta ninguno de los tres microrrestos (Tabla 11). En las muestras E34 y E35 procedentes del Nivel XIII inferior no se han podido detectar fitolitos ni esferolitos (Tabla 11). Por otro lado, las muestras E29, Nivel XI, y E32, Nivel XIII, no albergan esferolitos ni pseudomorfos de calcita (Tabla 11). Estas últimas se caracterizan por proceder de un sedimento concrecionado y presentar un color ceniciento. Por último, en el Nivel IX las muestras E18 y E19 y en el Nivel X la muestra E26, no contienen esferolitos (Tabla 11). De éstas, las muestras E18 y E26 proceden de sedimentos blancos, cenizosos, mientras que la E19 se corresponde con un estrato rojizo ubicado bajo la capa de ceniza de la muestra E18.

En lo que respecta al PSR, que nos permite identificar si el sedimento está formado por estiércol (ratio de 0 a 5) o bien por madera (ratio >5), únicamente en tres muestras la ratio sobrepasa el valor de 5, E16 y E20 (Nivel IX) y E27 (Nivel X). Para las muestras E18, E19 (Nivel IX), E26 (Nivel X), E34 y E35 (Nivel XIII inf.) no ha sido posible aplicar la ratio dada la ausencia de esferolitos fecales (Tabla 11). De la misma manera, las muestras E29 (Nivel XI) y E32 (Nivel XIII) no tienen PSR debido a la ausencia de ambos microrrestos (Tabla 11). Finalmente, cabe destacar que las muestras E30 a E35 (Niveles XI a XIII inf.) contienen agregados en forma de aguja, posiblemente de calcita, brillantes bajo luz polarizada (Figura 26). Estas agujas de calcita pueden tener dos orígenes diferentes: uno relacionado con periodos de sequía largos alternados con cortos períodos muy húmedos, en los que el agua supersaturada de carbonato cálcico que se acumula, se evapora rápidamente y el carbonato cálcico precipita en forma de aguja. Otro de los orígenes de estos microrrestos está relacionado con biomineralizaciones derivadas de la presencia materia orgánica o con microorganismos que las generan (Verrechia y Verrechia, 1994).

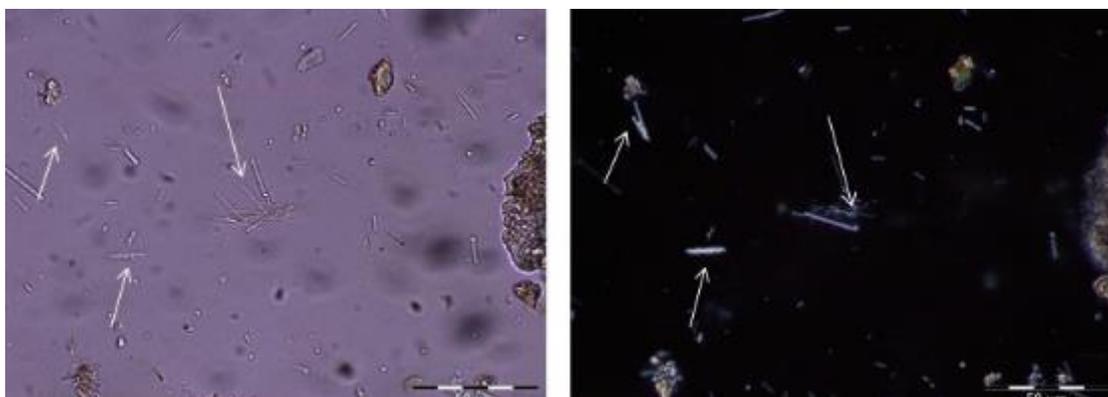


Figura 26. Microfotografía tomada a 400x aumentos bajo luz incidente y bajo luz polarizada, donde se pueden apreciar las formaciones de carbonato cálcico en forma de aguja procedentes de la muestra E30.

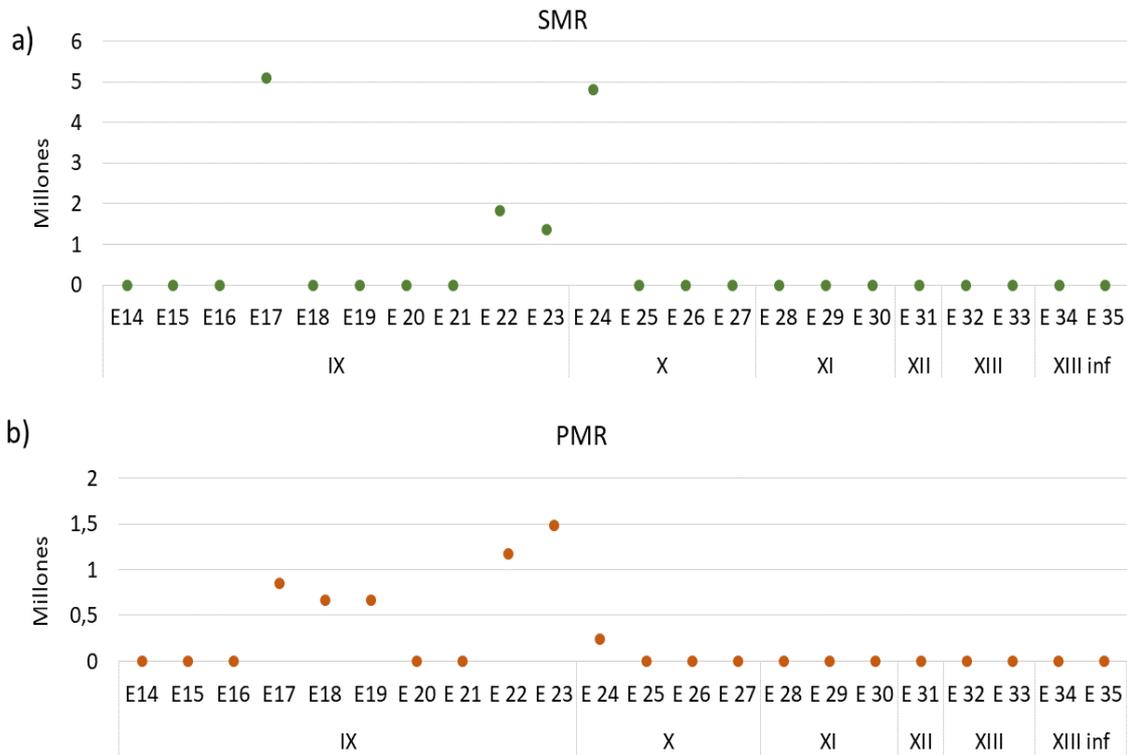


Figura 27. Ratio entre esferolitos (SMR)(a) y pseudomorfos de calcita (PMR)(b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en el perfil Este de San Cristóbal. En ambos histogramas se aprecia como la cantidad de microrrestos calcíticos desciende en función de los fitolitos alterados térmicamente y, en consecuencia, en función de la temperatura alcanzada por el sedimento.

Las ratios SMR y PMR permiten evaluar la acción del fuego sobre los microrrestos calcíticos. En el caso del perfil Este de San Cristóbal, en aquellas muestras donde se han detectado fitolitos alterados térmicamente, se observa una relación directa entre el efecto de las temperaturas y el número de microrrestos calcíticos presentes, disminuyendo éstos últimos cuanta mayor cantidad de fitolitos alterados térmicamente encontramos (Figura 27).

Muestra	Nivel	#fitolitos identificados	Fitolitos por g. de sedimento	% fitolitos alterados químicamente	% fitolitos derretidos	% estructuras multicelulares	Esferolitos por g. de sedimento	Pseudomorfos de calcita	PSR
E14	IX	215	5.800.000	0,5	-	-	2.000.000	700.000	0,4
E15	IX	196	4.000.000	7,1	-	1,4	2.000.000	300.000	0,2
E16	IX	28*	13.200.000	58,8	-	-	40.000	3.000.000	75,0
E17	IX	212	17.100.000	2,8	0,5	-	2.000.000	400.000	0,2
E18	IX	174	4.300.000	13,4	2,2	-	0	1.000.000	-
E19	IX	192	4.100.000	13,1	0,5	-	0	300.000	-
E 20	IX	202	3.400.000	7,3	-	-	400.000	3.000.000	7,5
E 21	IX	211	9.600.000	2,3	-	0,9	1.000.000	2.000.000	2,0
E 22	IX	202	11.800.000	8,6	1,0	-	2.000.000	1.000.000	0,5
E 23	IX	207	6.000.000	0,0	0,5	0,5	6.000.000	700.000	1,2
E 24	X	215	18.000.000	5,7	1,8	1,9	8.000.000	400.000	0,1
E 25	X	200	11.400.000	0,0	-	-	5.000.000	1.000.000	0,2
E 26	X	158	350.000	20,2	-	0,6	-	11.000.000	-
E 27	X	200	1.500.000	8,3	-	-	200.000	3.000.000	15,0
E 28	XI	212	8.000.000	4,1	-	-	1.000.000	700.000	0,7
E 29	XI	220	10.000.000	0,0	-	-	-	-	-
E 30	XI	209	6.000.000	2,8	-	-	400.000	200.000	0,5
E 31	XII	209	10.000.000	7,5	-	-	1.000.000	400.000	0,4
E 32	XIII	116	8.800.000	44,8	-	-	-	-	-
E 33	XIII	-	0	-	-	-	-	-	-
E 34	XIII inf	-	0	-	-	-	-	100.000	-
E 35	XIII inf	-	0	-	-	-	-	300.000	-
SS5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 11. Principales resultados obtenidos del perfil Este de San Cristóbal. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado.

En lo que respecta a la conservación del conjunto de fitolitos de este perfil, el porcentaje de fitolitos alterados térmicamente es en general bajo, sin que el porcentaje de derretidos llegue a alcanzar el 2% (Tabla 11), y es nulo en las muestras E23 (Nivel IX), E25 (Nivel X) y E29 (Nivel XI) (Tabla 11). En las muestras E26 (Nivel XI) y E32 (Nivel XIII), donde no se ha podido identificar el número mínimo de 200 morfotipos (Tabla 11), el porcentaje de fitolitos químicamente alterados es de 20% y 44% respectivamente (Tabla 11). Los resultados del test de Pearson entre fitolitos alterados químicamente y fitolitos alterados térmicamente no muestran correlación alguna entre ambos ($p=-0,026$), con un valor de r^2 de 0,005 (Figura 28), indicando que el fuego no es el principal agente que altera la preservación de los fitolitos, sino que la alteración química de los mismos viene dada por la inestabilidad del sedimento donde se encuentran.

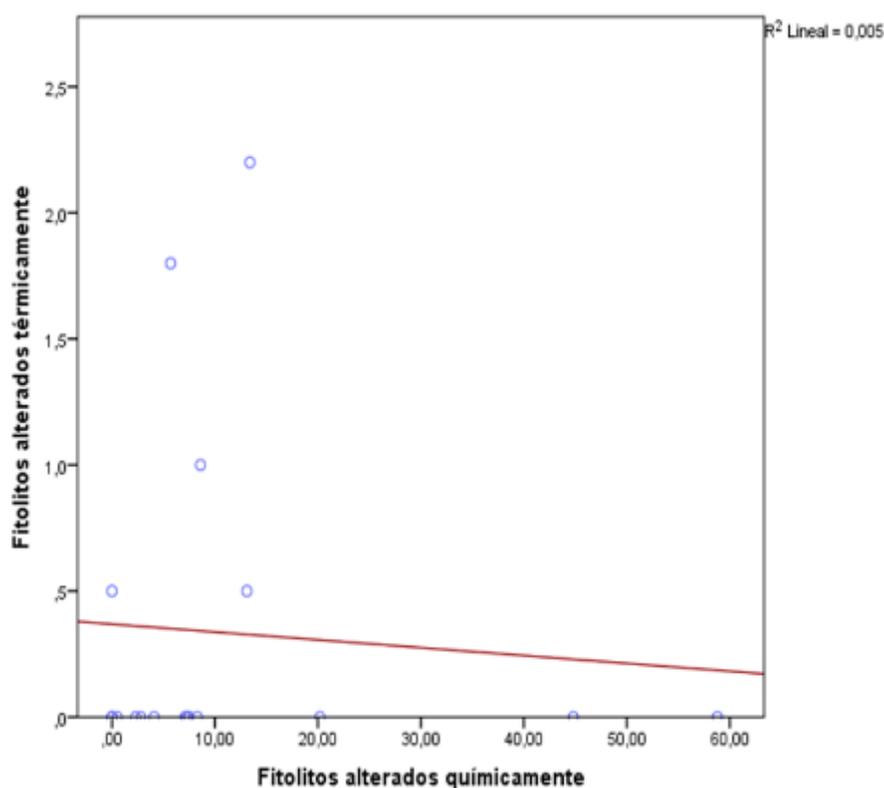


Figura 28. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Este de San Cristóbal.

Análisis morfológico de fitolitos

La adscripción taxonómica de los fitolitos recuperados está dominada por las plantas monocotiledóneas, especialmente de la familia de las Poaceae, subfamilia C_3 *Pooideae* cuya presencia alcanza porcentajes muy significativos de hasta el 79,7% (Figura 29 y Tabla 12). Estas plantas están representadas fundamentalmente por morfotipos RONDEL con un promedio del 59,7% del total de la secuencia (Tabla 12). Al mismo tiempo se ha detectado la presencia de morfotipos característicos de plantas C_4 o Arundinoideae, BILOBATE y POLYLOBATE, aunque su porcentaje no alcanza el 10%. La excepción es la muestra E26 (Nivel X), donde estos dos morfotipos presentan un porcentaje del 27%. A estas morfologías, hay que sumarles otros morfotipos que también son producidos por esta familia: ACUTE, ELONGATE ORNATE, PAPILLATE, ACUTE BULBOSUS y BULLIFORM FLABELLATE (Tabla 12). Asimismo, hemos documentado morfotipos característicos de otras plantas monocotiledóneas, pertenecientes a la familia Cyperaceae, aunque en un porcentaje muy bajo (0,2%) (Tabla 12).

En lo relativo al origen anatómico de los morfotipos identificados, el mayor porcentaje procede de hojas/tallos de Poaceae (Figura 29), representados fundamentalmente por ACUTE BULBOSUS y ELONGATE SINUATE (Tabla 12). Más aún, las partes correspondientes a las inflorescencias no alcanzan en ningún caso el 10% y no están presentes en todas las muestras (Figura 29). Los morfotipos de inflorescencia detectados son ELONGATE DENTATE y ELONGATE DENDRITIC, aunque su promedio es de 0,7%, seguido de PAPILLATE con un 0,1% (Tabla 12). Las inflorescencias producen mayor cantidad de fitolitos que las hojas/tallos (Tsartsidou et al., 2007) no obstante estos morfotipos son más delicados y, por tanto, su preservación en los sedimentos puede verse más comprometida (Albert et al., 2006; Cabanes et al., 2011a; Cabanes y Shahack-Gross, 2015).

Al mismo tiempo también es destacable la ausencia casi total de estructuras multicelulares, que solo están presentes en las muestras E21, E23 (Nivel IX), E24

y E26 (Nivel X) con valores que apenas alcanzan el 2%, a excepción de la muestra E24 (Nivel X) en la que el porcentaje asciende a 6% (Tabla 11).

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio %
RONDEL	GSSCP (C ₃)	54,5
ELONGATE PSILATE/RUGOSE	Monocotiledóneas	21,8
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	8,6
TRAPEZOID	GSSCP (C ₃)	5,1
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de Poaceae	3,5
BILOBATE	GSSCP (C ₄)	2,6
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	0,7
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,7
IRREGULAR PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,6
BLOCKY PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,4
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	0,3
SPHEROID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,3
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	0,2
ACUTE BASE	Hojas dicotiledóneas	0,2
PAPILLAR	Cyperaceae	0,2
POLYLOBATE	GSSCP (C ₄)	0,1
BULLIFORM FLABELLATE	Hojas de Poaceae	0,1
POLYGONAL	Hojas dicotiledóneas	0,1

Tabla 12. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Este de San Cristóbal, por orden porcentual de presencia, y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura especializada.

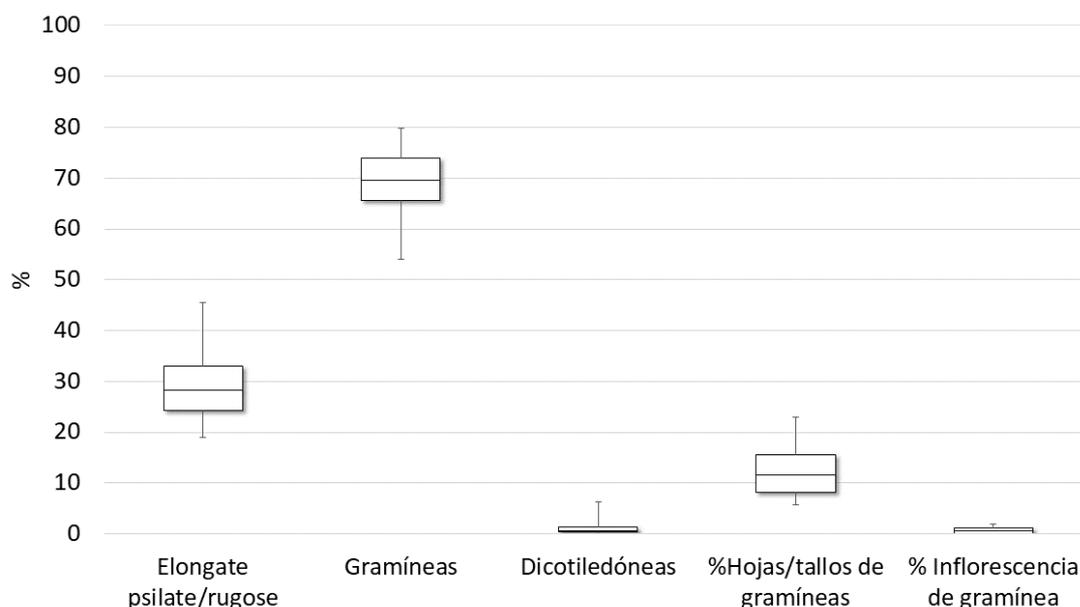


Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Este de San Cristóbal. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes.

De acuerdo con el modelo propuesto por Albert et al. (2018), la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP es una buena herramienta para conocer la presencia de ciperáceas. Esta ratio se basa en el aumento de la presencia de ELONGATE ENTIRE y la disminución de GSSCP, en zonas donde se detectan este tipo de plantas (Albert et al., 2018). Así, una ratio superior a 5 indica una mayor presencia de plantas ciperáceas en el registro. La Figura 30 muestra la ratio entre estos dos morfotipos aplicada al perfil Este de San Cristóbal. En ella observamos que la ratio no alcanza valores altos, más aun, estos valores no llegan ni siquiera a 1, lo que nos indicaría que la presencia de plantas de la familia de ciperáceas es residual.

En cuanto a los fitolitos de plantas dicotiledóneas tienen una presencia muy baja en la secuencia del perfil Este, sin llegar a alcanzar el 10% en ninguna de las muestras (Figura 29 y Tabla 12). Los morfotipos más abundantes son los producidos por el tronco/corteza de estas plantas, IRREGULAR, BLOCKY y SPHEROID PSILATE que no alcanzan el 0,5% en el conjunto de la secuencia (Tabla

12). Por su parte, las hojas están representadas por ACUTE BASE y POLYGONAL, también con un porcentaje muy bajo ($< 0,2\%$) (Tabla 12).

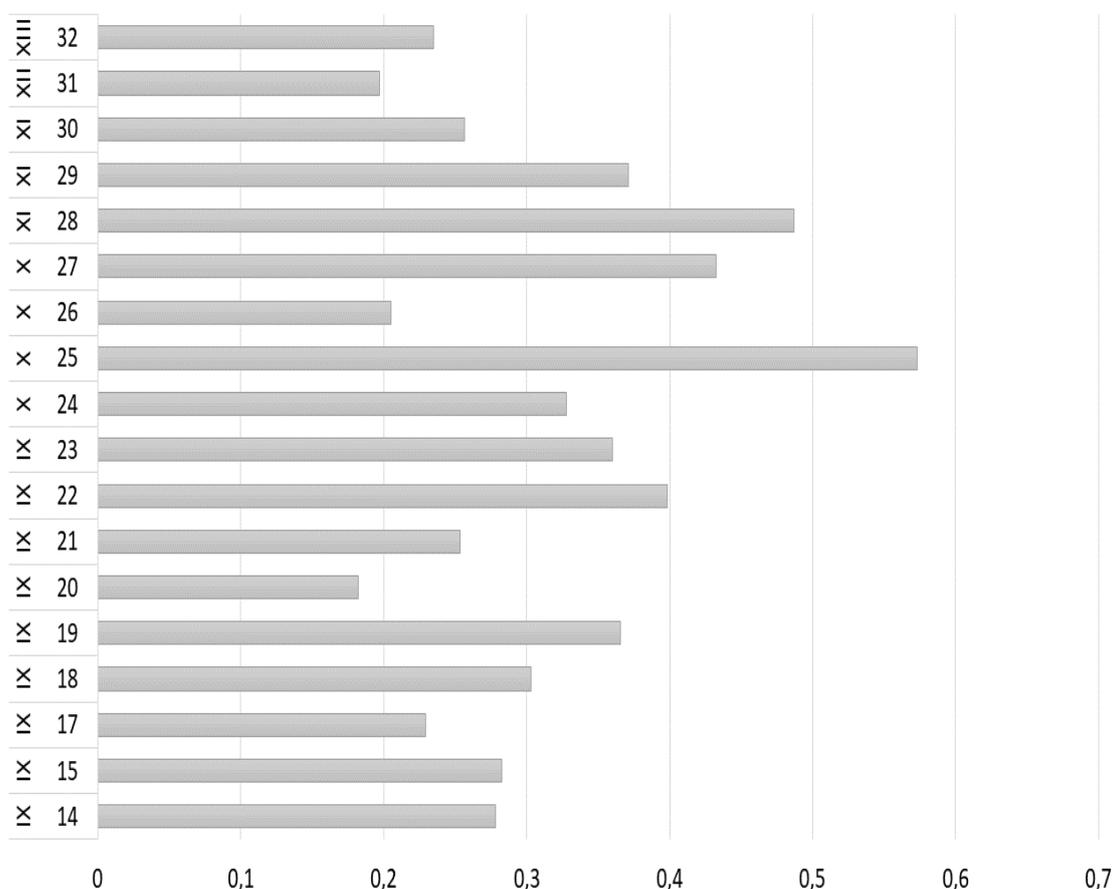


Figura 30. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Este de San Cristóbal. Es apreciable que los valores de la ratio son bajos, sin llegar a uno en ningún caso a 1. En consecuencia, la presencia de plantas ciperáceas no es relevante.

Según los resultados del análisis de componentes principales (PCA), podemos diferenciar dos grupos principales según la composición morfológica de las muestras (Figura 31a). El grupo con mayor número de muestras se establece en torno a los morfotipos C_3 (RONDEL y TRAPEZOID); mientras que el resto se agrupan en torno a los morfotipos ELONGATE ENTIRE y ACUTE BULBOSUS. Tres son los morfotipos con mayor variabilidad dentro de las muestras: RONDEL y TRAPEZOID (C_3), ACUTE BULBOSUS y ELONGATE, los cuales aparecen siempre en todas las muestras en diferentes porcentajes. Por otro lado, aparecen dos *outlier*, la muestra 25 que se distingue por su alto porcentaje de ACUTE BULBOSUS ($>17\%$) y la muestra 26 que destaca por la alta presencia de BILOBATE (referida en el gráfico

como C₄) (Figura 31a). No parece que las muestras se agrupen en torno a un morfotipo concreto en función a los niveles a los que pertenecen, aunque la mayoría de las muestras del Nivel X tienden a agruparse en torno al vector C₃ (Figura 31).

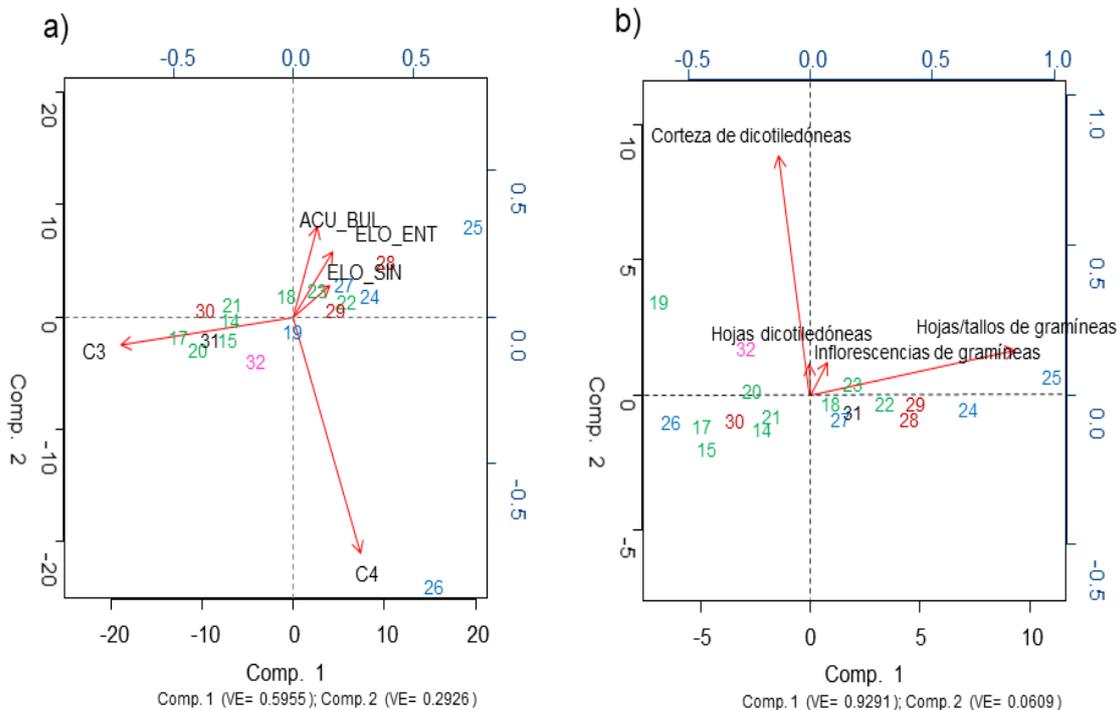


Figura 31. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Este de San Cristóbal. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas Pooideae; C₄: GSSCP plantas de patrón fotosintético C₄; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: verde, Nivel IX; azul, Nivel X; rojo, Nivel XI; negro, Nivel XII; rosa, Nivel XIII.

En cuanto al análisis aplicado a las partes de las plantas detectadas en la secuencia, los vectores indican que la mayor variabilidad se concentra en las hojas/tallos de Poaceae y el tronco/corteza de dicotiledóneas, siendo las inflorescencias de Poaceae y las hojas dicotiledóneas las que menor variabilidad presentan, es decir, las que menor peso tienen en el registro (Figura 31b). A priori, no advertimos que las muestras se agrupen en torno a cualquiera de los vectores, lo que significaría que la composición fitolitológica de las muestras no atiende a niveles o composición de muestra (estiércol o madera).

5.3.1.2 Perfil Oeste

La Tabla 13 lista la cantidad de microrrestos recuperados de las 20 muestras analizadas procedentes del perfil Oeste de San Cristóbal. Los datos indican que los tres microrrestos están presentes a lo largo de toda la secuencia, aunque con matices y excepciones. En el caso de los esferolitos, éstos están presentes en grandes cantidades a lo largo de la secuencia (

Tabla 13), y aparecen de manera dispersa o, en ocasiones, en pequeñas aglomeraciones. Sin embargo, hay muestras donde no se han podido documentar esferolitos fecales, como son la W-3 (Nivel XII) y W-8 (Nivel XIII), (

Tabla 13). Los pseudomorfos de calcita están presentes a lo largo de la secuencia, con excepción de las muestras W-3 y W-4 (Nivel XII) (

Tabla 13). Las morfologías de pseudomorfos de calcita detectadas son romboedros y polígonos, no habiéndose documentado drusas u otros morfotipos (Figura 32a).

Aunque la mayor parte de las muestras presentan valores PSR menores de 5, hay muestras en las que se iguala o supera ese valor, por lo que su composición está determinada por la combustión de madera como W11 (Nivel IX) y W-7 (Nivel XIII) (Tabla 13). Paralelamente, hay muestras a las que no se les puede aplicar el PSR debido a la ausencia de alguno de los dos microrrestos. Tal es el caso de la muestra W-3 (Nivel XII), de la que únicamente se han podido recuperar fitolitos (

Tabla 13).

Muestra	Nivel	# fitolitos identificados	# fitolitos por g. de sedimento	% estructuras multicelulares	% fitolitos alterados químicamente	% fitolitos derretidos	% escorias de sílice	# esferolitos por g. de sedimento	# pseudomorfos de calcita por g. de sedimento	PSR
W.12	IX	63*	700.000	3,2	11,3	-	-	700.000	600.000	0,9
W.11	IX	4*	50.000	75	73,3	71,4	20	90.000	3.000.000	33,3
W.10	IX	272	2.000.000	8,5	5,6	0,7	-	800.000	4.000.000	5
W.9	IX	3*	50.000	-	94,7	72,7	98	1.000.000	900.000	0,9
W.8	X	200	7.000.000	3	5,7	1	-	30.000.000	300.000	0
W.7	X	200	12.000.000	2,5	6,5	8,3	-	6.000.000	2.000.000	0,3
W.6	X	220	19.000.000	0,5	-	-	-	5.000.000	1.000.000	0,2
W.5	XI	210	12.000.000	1	1,4	-	-	5.000.000	800.000	0,2
W.4	XI	208	8.000.000	1	1,9	1	-	4.000.000	3.000.000	0,8
W.3	XI	200	5.000.000	0,5	5,7	2	-	3.000.000	3.000.000	1
W.2	XII	203	3.000.000	-	10,6	4,5	6,02	5.000.000	2.000.000	0,4
W.1	XII	201	5.000.000	-	3,4	-	-	7.000.000	1.000.000	0,1
W.-1	XII	112	7.000.000	3,6	3,5	1,0	45,0	2.000.000	300.000	0,2
W.-2	XII	203	14.000.000	2,0	0,5	-	-	3.000.000	300.000	0,1
W.-3	XII	226	22.000.000	-	5,0	-	-	-	-	-
W.-4	XII	208	14.000.000	0,5	-	-	-	1.000.000	-	-
W.-5	XIII	202	18.000.000	0,5	1,5	1,0	-	4.000.000	400.000	0,1
W.-6	XIII	202	9.000.000	-	5,6	0,5	-	1.000.000	2.000.000	2,0
W.-7	XIII	86*	3.000.000	1,2	4,4	1,1	-	100.000	7.000.000	70,0
W.-8	XIII	131	2.000.000	-	22,0	0,8	-	-	100.000	-

Tabla 13. Principales resultados obtenidos del perfil Oeste de San Cristóbal. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado.

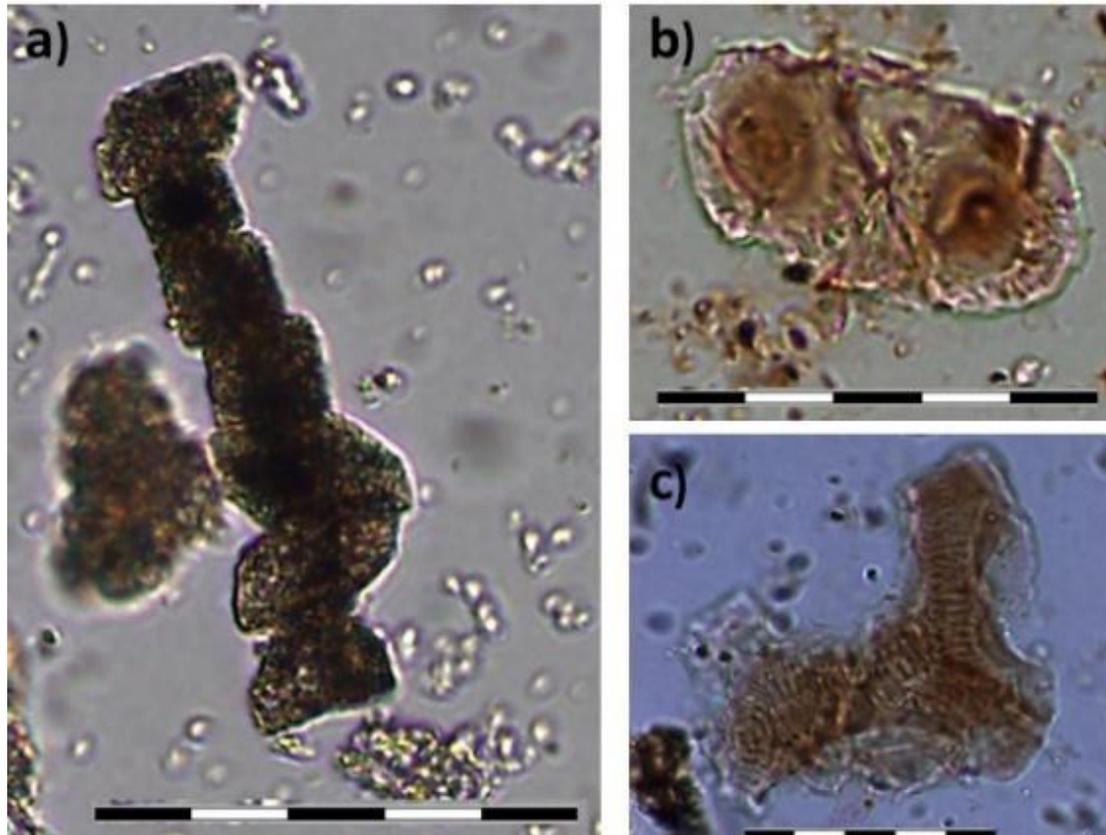


Figura 32. Microfotografías tomadas 400x aumentos de los pseudomorfos de calcita y los fitolitos extraídos del perfil Oeste de San Cristóbal: a) pseudomorfos de calcita procedentes de la muestra W11 de morfología poligonal y romboédrica, y que se presentan en una pequeña aglomeración; b) PAPILLATE en conexión anatómica procedentes de la muestra W-2; c) TRACHEARY ANNULAR diagnóstico de hojas dicotiledóneas procedente de la muestra W2. La escala representa 50 μ m.

Por su parte el SMR y PMR muestra que la cantidad de esferolitos y pseudomorfos de calcita disminuyen si el porcentaje de fitolitos derretidos o alterados térmicamente asciende (Figura 33), indicando que el aumento en la temperatura tiene como efecto el descenso en la cantidad de microrrestos calcíticos, tal como apuntan los resultados del trabajo de experimentación, tanto de estiércol como de *Quercus* sp.

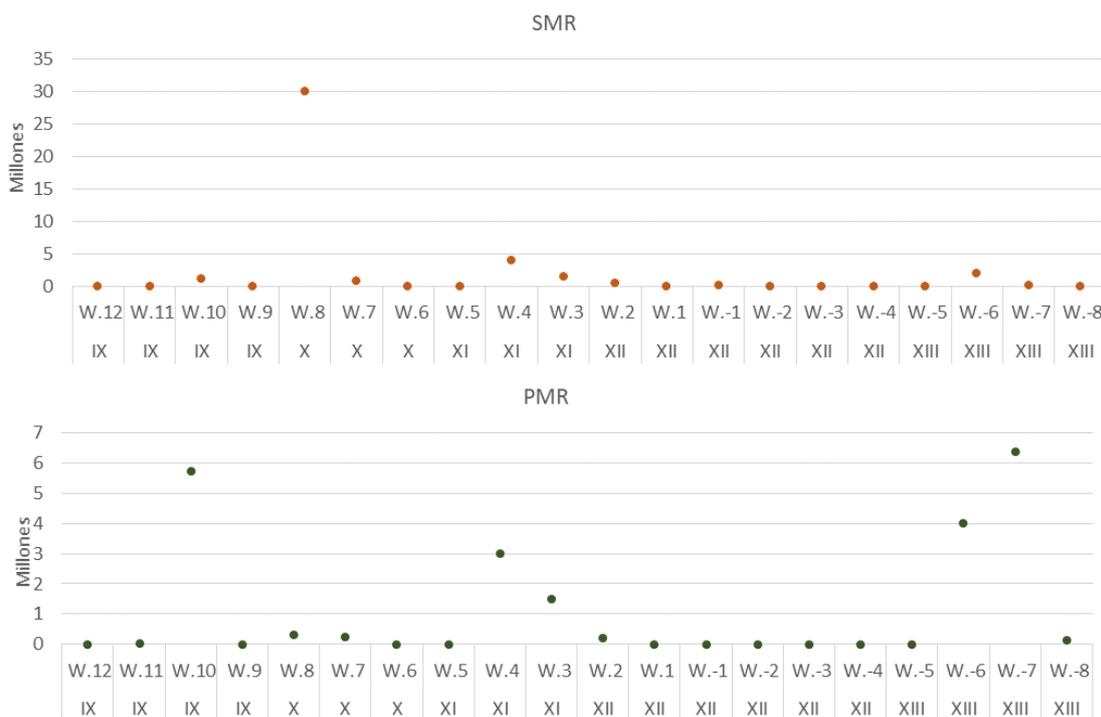


Figura 33. Histograma de las ratios entre fitolitos derretidos y microrrestos calcícos (SMR y PMR) procedentes de las muestras analizadas del perfil Oeste de San Cristóbal.

El conjunto de fitolitos se encuentra, en términos generales, en buen estado de conservación y no ha sufrido gran alteración química, salvo en las muestras W9 y W11 (Nivel IX) y W-8 (Nivel XIII), que sí que muestran un grado de alteración química más alto, entre 22% y 94% (

Tabla 13). Por otro lado, hay muestras en las que el conjunto de fitolitos se ha visto alterado por acción del fuego y encontramos porcentajes altos de fitolitos derretidos y/o escorias de sílice, tales son los casos de las muestras W9 y W11 (Nivel IX) y W-1 (Nivel XII) (

Tabla 13). Es especialmente destacable el porcentaje de alteración que presenta la muestra W9, donde las escorias de sílice alcanzan el 98% y los fitolitos derretidos el 72% (

Tabla 13). Finalmente, en las muestras W9, W11 y W12 (Nivel IX), y W-7 (Nivel XIII) no se han podido identificar el mínimo de 100 morfotipos, por lo que quedan excluidas del análisis morfológico (

Tabla 13).

Al contrario que en el perfil Este, el test de Pearson muestra una correlación positiva significativa con un valor para p de 0,936, entre fitolitos alterados químicamente y fitolitos alterados térmicamente, con un valor de r^2 de 0,875 (Figura 34), lo que sugiere que la alteración de los fitolitos se produce posteriormente a la quema del sedimento.

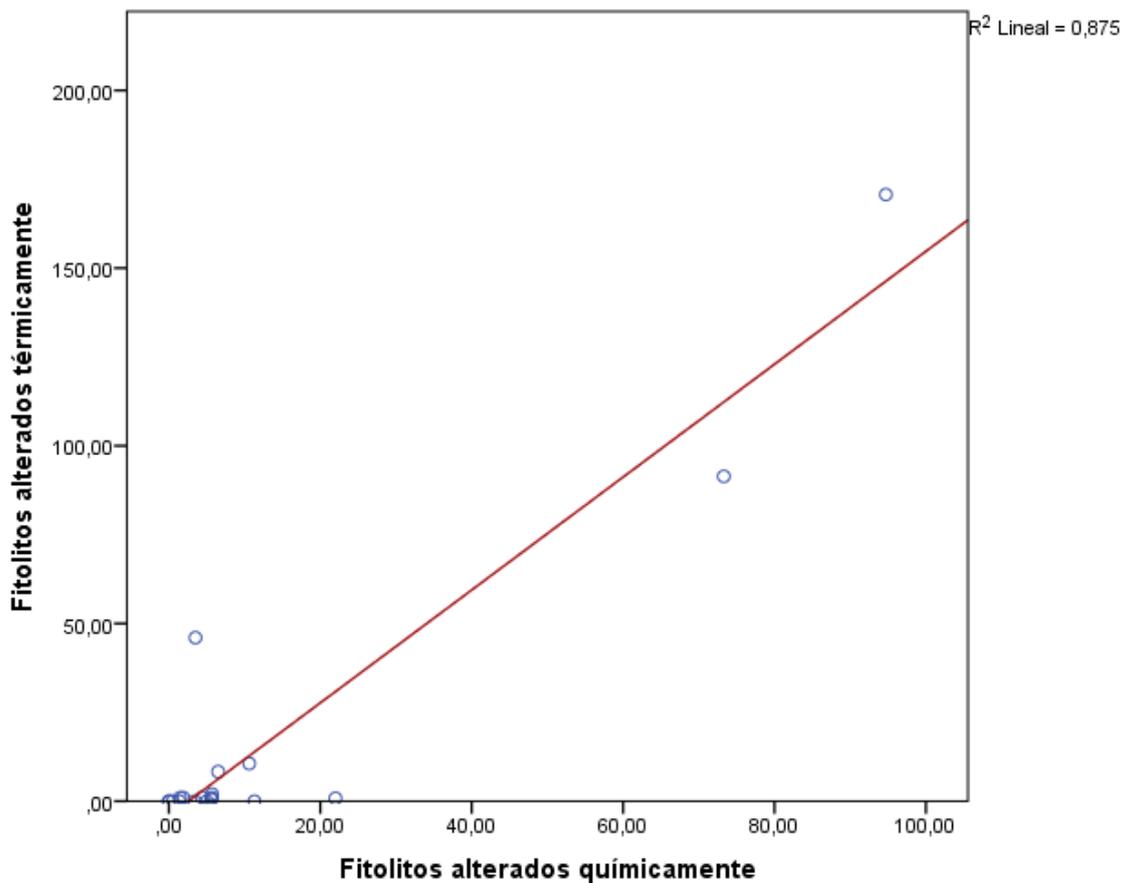


Figura 34. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Oeste de San Cristóbal. El test muestra relación entre ambos efectos. No obstante, esta correlación no es alta ya que tiene un valor de 0,936 (cuanto más cerca de 1 más ajustado es el resultado) y una varianza del 87,5% (con un valor para r^2 de 0,875).

A nivel morfológico, la mayor parte de morfotipos proceden de plantas de la familia Poaceae (Figura 35 y Tabla 14), aunque también se han detectado morfotipos de la familia Cyperaceae, si bien sus valores son bajos, con un promedio de 0,1% (Tabla 14). Las Poaceae se ven representadas especialmente por

RONDEL y TRAPEZOID producidos por plantas C₃, que llegan a constituir un promedio del 56,7% y el 3,4% respectivamente del total de las muestras (Tabla 14). Adicionalmente, aparecen también células cortas tipo C₄, aunque con un promedio de 1%, siendo los morfotipos BILOBATE los más abundantes, presentes en un 0,6%, mientras que POLYLOBATE tiene un porcentaje de 0,4% (Tabla 14). A éstos hay que añadir también morfotipos ELONGATE ORNATE, también producidos por plantas gramíneas: ELONGATE SINUATE (3,4%), ELONGATE TUBERCULATE (0,1%) ELONGATE DENTATE (1,6%) y ELONGATE DENDRITIC (0,2%) (Tabla 14).

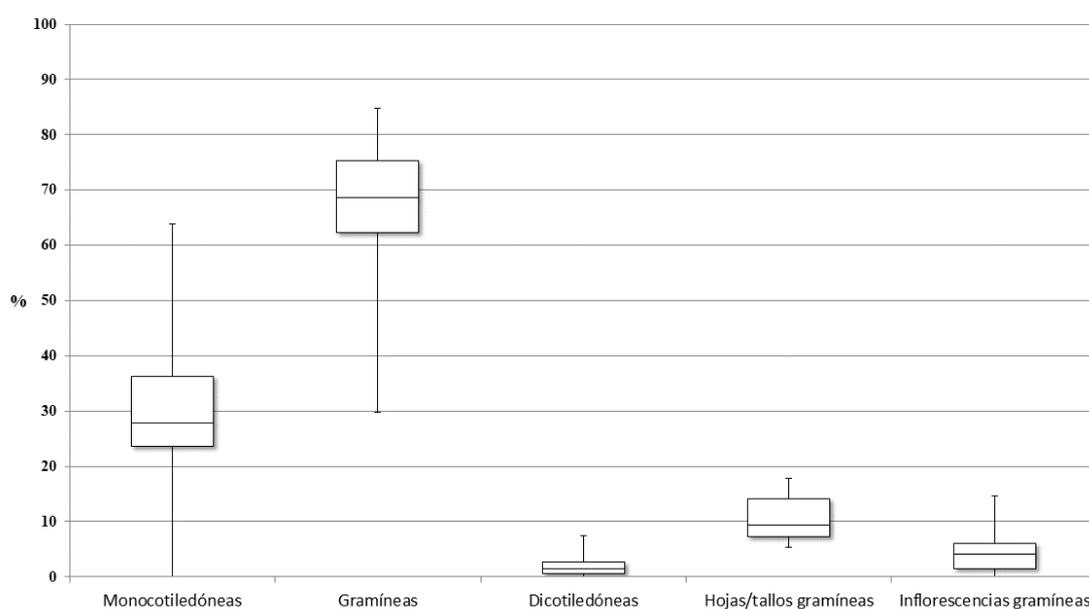


Figura 35. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Oeste de San Cristóbal. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes.

El origen anatómico de los fitolitos de Poaceae corresponde en su mayoría a las hojas/tallos, que llegan a alcanzar el 100% en la muestra W-8 (Figura 35). Las inflorescencias están representadas en su mayoría por PAPILLATE (1,1%) (Figura 32b), ELONGATE DENTATE (1,6%), ELONGATE TUBERCULATE (0,1%) y ELONGATE DENDRITIC (0,2%) (Tabla 14).

Por su parte las estructuras multicelulares no tienen gran peso en la secuencia, es más hay muestras que no presentan este tipo de elementos (

Tabla 13). Como en el caso de los fitolitos individuales, la mayoría de las estructuras multicelulares provienen de hojas/tallos de gramíneas.

MORFOTIPO	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio %
RONDEL	GSSCP (C ₃)	56,7
ELONGATE PSILATE/RUGOSE	Monocotiledóneas	21,7
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	7,8
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de Poaceae	3,4
TRAPEZOID	GSSCP (C ₃)	3,4
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	1,6
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	1,1
BILOBATE	GSSCP (C ₄)	0,6
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	0,5
ELLIPSOID DENTATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,5
IRREGULAR PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,4
POLYLOBATE	GSSCP (C ₄)	0,4
PAPILLAR	Cyperaceae	0,3
BULLIFORM FLABELLATE	Hojas de gramíneas	0,3
SPHEROID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,2
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,2
BLOCKY PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,2
TRACHEARY	Hojas de dicotiledóneas	0,1
ACUTE BASE	Hojas de dicotiledóneas	0,1
ELONGATE TUBERCULATE	Inflorescencia de Poaceae	0,1
ELLIPSOID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,1

Tabla 14. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Oeste de San Cristóbal y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar.

La Figura 36 muestra la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada al perfil Oeste de San Cristóbal. En este caso podemos apreciar que, en ningún caso se alcanza el valor de 0,7%, siendo la muestra W-1 (Nivel XII) la que más se acerca a este valor (0,68) (Figura 36). En cualquier caso, estos valores para la ratio ELONGATE ENTIRE/GSSCP son muy bajos, por lo que las plantas de la familia Cyperaceae no son abundantes en la secuencia.

Finalmente, los valores de fitolitos de dicotiledóneas son muy bajos, (Tabla 14 y Figura 35). Entre los fitolitos producidos por la corteza/madera encontramos

BLOCKY, IRREGULAR, SPHEROID Y ELLIPSOID (Tabla 14); por su parte los fitolitos de hojas están representados por morfologías, ACUTE BASE y TRACHEARY (Figura 32c y Tabla 14).

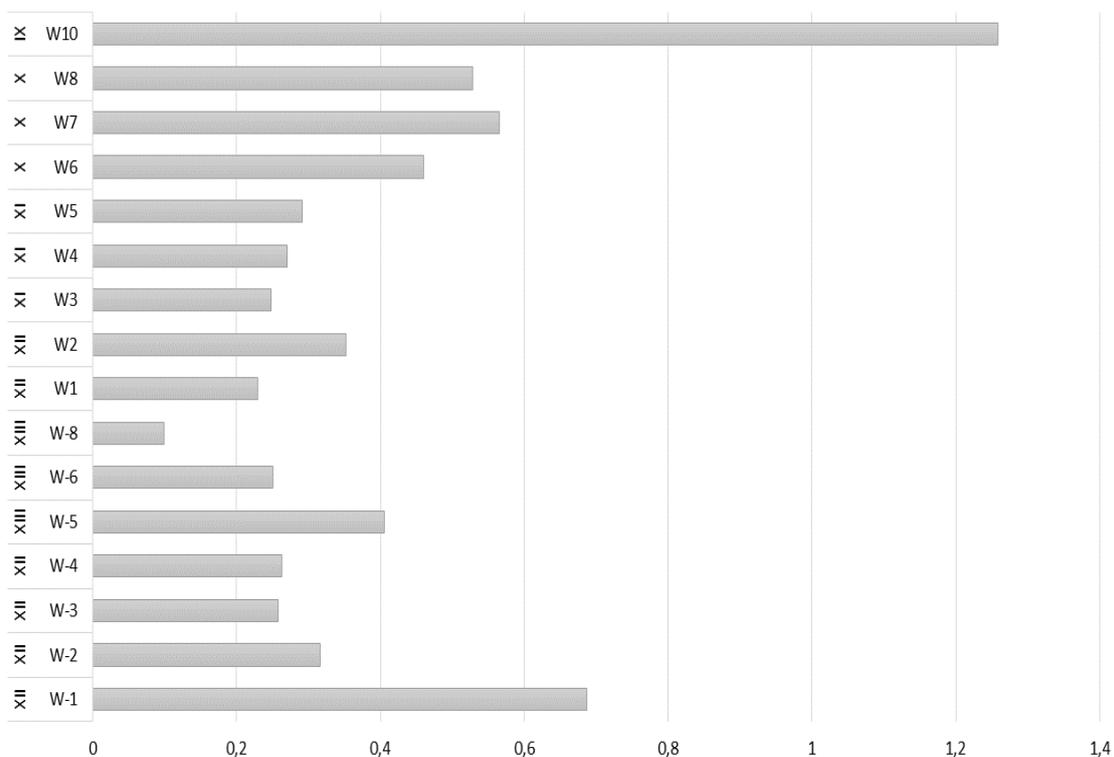


Figura 36. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Oeste de San Cristóbal. Es apreciable que solo una muestra de todo el perfil (W10 del Nivel III) supera el valor de 1. Por el contrario, el resto de las muestras se mantienen en valores que no superan el valor de 0,8.

La Figura 37 muestra los resultados de análisis de componentes principales (PCA) aplicados al perfil Oeste de San Cristóbal. La posición de los vectores no muestra correlación entre las variables y, al igual que en el perfil Este, los morfotipos predominantes son los producidos por plantas Poaceae, especialmente RONDEL (C₃), ELONGATE ENTIRE, ELONGATE SINUATE y ACUTE BULBOSUS, quedando el resto de las morfologías, menos importantes en el registro, en el centro de la gráfica (Figura 37a). En cuanto a la posición de las muestras en torno a los morfotipos, no podemos apreciar patrón de agrupación entre ellas con respecto a un morfotipo concreto ni tampoco en función de los niveles de los que proceden. En la Figura 37b se observa que las partes de las plantas están más o menos representadas:

mientras la presencia de hojas e inflorescencias de Poaceae tienen mayor presencia, los vectores indicativos de plantas dicotiledóneas muestran poca variabilidad; en ningún caso se encuentra correlación entre vectores. Es posible apreciar que la muestra W10 (Nivel IX) se sitúa en la esquina inferior izquierda de la gráfica, ya que tiene un porcentaje de inflorescencias mayor al resto. Al mismo tiempo las muestras W1, W-1, W-3 y W-4 (Nivel XII) tienden a agruparse en torno a las hojas dicotiledóneas

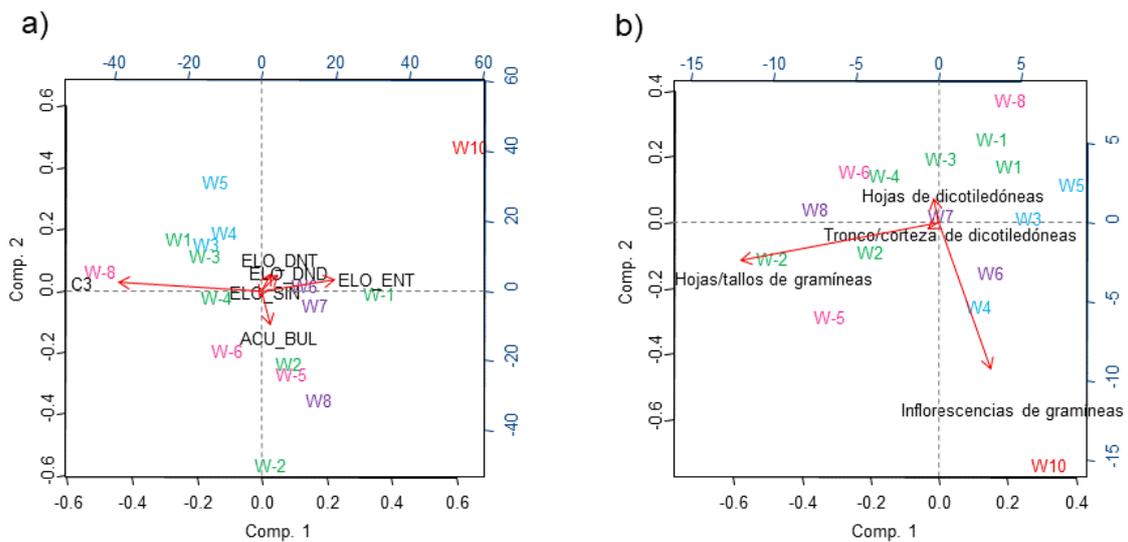


Figura 37. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Oeste de San Cristóbal. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas *Pooideae*; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; ELO_DNT: ELONGATE DENTATE. Nivel IX; rojo; Nivel X: púrpura; Nivel XI: azul; Nivel XII: verde; Nivel XIII: rosa.

5.3.1.3 Muestras de control del entorno de San Cristóbal.

Se han analizado dos muestras de sedimento proceden del bosque del entorno cercano al yacimiento de San Cristóbal. Estas muestras no han arrojado ningún microrresto (Tabla 11), lo cual nos permite corroborar que el registro microarqueológico procedente de las muestras del depósito arqueológico de San Cristóbal derivan de las prácticas antrópicas que se llevaron a cabo durante el período en el que fue utilizado el abrigo.

5.3.2 Los Husos II

5.3.2.1 Perfil norte

La Tabla 15 lista la cantidad estimada de microrrestos silíceos y calcíticos recuperados. Los fitolitos están presentes en grandes cantidades a lo largo de toda la secuencia, salvo en la muestra N19 (Nivel V), en la que tampoco se han documentado esferolitos, los cuales sí se documentan abundantemente en el resto de las muestras (Tabla 15). También hemos podido identificar pseudomorfos de calcita en la mayoría de las muestras, aunque su número es menor que el de fitolitos y esferolitos. La única excepción es la muestra N2 (Nivel VIII) en la que no se han documentado pseudomorfos de calcita (Tabla 15). En cuanto a los morfotipos identificados, aunque los análisis micromorfológicos también han detectado la presencia de drusas (Polo-Díaz y Fernández Eraso, 2008), nosotros solo hemos podido identificar prismas.

En lo que respecta al PSR, en general todas las muestras presentan valores <5 indicando que el componente principal es el estiércol. No obstante, hay tres salvedades: las muestras N12 (Nivel VI) y N25 (Nivel IV), en las que la ratio es >5 , y la muestra N19 (Nivel V) en la que dada la ausencia de esferolitos no se ha podido aplicar el PSR (Tabla 15).

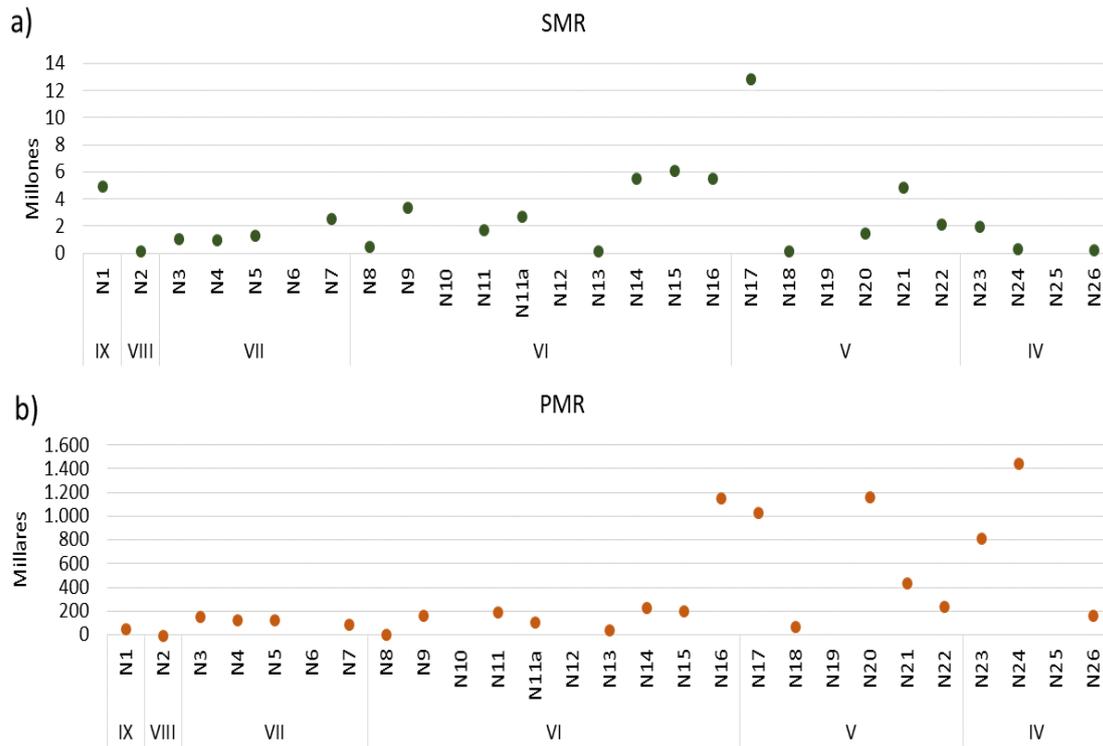


Figura 38. Histograma de las ratios entre fitolitos derretidos y microrrestos calcíticos (SMR y PMR) procedentes de las muestras analizadas del perfil Norte de Los Husos II.

Las ratios de esferolitos y pseudomorfos de calcita versus fitolitos alterados térmicamente, SMR y PMR, vuelven a indicar, como en el caso de los perfiles Este y Oeste de San Cristóbal, que la temperatura influye en la cantidad de microrrestos detectados, ya que a medida que aumenta el número de fitolitos alterados térmicamente el de esferolitos y pseudomorfos desciende (Figura 38).

La preservación del conjunto de fitolitos en las muestras es desigual. En lo que respecta a la alteración química son seis las muestras que superan el 15% de fitolitos alterados: N1 (Nivel IX), N6 (Nivel VII), N11, N13 (Nivel VI) y N25 (Nivel IV) (Tabla 15). En cuanto a la alteración térmica, cuatro muestras presentan un porcentaje de fitolitos derretidos entre 18,6% y 95,3%: N2, N8, N13 y N18 (Nivel IV) (Tabla 15). Las muestras N2, N6, N11, N12 (Nivel V), N13 (Nivel VI), N22 (Nivel V) y N25 (Nivel IV) han sido excluidas del análisis morfológico al no haber podido identificar un número suficiente de fitolitos morfológicamente reconocibles (Tabla 15). Por otra parte, el test de Pearson entre fitolitos alterados

Mónica Alonso Eguiluz

térmicamente y alterados químicamente muestra una correlación entre ambos ($p=0,01$), con un valor de r^2 de 0,436 (Figura 39), evidenciando que la alteración química de los fitolitos se produce posteriormente a la quema del sedimento

Muestra	Nivel	# morfotipos identificados	# fitolitos por g. de sedimento	% estructuras multicelulares	% fitolitos alterados químicamente	% fitolitos derretidos	% escorias de sílice	# esferolitos por g. de sedimento	# pseudomorfos de calcita por g. de sedimento	PSR
N1	IX	208	3.000.000	-	31,9	1,0	-	7.000.000	80000	0,0
N2	VIII	9*	12.000.000	-	4,5	91,1	-	14.000.000	0	0,0
N3	VII	234	11.000.000	4,3	1,6	2,9	-	3.000.000	400.000	0,1
N4	VII	207	7.000.000	1,4	10,0	7,6	-	7.000.000	800.000	0,1
N5	VII	208	6.000.000	-	3,4	8,5	-	12.000.000	1.000.000	0,1
N6	VII	11*	20.000	-	17,7	58,7	19,3	2.000.000	1.000.000	0,5
N7	VII	203	6.000.000	5,9	7,0	4,8	-	13.000.000	500.000	0,0
N8	VI	218	13.000.000	5,0	12,8	14,1	1,3	9.000.000	200.000	0,0
N9	VI	210	14.000.000	2,0	4,0	3,1	-	10.000.000	500.000	0,1
N10	VI	209	1.000.000	0,2	8,7	-	0,4	90.000	90.000	1,0
N11	VI	70*	1.000.000	14,3	24,8	5,9	-	13.000.000	1.000.000	0,1
N11A	VI	217	9.000.000	0,4	7,4	3,7	-	10.000.000	400.000	0,0
N12	VI	0	24.000	-	-	-	-	30.000	2.000.000	66,7
N13	VI	16*	100.000	-	43,1	25,5	-	10.000.000	2.000.000	0,2
N14	VI	237	12.000.000	2,7	1,2	2,4	-	13.000.000	500.000	0,0
N15	VI	213	10.000.000	0,4	1,8	2,3	-	13.000.000	400.000	0,0
N16	VI	201	5.000.000	2,2	8,1	1,8	-	8.000.000	2.000.000	0,3
N17	V	232	11.000.000	1,5	-	0,9	-	10.000.000	800.000	0,1
N18	V	201	9.000.000	2,2	12,5	18,0	-	4.000.000	1.000.000	0,3
N19	V	0	0	-	-	-	-	0	5.000.000	-
N20	V	201	2.000.000	1,5	5,0	2,8	-	4.000.000	3.000.000	0,8
N21	V	204	9.000.000	2,2	1,4	2,8	-	13.000.000	1.000.000	0,1
N22	V	90*	500.000	13,6	4,9	7,8	-	3.000.000	400.000	0,1
N23	IV	199	3.000.000	2,0	0,5	1,0	-	2.000.000	800.000	0,4
N24	IV	207	10.000.000	0,9	7,7	3,4	-	1.000.000	5.000.000	5,0
N25	IV	48*	200.000	8,7	46,1	-	-	80.000	7.000.000	87,5
N26	IV	198	7.000.000	1,0	5,3	7,9	-	2.000.000	1.000.000	0,5
CS1	-	158	2.000.000	3,2	21,4	-	-	-	-	-
CS2	-	45*	100.000	0,6	-	-	-	-	-	-
CS3	-	5*	3.000	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 15 Principales resultados obtenidos del Norte de Los Husos II. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado.

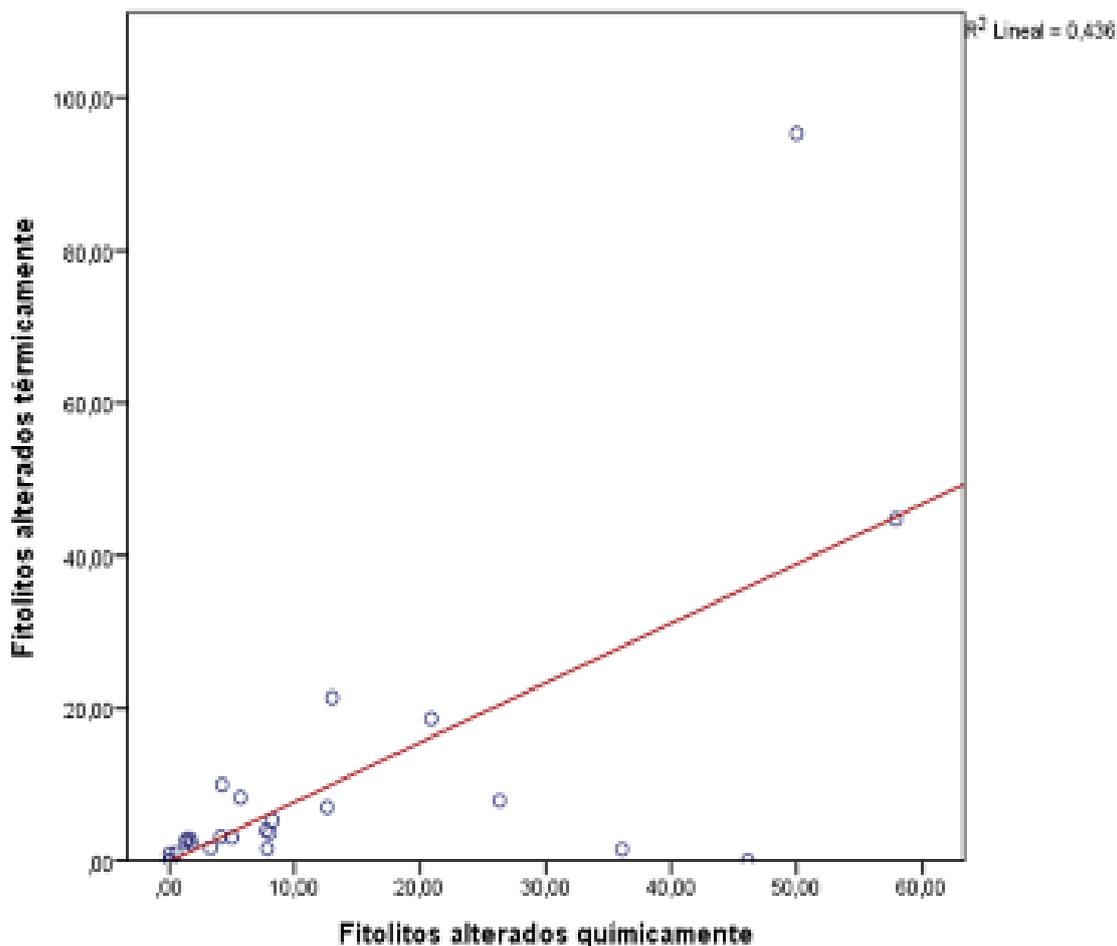


Figura 39. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes del perfil Norte de Los Husos II. El test muestra relación entre ambos efectos, indicando que la alteración química y la térmica están directamente relacionadas (valor de la correlación $p=0,01$ y valor de r^2 de 0,436). En consecuencia, la alteración química de los fitolitos es mayor ya que los éstos han sufrido un proceso de quema.

La composición morfológica apunta a una presencia mayoritaria de plantas Poaceae C₃ Pooideae (Figura 41 y Tabla 16). Paralelamente, también aparecen morfotipos típicos de plantas ciperáceas, aunque su promedio es de 0,32% del total del registro (Tabla 16). Las Poaceae están representadas por RONDEL (Figura 40a y Tabla 16). Por contra, son menos abundantes GSSCP diagnósticas de plantas tipo C₄, con un porcentaje promedio de 0,60% (Tabla 16). Otros morfotipos presentes en el registro y que representan las Poaceae son ACUTE BULBOSUS, ELONGATE

DENTATE (Figura 40b), ELONGATE SINUATE, PAPILLATE, ELONGATE DENDRITIC y ELONGATE TUBERCULATE (Figura 40c y Tabla 16).

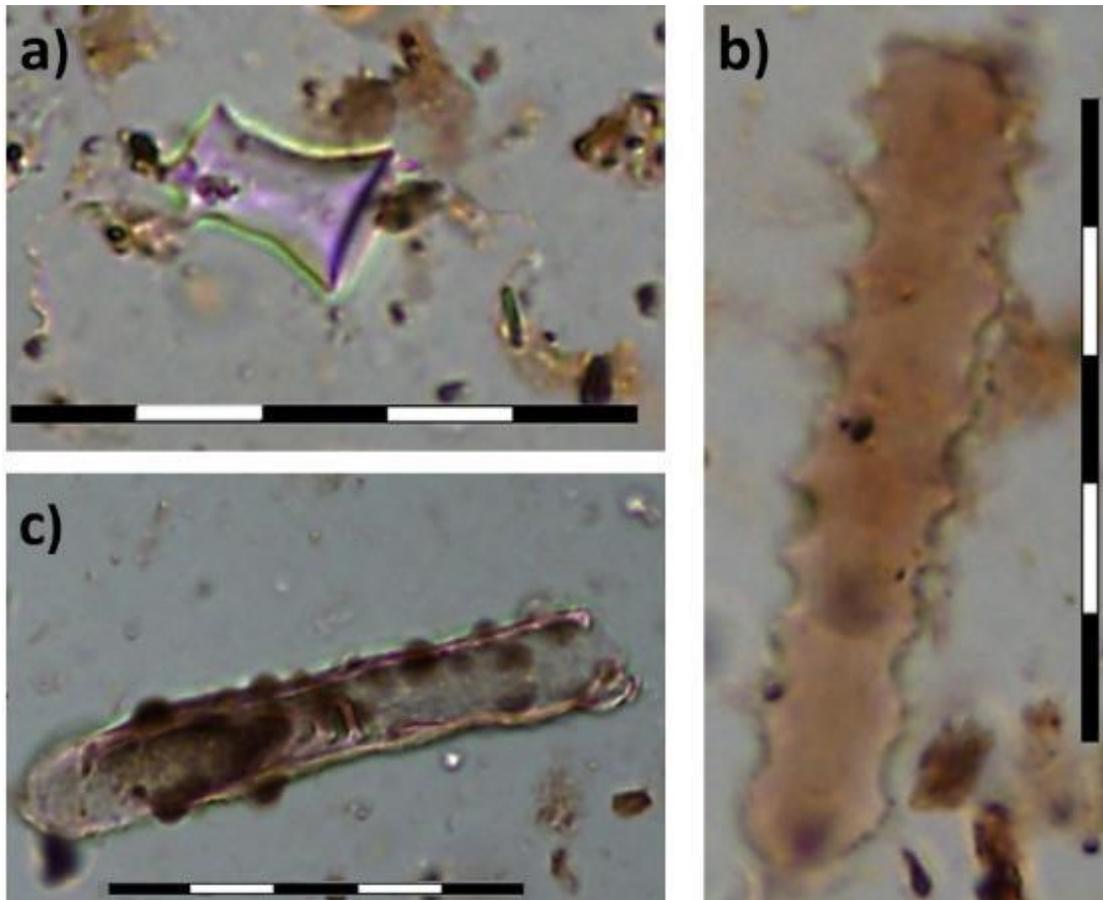


Figura 40. Microfotografías de fitolitos procedentes del perfil Norte de Los Husos II tomadas a 400x aumentos: a) RONDEL diagnóstica de plantas Poaceae C₃ procedente de la muestra N17; b) ELONGATE DENTATE producida en las inflorescencias de las plantas Poaceae detectada en la muestra N17; c) ELONGATE TUBERCULATE producida en las inflorescencias de las plantas Poaceae extraído de la muestra N4. La escala representa 50 μm .

La gran mayoría de fitolitos de Poaceae proceden de las hojas/tallos de dichas plantas (Figura 41 y Tabla 16). Las inflorescencias son menos abundantes en el registro y no llegan a alcanzar en ningún caso el 20%. Las inflorescencias están representadas en su mayoría por ELONGATE DENTATE y por PAPILLATE (Tabla 16).

El porcentaje de estructuras multicelulares es desigual a lo largo de la secuencia y no se han podido detectar en todas las muestras. Los porcentajes varían entre 1,8% y 33,3% y provienen principalmente de hojas/tallos de gramíneas (Tabla 16).

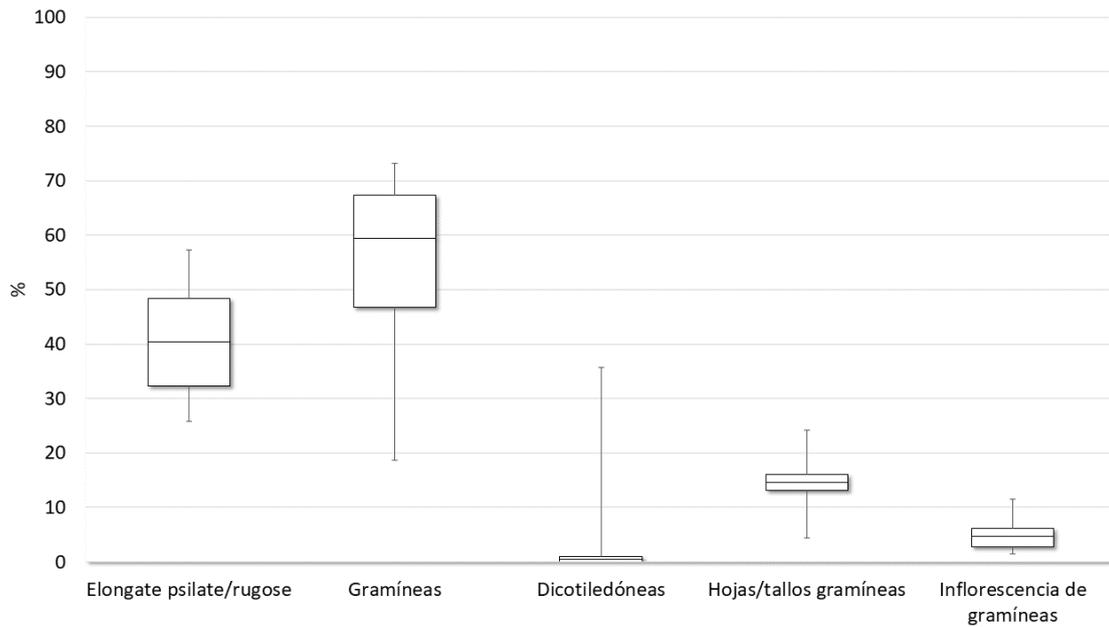


Figura 41. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Norte de Los Husos II. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes.

En lo que se refiere a la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP, la única muestra con una ratio alta, es la muestra N23 (Nivel IV) (4,3) (Figura 42). El resto de las muestras tienen un valor para la ratio menor a 2. En definitiva, aunque las ratios son bajas, parece que las plantas ciperáceas tienen más peso en la muestra N23.

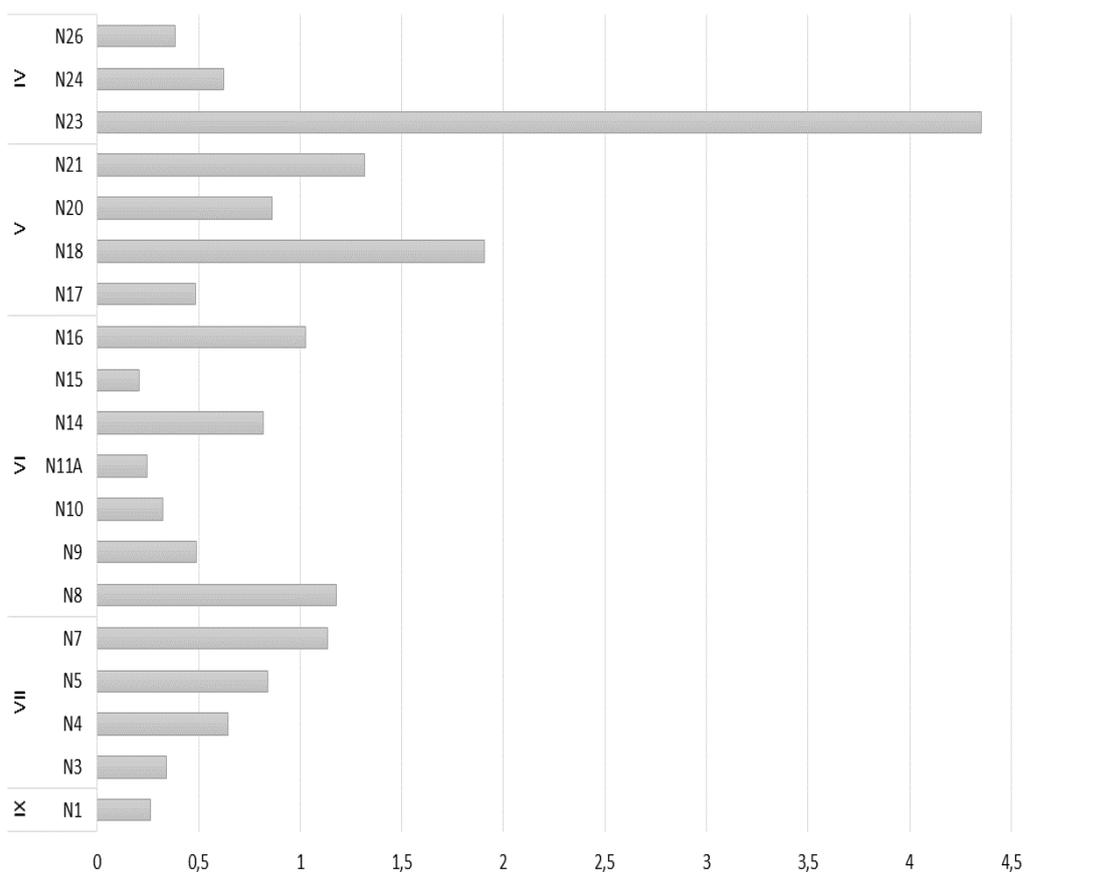


Figura 42. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Norte de Los Husos II. Llama la atención la muestra N23 (Nivel IV) cuya ratio se acerca a 4,5. Por su parte las muestras N21, N18 (Nivel V), N8 (Nivel VI) y N7 (Nivel VII) tienen una ratio entre 1 y 2, quedando el resto en valores por debajo de 1.

Por otra parte, los fitolitos de plantas dicotiledóneas tienen poco peso en el registro, (Figura 41 y Tabla 16). Sin embargo, la muestra N23 del Nivel IV supone un caso excepcional ya que encontramos un altísimo porcentaje de fitolitos de hojas dicotiledóneas. En este caso en concreto el morfotipo más abundante es el POLYGONAL, con 34,6% de presencia. Por el contrario, los morfotipos que se identifican con la corteza/madera de dicotiledóneas solo constituyen un 1,5% del total (Figura 41 y Tabla 16).

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio %
RONDEL	GSSCP (C ₃)	43,42
ELONGATE PSILATE/RUGOSE	Monocotiledóneas	30,98
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	8,99
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de Poaceae	5,09
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	3,02
TRAPEZOID	GSSC (C ₃)	2,92
POLYGONAL	Hojas de dicotiledóneas	1,87
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	0,96
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	0,52
BILOBATE	GSSCP (C ₄)	0,48
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,42
PAPILLAR	Cyperaceae	0,37
BLOCKY PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,30
CRENATE	Poaceae (C ₃)	0,30
TRACHEARY	Hojas dicotiledóneas	0,13
ELONGATE TUBERCULATE	Inflorescencia de Poaceae	0,12
IRREGULAR PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,09
POLYLOBATE	GSSCP (C ₄)	0,08
BULLIFORM FLABELLATE	Hojas de Poaceae	0,08
SPHEROID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,05
CROSS	GSSCP (C ₄)	0,03
STOMATA	Hojas de monocotiledóneas/dicotiledóneas	0,02

Tabla 16. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Norte de Los Husos II y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar.

La Figura 43 muestra el análisis de componentes principales (PCA) aplicado a los morfotipos identificados y a la procedencia anatómica de los mismos. Los vectores señalan como componentes principales los morfotipos RONDEL Y TRAPEZOID (C₃) y ELONGATE ENTIRE, mientras que el resto de los morfotipos tendrían menor variabilidad y quedan en el centro de la gráfica (Figura 43a). Destaca la muestra N23 que se sitúa en la parte superior izquierda debido al alto porcentaje de POLYGONAL que presenta (34%). En lo que se refiere a la procedencia anatómica de las plantas se puede apreciar que los vectores indican una alta presencia de hojas/tallos de Poaceae, mientras que las inflorescencias presentan menor variabilidad (Figura 43b). En este caso, las hojas de plantas dicotiledóneas despuntan para la muestra 23, mientras que el resto de las muestras se disponen en

el centro de la gráfica. De nuevo, no se aprecia una agrupación en función a los niveles o la procedencia de las muestras.

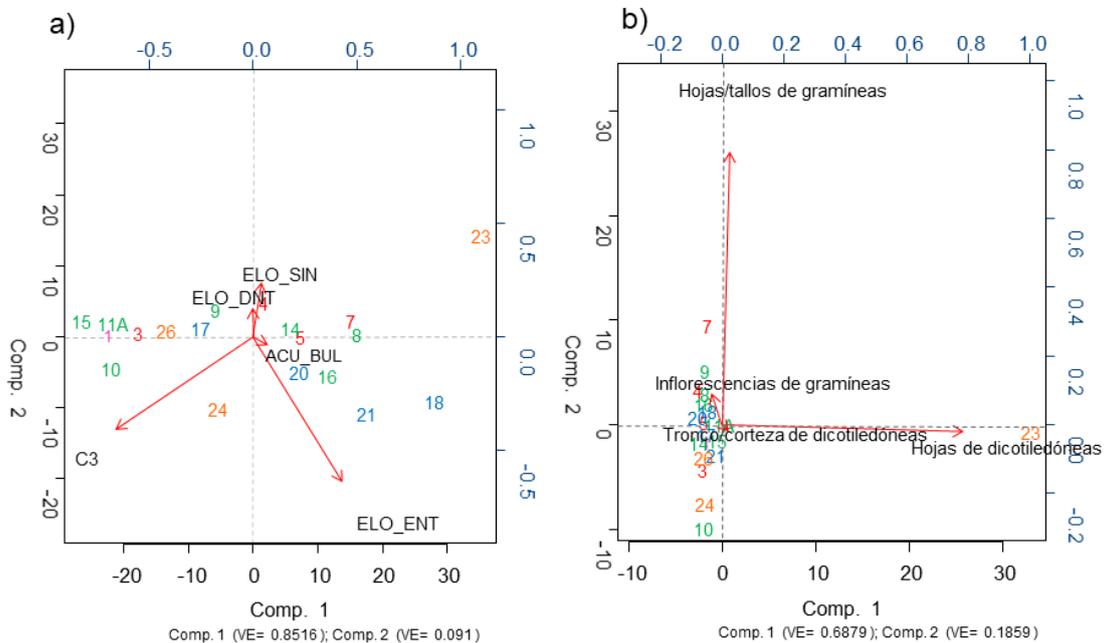


Figura 43. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados sobre, a) morfotipos y b) partes de las plantas del perfil Norte de Los Husos IOI. Las abreviaturas corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP gramíneas *Pooideae*; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DNT: ELONGATE DENTATE. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: rosa: Nivel IX; negro: Nivel VIII; rojo: Nivel VII; verde: Nivel VI; azul: Nivel V; naranja: Nivel IV.

5.3.2.2 Perfil sur

Al igual que en los casos anteriores, se han documentado fitolitos en cantidades abundantes a largo de la secuencia y sin excepciones (Tabla 17). También se ha documentado un alto número de esferolitos (Figura 44a), aunque en este caso sí que con excepciones. La muestra S1, procedente de un nivel estéril (Nivel VIII) no presenta esferolitos y tampoco pseudomorfos de calcita. Tampoco se han podido recuperar esferolitos de la muestra S15 del Nivel VI (Tabla 17). Los pseudomorfos de calcita también se han documentado a lo largo de la secuencia, a excepción de las muestras S22 y S24, procedentes del Nivel IV (Tabla 17).

Por su parte, los valores de PSR no alcanzan la cifra de 1, siendo la única excepción la muestra S14 del Nivel VI con una ratio de 3 (Tabla 17). Por el contrario, para las muestras S1 y S15 no se ha podido aplicar esta ratio debido a la ausencia de ambos microrrestos en la primera, y la ausencia de esferolitos en el caso de la segunda, lo cual indica que la composición de la muestra S15 deriva de la quema de combustible leñoso.

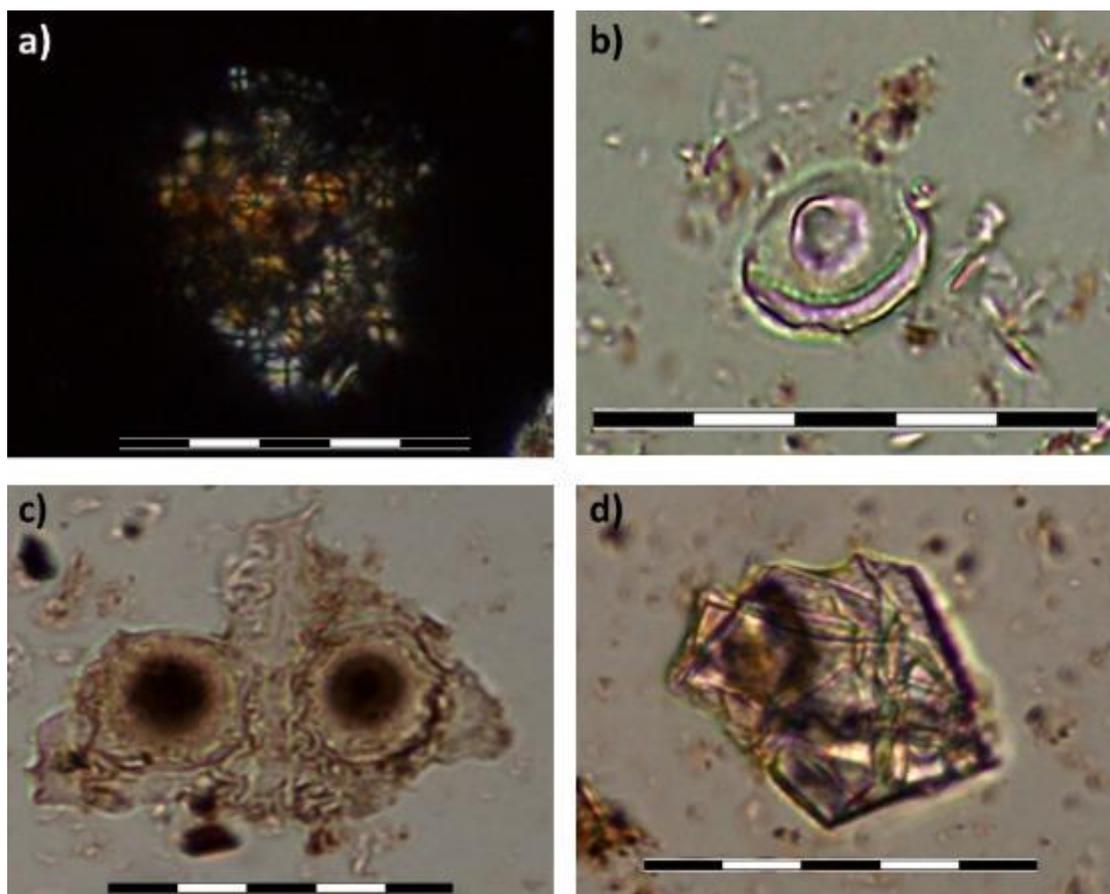


Figura 44. Microfotografías de esferolitos y fitolitos procedentes del perfil Sur de Los Husos II tomadas a 400x aumentos: a) esferolitos procedentes de la muestra S32, se puede apreciar como los microrrestos se presentan, en este caso, agrupados en una pequeña aglomeración; b) PAPILLAR diagnóstico de plantas Cyperaceae procedente de la muestra S3; c) estructura multicelular procedente de inflorescencias de gramíneas formada por dos PAPILLATE y ELONGATE DENTATE extraída de la muestra S31 (Modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017); d) IRREGULAR PSILATE formado en el tronco/corteza de dicotiledóneas procedente de la muestra S10. La escala representa 50 μ m.

En lo que respecta a los ratios entre microrrestos calcínicos y fitolitos alterados térmicamente, SMR-PMR, la Figura 45 ilustra cómo la cantidad de esferolitos y pseudomorfo de calcita disminuye en virtud del aumento del porcentaje de

fitolitos alterados por la acción térmica (Figura 45). El estado de conservación del conjunto de fitolitos es bueno en términos generales, aunque con excepciones importantes. Por ejemplo, se ha detectado alteración en las muestras S1, S9, S11, S14, S15 y S19 con porcentajes en general, entre 20% y 40%, llegando a alcanzar el 96% en la muestra 14 (Tabla 17). La muestra S1 procede del Nivel VIII, arqueológicamente estéril; mientras que las muestras S9, S14 y S15 están conformadas por cenizas blancas provenientes del Nivel VI. Al mismo tiempo las muestras S11 y S19 son sedimentos cenicientos que tienen como componente mayoritario el estiércol (Tabla 17). También se ha podido detectar morfotipos alterados por la acción del fuego en algunas de las muestras. Este es el caso de las muestras S20, S21, (Nivel V) S25 y S30 (Nivel VI) en las que los fitolitos derretidos alcanzan porcentajes de entre 20% y 28% (Tabla 17).

Muestra	Nivel	#morfotipos identificados	#fitolitos por g. De sedimento	%estructuras multicelulares	%fitolitos alterados químicamente	%fitolitos derretidos	#esferolitos por g. De sedimento	#pseudomorfos de calcita por g. De sedimento	PSR
S1	IX	200	9.000.000	0,5	4,0	0,8	2.000.000	40000	0,0
S2	VIII	206	300.000	-	47,5	0,8	-	-	-
S3	VII	200	15.000.000	2,5	7,0	8,0	7.000.000	300.000	0,0
S4	VII	217	15.000.000	4,1	1,0	0,5	5.000.000	400.000	0,1
S5	VII	200	8.000.000	1,0	2,0	1,0	1.000.000	300.000	0,3
S6	VII	207	6.000.000	0,6	14,8	1,1	2.000.000	600.000	0,3
S7	VI	202	5.000.000	5,2	2,0	2,0	11.000.000	400.000	0,0
S8	VI	215	9.900.000	4,1	2,5	7,6	9.000.000	400.000	0,0
S9	VI	22*	2.000.000	-	88,0	-	800.000	1.000.000	1,3
S10	VI	205	9.000.000	0,6	15,3	2,8	6.000.000	900.000	0,2
S11	VI	200	3.000.000	3,1	29,2	8,5	1.000.000	600.000	0,6
S12	VI	202	9.000.000	4,0	0,5	3,0	6.000.000	900.000	0,2
S13	VI	201	900.000	2,1	4,5	6,0	14.000.000	400.000	0,0
S14	VI	8*	19.000.000	-	96,0	-	200.000	800.000	4,0
S15	VI	67*	400.000	-	24,7	4,2	-	1.000.000	-
S16	VI	208	11.000.000	1,0	4,5	1,5	2.000.000	400.000	0,2
S17	V	211	10.000.000	1,1	8,7	1,6	9.000.000	1.000.000	0,1
S18	V	203	8.000.000	1,0	17,6	3,4	7.000.000	1.000.000	0,1
S19	V	200	4.000.000	-	19,3	2,5	3.000.000	2.000.000	0,7
S20	V	207	13.000.000	8,2	18,5	23,0	10.000.000	900.000	0,1
S21	V	209	13.000.000	3,3	12,9	20,8	9.000.000	400.000	0,0
S22	IV	222	12.000.000	4,5	0,4	0,4	300.000	-	-
S23	IV	232	21.000.000	6,5	2,9	2,5	4.000.000	200.000	0,1
S24	IV	217	15.000.000	5,1	-	-	2.000.000	-	-
S25	IV	203	15.000.000	5,9	6,0	21,0	2.000.000	80.000	0,0

									<i>Resjultados</i>
S26	IV	220	25.000.000	2,7	-	1,3	200.000	200.000	1,0
S27	IV	214	19.000.000	6,0	0,9	2,0	1.000.000	300.000	0,3
S28	IV	216	21.000.000	5,9	5,1	9,2	2.000.000	300.000	0,2
S29	IV	207	19.000.000	2,9	-	1,0	2.000.000	600.000	0,3
S30	IV	200	16.000.000	6,0	6,7	27,9	900.000	200.000	0,2
S31	IV	213	17.000.000	2,8	0,9	1,8	1.000.000	600.000	0,6
S32	IV	206	13.000.000	4,1	1,5	3,4	15.000.000	200.000	0,0
S33	IV	210	23.000.000	2,9	0,5	1,4	2.000.000	300.000	0,2
S34	IV	212	30.000.000	5,9	1,6	10,5	3.000.000	200.000	0,1
S35	IV	211	18.000.000	2,6	5,3	2,0	1.000.000	200.000	0,2
S36	IV	214	9.000.000	1,1	5,9	1,0	900.000	300.000	0,3
S37	IV	223	6.000.000	1,8	2,2	0,9	600.000	500.000	0,8

Tabla 17. Principales resultados obtenidos del perfil Sur de Los Husos II. La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR. *no interpretado.

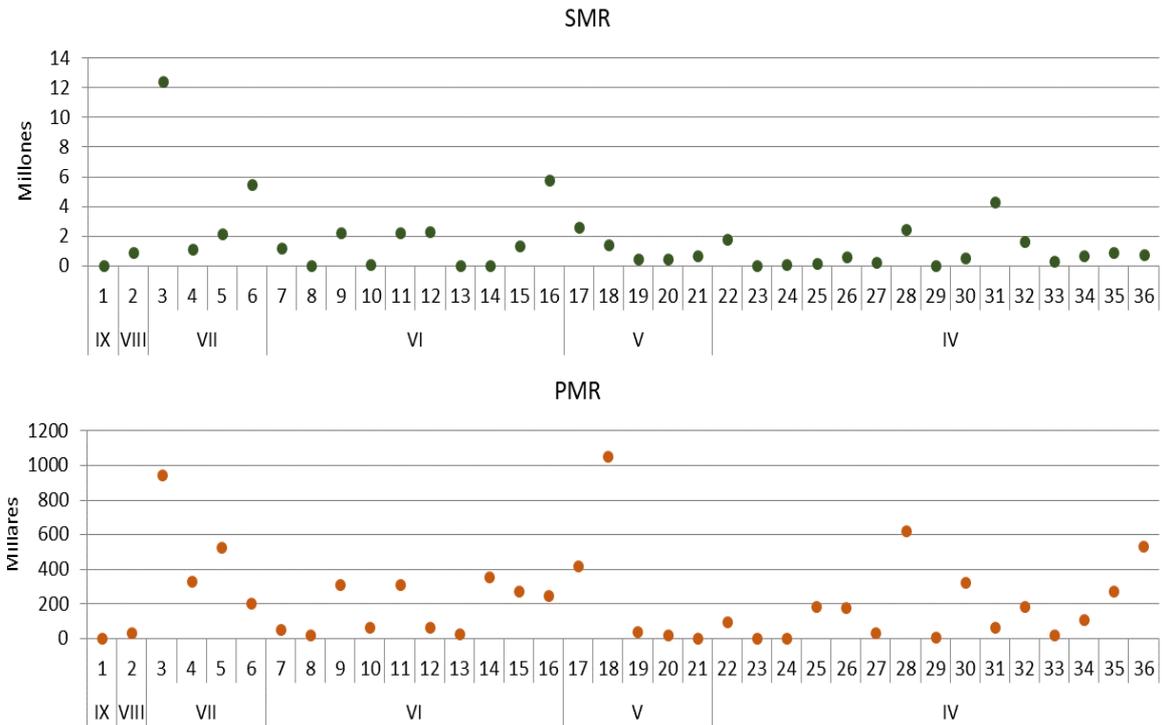


Figura 45. Ratio entre esferolitos (SMR) (a) y pseudomorfos de calcita (PMR) (b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en el perfil Sur de Los Husos II. En ambos histogramas se aprecia como hay una relación inversa entre microrrestos calcícos (esferolitos y pseudomorfos de calcita) y fitolitos alterados térmicamente (modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017).

La Figura 46 muestra los resultados del test de correlación de Pearson aplicado a los fitolitos alterados química y térmicamente. Estos resultados no indican relación directa entre ambos fenómenos, teniendo dicha correlación un valor de $p=0,176$ y de $0,031$ para r^2 . En consecuencia, entendemos que la alteración química de los fitolitos no se ve influida por la acción del fuego.

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio %
RONDEL	GSSCP (C ₃)	53,9
ELONGATE PSILATE/RUGOSE	Monocotiledóneas	17,9
ELONGATE SINUATE	Hojas/Tallos de Poaceae	8,8
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	8,7
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	7,8
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	4,6
BULLIFORM	Hojas de Poaceae	2,6
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	0,7
IRREGULAR PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,7
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,6
BLOCKY PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,6
SPHEROID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,5
ELLIPSOID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,2
ACUTE BASE	Hojas de dicotiledóneas	0,2
BILOBATE	GSSCP (C ₄)	0,2
TRAPEZOID	GSSCP (C ₃)	0,2
POLYGONAL	Hojas de dicotiledóneas	0,1
POLYLOBATE	GSSCP (C ₄)	0,07
STOMATA	Hojas de monocotiledóneas/dicotiledóneas	0,07
TRACHEARY	Hojas de dicotiledóneas	0,07
POLYGONAL SCROBICULATE	Cyperaceae	0,04
CROSS	GSSCP (C ₄)	0,01

Tabla 18. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del perfil Sur de Los Husos II y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar (modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017).

En relación con la procedencia anatómica de las plantas detectadas, se han podido identificar morfotipos producidos por inflorescencias de gramíneas a lo largo de toda la secuencia, concretamente PAPILLATE, ELONGATE DENTATE y ELONGATE DENDRITIC (Figura 47 y Tabla 18). Las muestras S32 y S34 presentan el mayor porcentaje de inflorescencias, entre 20% y 25%. No obstante, la presencia de

inflorescencias se ve incrementada a medida que vamos ascendiendo en los niveles, llegando a máximos en aquellas muestras procedentes de los niveles de Neolítico Superior localizados en la zona alta de la secuencia estratigráfica. En este caso los morfotipos ELONGATE DENTATE y PAPILLATE están representados en mayor número mientras que ELONGATE DENDRITIC son escasos con un promedio de 0,6%.

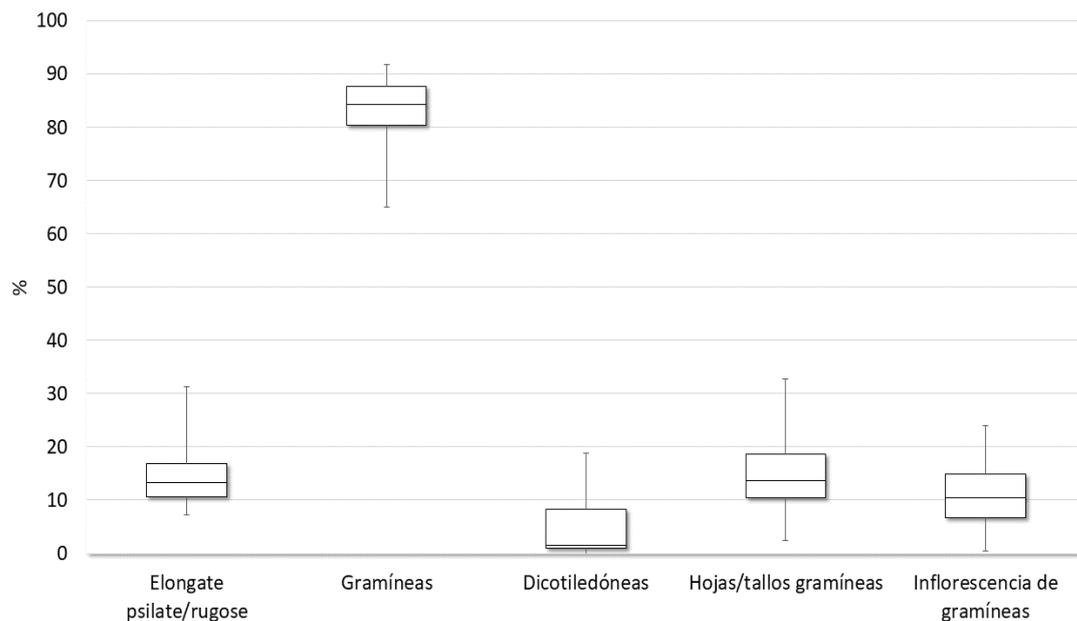


Figura 47. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del perfil Sur de Los Husos II. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes.

Las estructuras multicelulares también han sido documentadas a lo largo de la secuencia, con las excepciones de las muestras S1 y S19, aunque su presencia no supera el 8%. Sin embargo, este porcentaje aumenta desde la muestra 21 a la 37 coincidiendo de nuevo con cronologías de Neolítico superior. Estas estructuras multicelulares corresponden en su mayoría a las hojas/tallos de monocotiledóneas, mientras que aquellos producidos por las inflorescencias son escasos, entre 0,5% y 1,5% (Figura 44c y Tabla 17).

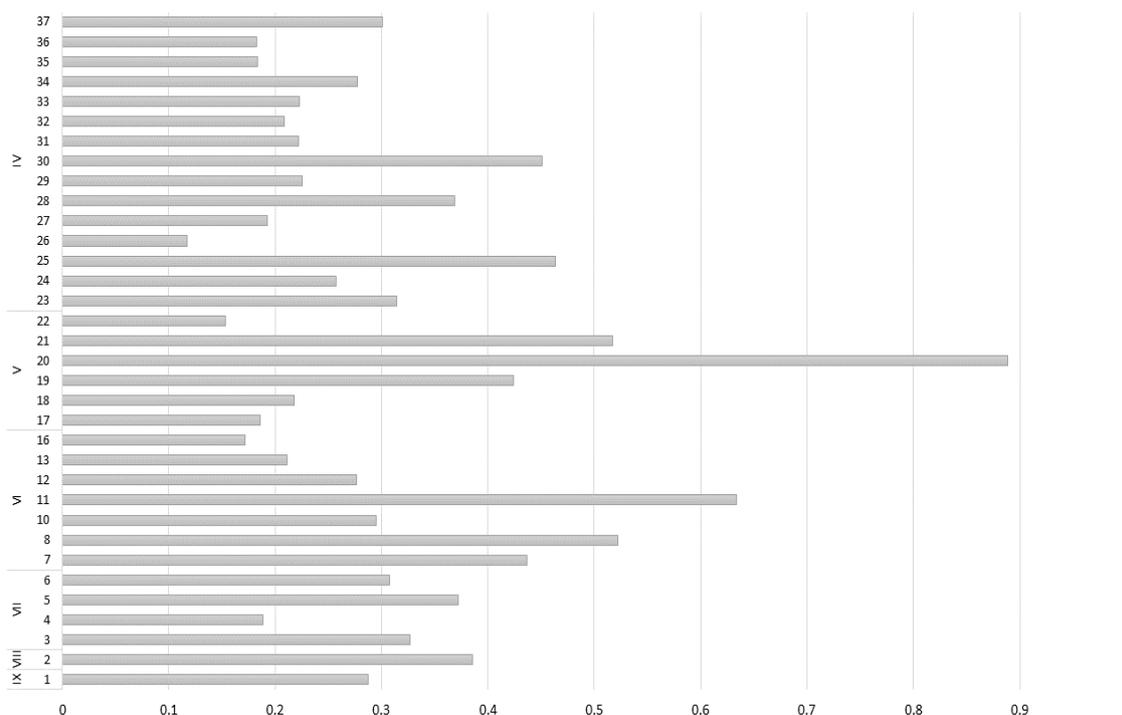


Figura 48. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada a perfil Sur de Los Husos II. Como puede apreciarse, los valores de la ratio son bajos, sin llegar a 1 en ningún caso.

La Figura 48 muestra la ratio entre ELOGATE ENTIRE y GSSCP. De nuevo los valores de la ratio son bajos, sin alcanzar en ningún caso valores de 1. No obstante, podemos apreciar que la muestra S20 (Nivel V) presenta la ratio más alta (0,8). En consecuencia, no podemos certificar la presencia de ciperáceas en las muestras del perfil Sur de Los Husos II.

Por último, los fitolitos diagnósticos de plantas dicotiledóneas han sido detectados en las muestras, aunque en baja cantidad (Figura 47 y Tabla 18). Dentro de este grupo, los fitolitos producidos por el tronco/corteza de dicotiledóneas son más abundantes que aquellos producidos por hojas, en este sentido el morfotipo más abundante es IRREGULAR PSILATE (Figura 44d).

El análisis de componentes principales (PCA) llevado a cabo sobre los morfotipos identificados muestra que hay tres morfotipos que conforman el registro fitolitológico: RONDEL y TRAPEZOID (C_3), ELONGATE ENTIRE y ELONGATE SINUATE mientras que otros morfotipos que se disponen en la parte medial del

gráfico son menos relevantes (Figura 49a). Al mismo tiempo, las diferencias entre las variables son bajas y los vectores no muestran correlación entre ellas. Por otro lado, parece que no hay un patrón de agrupación entre las muestras, aunque aquellas del Nivel IV están cerca unas de otras. Además, el PCA aplicado a las partes de las plantas de donde proceden los morfotipos, apunta a dos componentes principales, inflorescencias y hojas/tallos de gramíneas, como se esperaba. No obstante, las gráficas muestran las mismas tendencias con una variabilidad baja, sin correlación entre variables y sin patrón de agrupación entre muestras, aunque sí en el caso de las muestras del Nivel IV que se agrupan alrededor de las inflorescencias (Figura 49b).

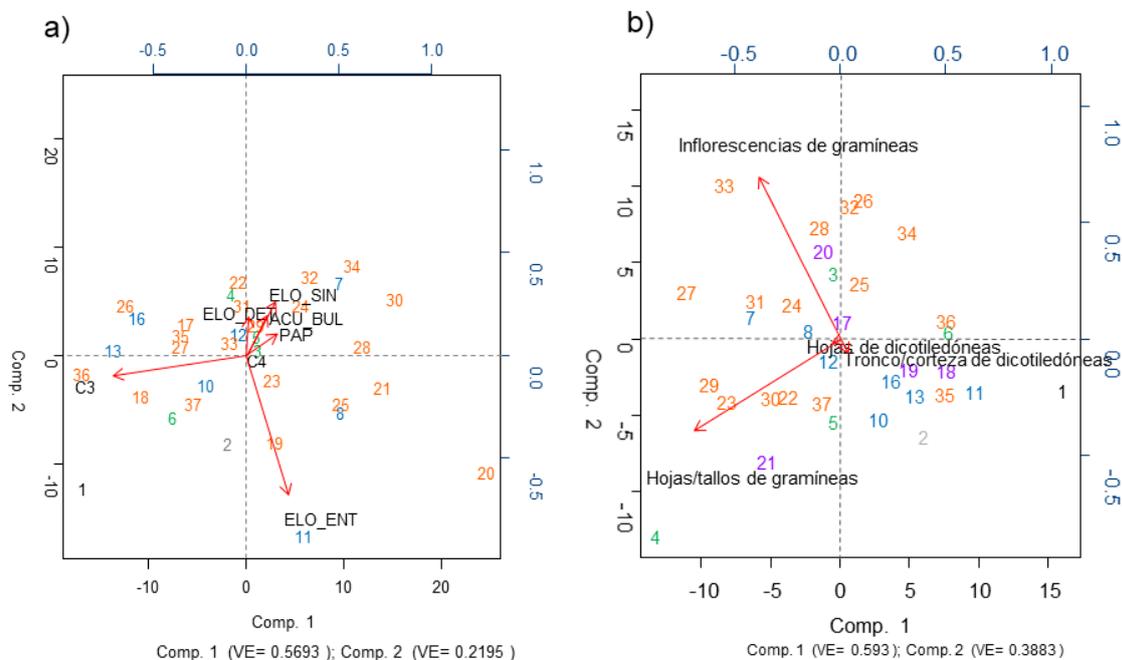


Figura 49. Análisis de componentes principales (PCA) aplicado a las muestras del perfil Sur de Los Husos II. Las abreviaciones corresponden a los siguientes morfotipos: C₃: GSSCP plantas *Pooideae*; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DET: ELONGATE DENTATE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE. Los colores de las muestras representan el nivel de donde proceden: Nivel IX, negro; Nivel VII, verde; Nivel VI azul; Nivel V morado; Nivel IV naranja (modificado de Alonso-Eguiluz et al., 2017).

5.2.4.1 Muestras de control del yacimiento de Los Husos II.

Las tres muestras de control se recogieron de una zona cercana al depósito (CS1) y las otras dos del bosque circundante al abrigo (CS2 y CS3). Hemos podido detectar fitolitos en las tres muestras, aunque en cantidades muy pequeñas (>2 millones) y únicamente hemos podido identificar fitolitos suficientes en la muestra CS1, la más cercana al depósito. Por el contrario, las tres muestras de control no han aportado esferolitos fecales ni pseudomorfos de calcita (Tabla 15). En cuanto a la composición morfológica del registro fitolitológico de la muestra CS1, las gramíneas son las únicas plantas que se ven reflejadas a través de los morfotipos identificados. Es especialmente destacable el alto porcentaje de RONDEL, que alcanza un 68,9% en el registro.

5.3.3 El Mirador

El caso de El Mirador es excepcional en cuanto al número estimado de fitolitos por gramo de sedimento. Todas las muestras presentan fitolitos con unos valores que se distribuyen entre un mínimo de 6.000.000 en la muestra 16o, y un máximo de 32.000.000 en la muestra 7g (Tabla 19). También los esferolitos están presentes en todas las muestras (Tabla 19). No ocurre lo mismo sin embargo con los pseudomorfos de calcita ya que en las muestras MIR6 5bg, 6bg, 13o, 15o, 18@ y 22z no se han documentado estos microrrestos (Tabla 19). Por su parte, los valores de PSR, en aquellas muestras en las que hemos podido aplicar la ratio, no llegan a 1 en ningún caso, indicando que el estiércol es el componente mayoritario en toda la secuencia (Tabla 19).

Muestra y facie	#morfotipos identificados	#fitolitos por gramo de sedimento	%estructuras multicelulares	%fitolitos alterados químicamente	%fitolitos derretidos	#esferolitos por gramo de sedimento	#pseudomorfos de calcita por gramo de sedimento	PSR
MIR 6. 1B	377	9.000.000	6,4	5,5	8,5	3.000.000	1.000.000	0,3
MIR 6. 2B	264	14.000.000	8,0	0,4	10,5	3.000.000	400.000	0,1
MIR 6. 3BG	251	19.000.000	9,2	-	13,4	4.000.000	400.000	0,1
MIR 6. 4BG	118	17.000.000	10,2	30,2	35,5	2.000.000	300.000	0,2
MIR 6. 5BG	143	12.000.000	9,8	2,1	29,6	700.000	-	-
MIR 6. 6BG	106	9.000.000	5,7	8,6	44,5	500.000	-	-
MIR 6. 7G	197	28.000.000	5,1	1,0	12,7	3.000.000	100.000	0,0
MIR 6. 8G	229	18.000.000	5,7	12,6	3,8	3.000.000	80.000	0,0
MIR 6. 9G	276	10.000.000	4,7	7,4	12,4	800.000	-	-
MIR 6. 10M	256	25.000.000	4,3	5,5	10,5	2.000.000	200.000	0,1
MIR 6. 11M	209	19.000.000	4,3	7,9	4,1	4.000.000	1.000.000	0,3
MIR 6. 12O	239	16.000.000	8,4	1,2	3,6	1.000.000	50.000	0,1
MIR 6. 13O	158	14.000.000	1,9	3,1	17,7	1.000.000	-	-
MIR 6. 14O	224	14.000.000	5,8	0,9	4,3	900.000	90.000	0,1
MIR 6. 15O	169	13.000.000	5,9	4,5	15,2	900.000	-	-
MIR 6. 16O	276	5.000.000	9,1	1,1	1,8	400.000	100.000	0,3
MIR 6. 17®	249	14.000.000	4,8	2,0	0,8	4.000.000	1.000.000	0,3
MIR 6. 18®	154	20.000.000	3,2	9,9	20,6	4.000.000	-	-
MIR 6. 19R	209	18.000.000	2,9	3,7	6,3	200.000	200.000	1,0
MIR 6. 20R	257	22.000.000	7,0	1,2	3,0	2.000.000	40.000	0,0
MIR 6. 21S	248	18.000.000	3,6	6,1	9,2	5.000.000	400.000	0,1
MIR 6. 22Z	263	24.000.000	4,9	1,5	3,0	1.000.000	-	-
CS 05 53	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 19. Principales resultados obtenidos del Nivel VI del Mirador (MIR6). La tabla lista nombre y procedencia de las muestras, número de fitolitos morfológicamente identificados, cantidad estimada de microrrestos por gramo de sedimento, % de estructuras multicelulares, % de fitolitos alterados química y térmicamente, y escorias de sílice. Se muestran además el número estimado por gramo de sedimento de esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como el PSR.

En lo que respecta a las ratios SMR y PMR, como en lo observado en las muestras de San Cristóbal y de Los Husos II, existe una relación inversamente proporcional entre los microrrestos y los fitolitos alterados térmicamente. La Figura 50 muestra cómo la cantidad de esferolitos y pseudomorfos de calcita disminuye en virtud de un aumento de los fitolitos alterados térmicamente.

El conjunto fitolitológico de este yacimiento no ha sufrido grandes alteraciones químicas y el porcentaje de fitolitos alterados no supera el 12,6% (Tabla 19). Sólo existe una excepción en este sentido ya que en la muestra 4bg el porcentaje de fitolitos erosionados alcanza el 30,2% (Tabla 19). Por el contrario, el conjunto se ve algo más alterado por la acción del fuego puesto que en todas las muestras se han detectado fitolitos derretidos, llegando a constituir un 44,5% en la muestra 6bg (Tabla 19). El test de correlación de Pearson confirma que existe una relación positiva ($p=0,510$) entre fitolitos alterados químicamente y fitolitos alterados térmicamente, con un valor de r^2 de 0,261 (Figura 51).

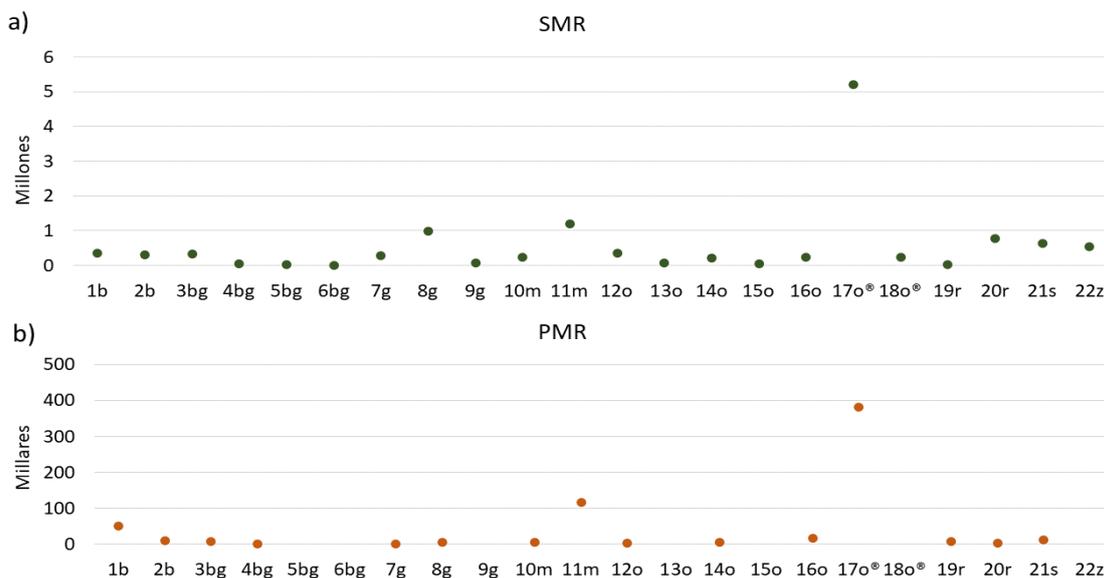


Figura 50. Ratio entre esferolitos (SMR) (a) y pseudomorfos de calcita (PMR) (b) comparados con fitolitos alterados térmicamente en las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. En ambos histogramas se aprecia una relación directa entre la cantidad de microrrestos calcícticos (esferolitos y pseudomorfos de calcita) y de fitolitos alterados térmicamente, decreciendo los primeros cuando la alteración térmica aumenta.

La composición morfológica revela una predominancia de fitolitos procedentes de la familia de las Poaceae (Figura 52 y Tabla 20). De nuevo, los RONDEL tienen mayor peso en la secuencia con un promedio de 44,5% (Tabla 20). También encontramos BILOBATE (Figura 53a), aunque no tienen gran representatividad con un porcentaje promedio de 0,8% (Tabla 20). Estas plantas gramíneas también están representadas por ELONGATE ORNATE y ACUTE BULBOSUS. Por último, dentro del grupo de las monocotiledóneas se ha detectado la presencia de plantas ciperáceas, aunque su porcentaje no es alto (0,4%) (Tabla 20).

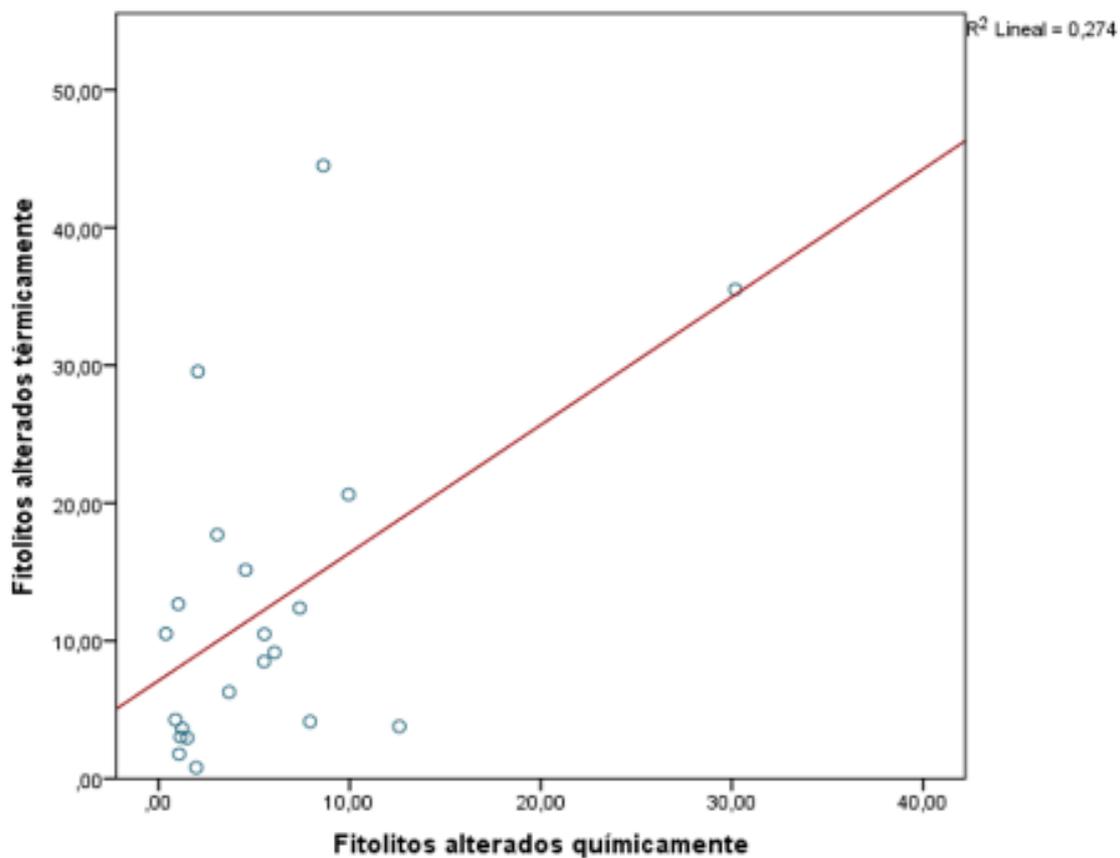


Figura 51. Test de correlación de Pearson aplicado a los morfotipos alterados química y térmicamente procedentes de las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. El test muestra relación entre ambos efectos, indicando que la alteración química y la térmica están directamente relacionadas (valor de correlación de $p=0.05$ y de 0.274 para r^2).

En cuanto al origen anatómico de los fitolitos identificados, encontramos una gran presencia de inflorescencias de Poaceae, con porcentajes que oscilan entre 16% y 80% en la muestra 5bg (Figura 52). Entre los fitolitos de inflorescencia encontramos ELONGATE DENTATE y PAPILLATE como los más abundantes, con un

promedio entre 3,3% y 2,9%; por el contrario, los ELONGATE DENDRITIC son escasos (0,5%) (Tabla 20). Las muestras donde más inflorescencias se han detectado son las pertenecientes a las facies b, ceniza pura y blanca, y bg, acumulaciones de cenizas.

En lo que respecta a los fitolitos en conexión anatómica el porcentaje apenas supera el 10,2% de máximo de la muestra 4bg (Figura 53b y Tabla 19). Al mismo tiempo los fitolitos en conexión anatómica formados en las inflorescencias de Poaceae apenas alcanzan el 6%.

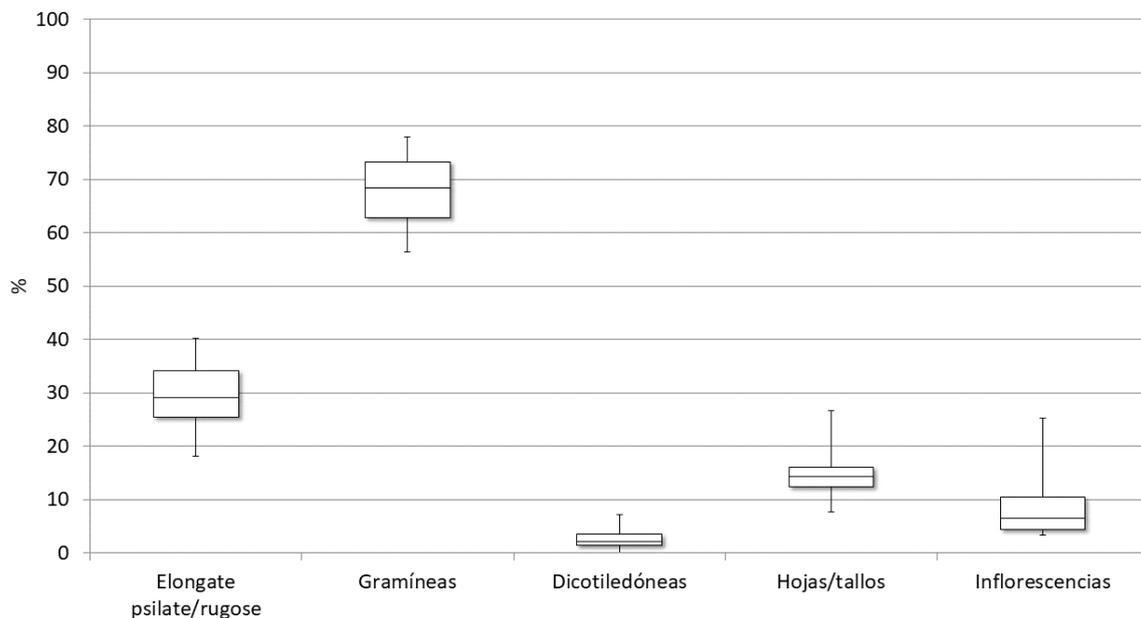


Figura 52. Diagrama de cajas y bigotes mostrando la composición vegetal, así como el origen anatómico de las plantas gramíneas, de la secuencia del Nivel MIR6 del Mirador. La media está representada por la línea del interior de las cajas, las cuales representan el error estándar, mientras que la desviación estándar está señalada mediante los bigotes.

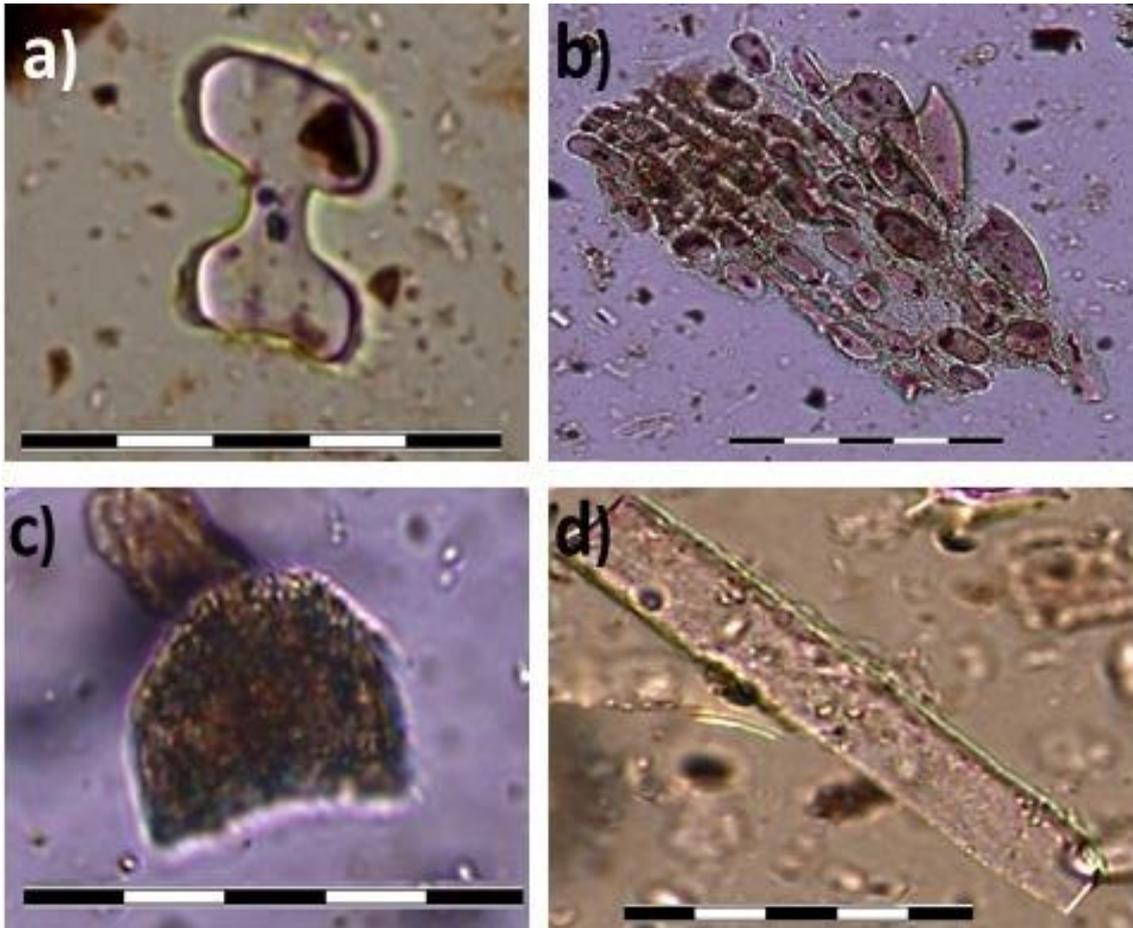


Figura 53. Microfotografías de los fitolitos detectados en el nivel MIR6 del Mirador tomadas a 400x aumentos: a) BILOBATE procedente de la muestra 18@, indicativa de plantas C₃ o C₄; b) estructura multicelular procedente de las hojas/tallos de Poaceae procedente de la muestra 20z; pseudomorfo de calcita identificado en la muestra 17@; d) ELONGATE ENTIRE porcedente de la muestra 10m. La escala representa 50µm.

La ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP muestra, de nuevo, valores muy bajos (>1), aunque eso sí con dos excepciones. La muestra 2b y 3bg, con una ratio de 1,1 y 1,2 respectivamente (Figura 54). Por lo tanto, en este caso tampoco las ciperáceas tienen una presencia mayoritaria en las muestras analizadas.

Por último, los fitolitos de plantas dicotiledóneas están también presentes en el registro, pero de nuevo su porcentaje es bajo (Figura 52 y Tabla 20). Es más, en la muestra 22z éstos no han sido detectados. El porcentaje máximo alcanzado es de 7,2% en la muestra 3bg. Como cabía esperar, los morfotipos de plantas dicotiledóneas con mayor peso en la secuencia, son aquellos producidos por la corteza/madera mientras que las hojas dicotiledóneas no han sido documentadas

en las muestras 3bg, 5bg, 6bg, 7g, 10m, 11m, 13o, 17[®] y 19r, más aun, en las muestras 5bg, 6bg y 13o no se han documentado pseudomorfos de calcita (Figura 53c y Tabla 19).

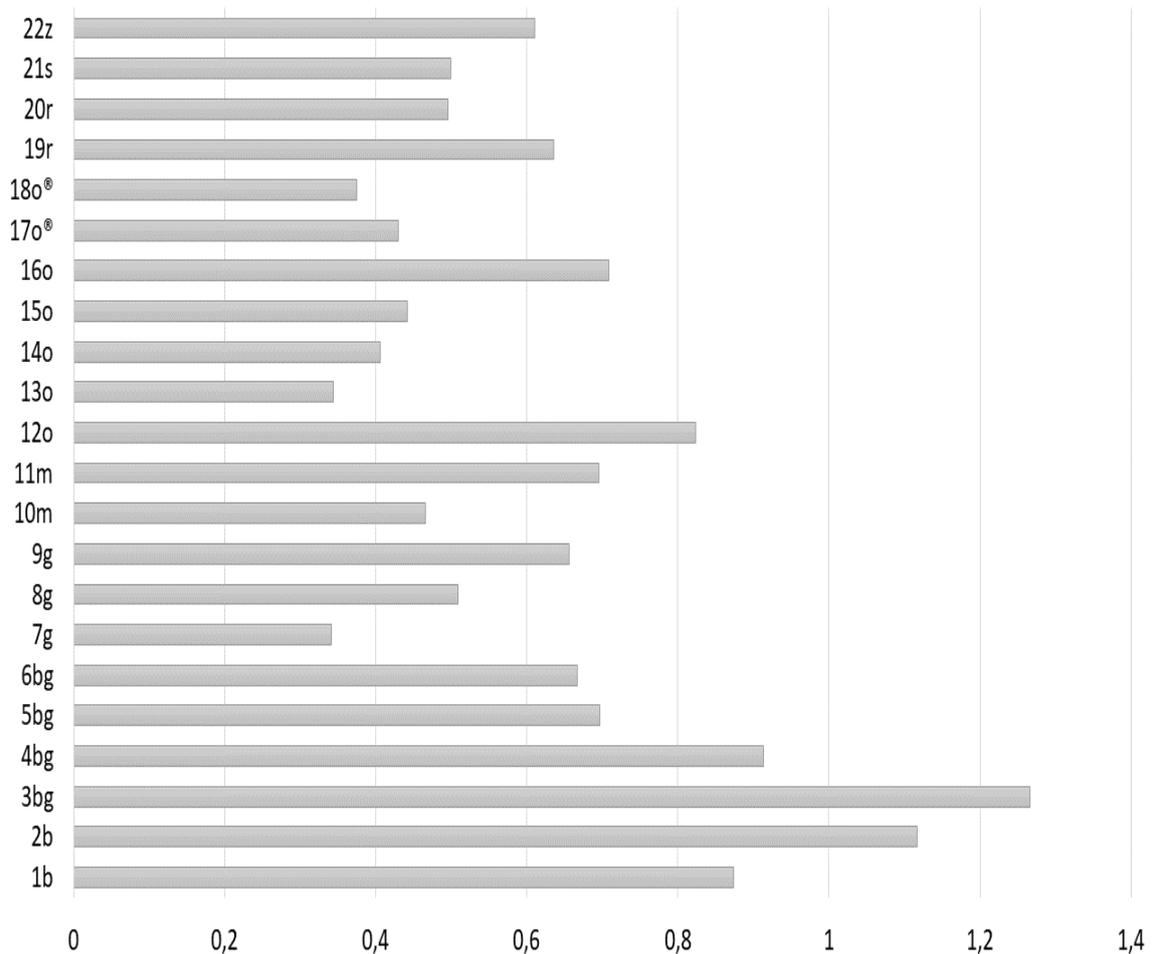


Figura 54. Histograma de la ratio entre ELONGATE ENTIRE y GSSCP aplicada al Nivel MIR6 del Mirador. Únicamente las muestras 2b y 3bg superan, aunque levemente, la ratio de 1. El resto de las muestras presentan una ratio por debajo de 1.

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	Promedio %
RONDEL	GSSCP C ₃	44,5
ELONGATE PSILATE/RUGOSE	Monocotiledóneas	28,4
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallo de Poaceae	8,2
ACUTE BULBOSUS	Hojas de Poaceae	5,5
ELONGATE DENTATE	Inflorescencia de Poaceae	3,3
PAPILLATE	Inflorescencia de Poaceae	2,9
TRAPEZOID	GSSCP C ₃	2,0
SPHEROID PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,8
BLOCKY PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,6
ACUTE	Inflorescencia de Poaceae	0,6
ELONGATE DENDRITIC	Inflorescencia de Poaceae	0,5
BILOBATE	GSSCP C ₄	0,5
PAPILLAR	Cyperaceae	0,4
ACUTE BASE	Hojas dicotiledóneas	0,4
TRACHEARY	Hojas dicotiledóneas	0,3
POLYLOBATE	GSSCP C ₄	0,3
ELLIPSOID DENTATE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,2
BULLIFORM FLABELLATE	Hojas de Poaceae	0,1
IRREGULAR PSILATE/RUGOSE	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,1
ACUTE UNCINATE	Hojas dicotiledóneas	0,1

Tabla 20. Porcentaje promedio de las morfologías presentes en las muestras del nivel MIR6 del Mirador y su atribución basada en la colección de referencia, así como en la literatura estándar.

La Figura 55a muestra el gráfico de componentes principales aplicado a la composición morfológica de las muestras. Los vectores muestran poca variabilidad entre los morfotipos, siendo los más abundantes los RONDEL y TRAPEZOID (C₃) y ELONGATE ENTIRE (Figura 53d y Figura 55a). También los morfotipos ELONGATE SINUATE, PAPILLATE, ELONGATE DENTATE y ACUTE BULBOSUS se muestran algo más distantes del centro del gráfico, aunque su peso en el registro no es tan importante como los morfotipos mencionados anteriormente (Figura 55a). No encontramos patrones de agrupación de las muestras en torno a ningún morfotipo, ni tampoco en función de la facie a la que pertenecen. (Figura 55a). Por su parte, los vectores indican que las hojas/tallos e inflorescencias de Poaceae son los

componentes mayoritarios mientras que las plantas dicotiledóneas tienen menos presencia; y que no hay relación entre las variables (Figura 55b). Tampoco en este caso podemos ver patrones de agrupación de las muestras.

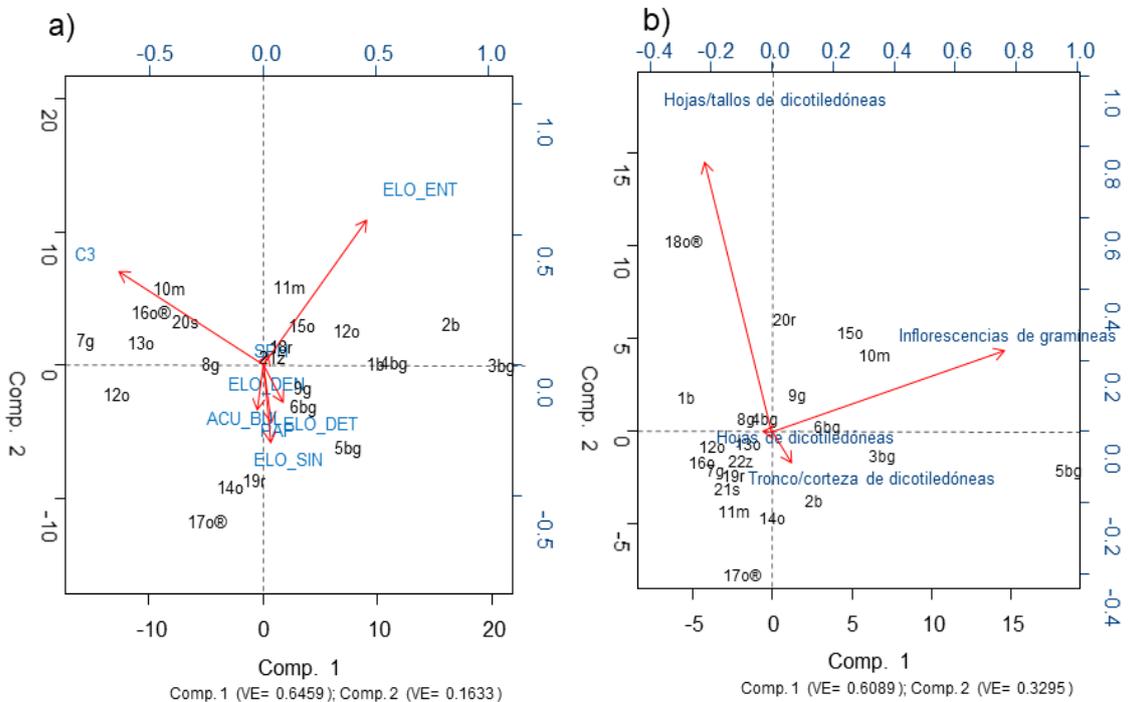


Figura 55. Análisis de componentes principales (PCA) aplicados a los fitolitos identificados y su adscripción anatómica en las muestras del Nivel MIR6 del Mirador. C₃: GSSCP *Pooideae*; ELO_ENT: ELONGATE ENTIRE; ACU_BUL: ACUTE BULBOSUS; ELO_DEN: ELONGATE DENDRITIC; ELO_DET: ELONGATE DENTATE; ELO_SIN: ELONGATE SINUATE; PAP: PAPILLATE; SPH: SPHEROID.

5.3.3.1 Muestras de control del yacimiento del Mirador.

En el caso del Mirador, hemos analizado una muestra de control extraída del exterior de la cueva. Al igual que lo que ocurre con las muestras de control de San Cristóbal tampoco hemos podido detectar en el sedimento del entorno ninguno de los tres microrrestos estudiados a lo largo de este trabajo (Tabla 19). De este modo, podemos asumir que la composición de las muestras arqueológicas deriva en exclusiva de las actividades pecuarias desempeñadas en la cueva.

5.4 La composición mineralógica de las muestras arqueológicas. Análisis de FTIR

La composición mineralógica de todas las muestras analizadas, tanto de los yacimientos de San Cristóbal y Los Husos II, como del Mirador, se caracteriza por la presencia de minerales pertenecientes al grupo de los silicatos (arcillas, sílice y cuarzo), carbonatos (polimorfos de calcita y aragonito) y fosfatos (dalita). En todas las muestras la composición es similar, la diferencia estriba en el mayor o menor peso que cada componente tiene en el sedimento (Anexo 1).

Dentro del grupo de los silicatos, las arcillas son el componente más abundante puesto que constituyen la matriz de los sedimentos. Normalmente son varios los tipos de arcillas presentes, y distinguir, a través de difractogramas de FTIR, los diferentes grupos es bastante complejo (Weiner, 2010). Por otra parte, en todos los espectros el pico característico de las arcillas, que se sitúa en torno a 1030cm^{-1} , presentan variaciones debidas a la alteración térmica moviéndose a valores más altos (Berna et al., 2007). Además de las arcillas, el cuarzo es un mineral omnipresente en los difractogramas. Se trata de un mineral muy estable y apenas sufre alteración química por procesos postdeposicionales debido a su naturaleza silíceo (Weiner, 2010).

Tampoco en ninguna de las muestras de los tres yacimientos hemos detectado la presencia de cristobalita, que indicaría que la temperatura del fuego habría alcanzado, al menos, 800°C (Weiner, 2010; Weiner et al., 2020). Esto tampoco ocurre en aquellas muestras donde detectamos una alta presencia de escorias de sílice y/o fitolitos derretidos.

Por su parte, el grupo de los carbonatos aglutina minerales de diferente origen y composición. En nuestras muestras hemos podido detectar calcita y, en algunos casos, aragonito. La calcita puede tener varios orígenes: geogénico, biogénico, o pirogénico. La calcita geogénica es la natural que está presente en las rocas, mientras que la biogénica procede de conchas de moluscos y gasterópodos. Por último, el origen pirogénico de la calcita deriva de la quema de madera. En todos

los casos analizados, la calcita tiene un origen pirogénico, aunque hay algunos casos en los que se identifica, de acuerdo con el método de Regev et al. (2010), con yeso. Este yeso está relacionado con la desordenación a nivel atómico que sufre la calcita a altas temperaturas (Toffolo y Boaretto, 2014). Son especialmente llamativas las capas de ceniza blanca puesto que en estos casos la calcita es el mineral más abundante, por encima de las arcillas. No obstante, encontramos la excepción en la facie b del Mirador que, según su descripción, está conformada por ceniza pura blanca y, sin embargo, el componente principal en este caso es la arcilla.

En alguna de las muestras aparece un pico leve a 856cm^{-1} que aproximadamente se corresponde con el aragonito (Figura 56). El aragonito es un polimorfo de carbonato cálcico que puede provenir bien de gasterópodos o conchas marinas, o bien puede precipitarse cuando se hierve agua. Su presencia es un excelente indicador del estado de preservación de los sedimentos puesto que es menos estable que la calcita (Weiner, 2010). No obstante, el aragonito puede resultar de la combustión de calcita a una temperatura mínima de 600°C , debido a un proceso de nucleación (Toffolo y Boaretto, 2014). En consecuencia, la presencia de aragonito en los sedimentos, especialmente de contextos de quema, es un buen indicador de la combustión del sedimento a altas temperaturas.

Finalmente, dentro del grupo de los fosfatos se documenta dalita que, como ya se ha señalado anteriormente, es un indicador de la presencia de materia orgánica en el sedimento, con toda probabilidad derivada de la presencia del estiércol en el yacimiento.

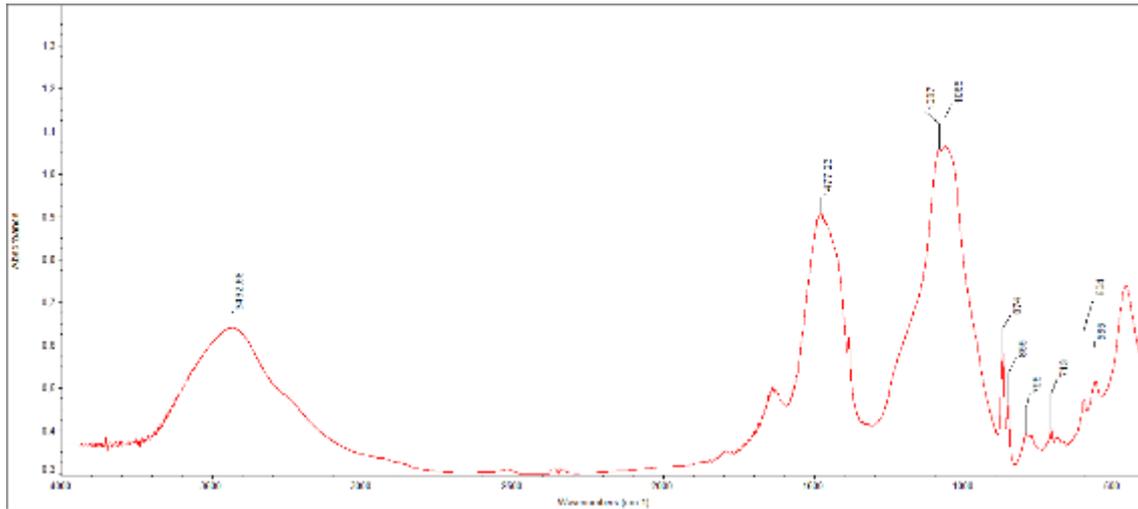


Figura 56. Diffractograma de la muestra 4bg del Mirador. En esta muestra vemos los picos de carbonatos (banda 1400cm^{-1}), arcillas alteradas (1065cm^{-1}), el pico característico de aragonito (855cm^{-1}) y los dos picos de la dalita (604 y 565cm^{-1})

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo nos aportan información en dos planos diferentes: el metodológico y el arqueológico que discutiremos a continuación. En primer lugar, trataremos los datos obtenidos a partir de la experimentación, y cómo sus resultados pueden ayudar a responder algunas de las cuestiones arqueológicas planteadas. Por su parte, hemos dividido la discusión en el plano arqueológico en dos grandes bloques: el primero centrado en desgranar las actividades y procesos de formación de los tres yacimientos analizados. A lo largo del segundo bloque se realizará una interpretación general y comparativa de los yacimientos aquí tratados, así como de otros yacimientos estudiados desde el mismo marco metodológico.

6.1 Aportaciones procedentes de las quemas experimentales.

El objetivo de las quemas controladas tanto en el material de estiércol como de plantas de referencia (en este caso *Quercus* sp.) es el de valorar el efecto del fuego sobre los microrrestos calcínicos y silíceos que forman parte de la composición de los materiales. A través de estos experimentos pretendemos crear una base comparativa que nos permita establecer las temperaturas a las que ha ardido el registro arqueológico, así como evaluar su preservación.

En el caso del estiércol, ya que el tiempo de combustión se suele extender durante varias horas y alcanzar altas temperaturas (Portillo et al., 2017; Vergès, 2011; Vergès et al., 2016b), es importante entender de qué manera el tiempo de combustión y la fluctuación de las temperaturas afecta a la preservación de los microrrestos.

Los resultados obtenidos apuntan a que ambas variables afectan la preservación de los microrrestos estudiados. El tiempo durante el cual los microrrestos son sometidos a estas temperaturas resulta especialmente crucial para su preservación, independientemente de si son microrrestos de naturaleza calcínica o silícea. Así pues, a mayor tiempo de exposición mayor porcentaje de alteración térmica y/o

disolución. Analizaremos a continuación el efecto del fuego en estos microrrestos por separado.

6.1.1 Esferolitos fecales recuperados del estiércol

Nuestros análisis han reportado que los esferolitos fecales son más delicados, en comparación a los pseudomorfos de calcita, ya que se disuelven a temperaturas entre 650°C-700°C, siendo la disolución de estos microrrestos más drástica cuanto más tiempo se exponen a la combustión. Esto es consistente y esperable debido a su composición a nivel atómico, el cual es altamente desordenado (Dunseth y Shahack-Gross, 2018), lo que explica que no sean tan estables a temperaturas mayores a 650°C.

Esta desaparición de los esferolitos a nivel microscópico se relaciona claramente con los resultados observados en los análisis mineralógicos de FTIR, los cuales muestran que en las muestras combustionadas a partir de 700°C desaparece el pico característico de los carbonatos en la banda 1400cm⁻¹ (Weiner, 2010). Este hecho se explica debido a que los esferolitos fecales están compuestos por monohydrocalcita, por lo que la desaparición de los carbonatos que se observa en el FTIR se debe en parte a la disolución de los esferolitos. Ya hemos mencionado que los esferolitos fecales se disuelven a temperaturas a partir de 650°C, no obstante, el pico de la banda 1400cm⁻¹ sigue apareciendo a 700°C, pero asociado en este caso a la presencia de dalita (Weiner et al., 2002).

6.1.2 Pseudomorfos de calcita recuperados de Quercus.

Los pseudomorfos tienen una fase calcítica estable (Shahack-Gross, 2011; Canti, 2003) por lo que pueden resistir temperaturas de hasta 900°C (Figura 17 y

Tabla 8). Sin embargo, sí se observan cambios en su preservación cuando el tiempo de exposición se alarga hasta las ocho horas y la temperatura alcanza 700°C. Gur-Arieh et al., (2014) ya habían reportado que a partir de 700°C se producía una disgregación de estos microrrestos, aunque no se había detectado a qué temperaturas se producía su disolución total. Con base en nuestros datos, es posible

confirmar que los pseudomorfos de calcita desaparecen completamente a temperaturas de 900°C a partir de ocho horas. Por otro lado, la cantidad de pseudomorfos de calcita estimados por gramo de material quemado en nuestro estudio es sensiblemente superior (70 millones) al reportado por Gur-Arieh et al., (2013) que varían entre 56 y 50 millones. Esta diferencia puede deberse a los materiales utilizados en cada caso para la experimentación, dado que los taxones y las partes de la planta analizadas no son los mismos. Es necesario tener en cuenta que la producción de oxalatos de calcio está supeditada a la disponibilidad de calcio en el substrato donde la planta crece (Franceschi y Nakata, 2005). Además, no se sabe con certeza en qué parte de la planta se forman estos cristales (Franceschi y Nakata, 2005), por lo que la producción de oxalatos de calcio puede variar notablemente de un taxón a otro y en función también del origen anatómico.

De acuerdo con la literatura especializada, las morfologías más habituales de oxalatos de calcio son poliedros, drusas, *rafidias* y *needles* (aguja), siendo las dos primeras más abundantes en plantas dicotiledóneas mientras que las dos últimas pueden aparecer en plantas monocotiledóneas, aunque este grupo de plantas no es un gran productor de oxalatos de calcio y una gran cantidad de taxones de este grupo no las produce (Canti, 2003; Franceschi y Nakata 2005; Prychid y Rudall, 1999). En el material vegetal utilizado para nuestra experimentación únicamente hemos detectado poliedros. Estos poliedros son morfotipos ampliamente producidos por una extensa variedad de plantas dicotiledóneas, entre ellos *Quercus*. No obstante, en este sentido hay un cierto vacío en la literatura especializada ya que todavía no se han desarrollado colecciones de referencia robustas en las que se clasifiquen los morfotipos de pseudomorfos de calcita, por lo que desconocemos el valor taxonómico de estos poliedros.

6.1.3 *Fitolitos fecales*

De los resultados obtenidos sobre los fitolitos procedentes de excrementos sometidos a la acción del fuego surgen dos observaciones: 1) la composición morfológica del conjunto de fitolitos no se ve demasiado alterada, pero si la textura

y la conexión anatómica de los mismos; y 2) los fitolitos presentan gran resistencia a altas temperaturas.

El efecto del fuego es patente en la superficie de algunos morfotipos, en especial de los ELONGATE ENTIRE, cuya superficie se vuelve rugosa a medida que aumentan las temperaturas. Nuestros resultados están en línea con estudios previos que indican que la superficie de los fitolitos puede volverse rugosa a causa del fuego (Cabanés et al., 2011a).

La alteración por acción del fuego en los fitolitos comienza a aparecer de manera significativa a temperaturas superiores a los 700°C. El punto de fusión de la sílice está establecido en 1000°C (Canti, 2003 y referencias en él). No obstante, a través de nuestras observaciones hemos podido comprobar que hasta llegar a este punto los fitolitos sufren alteraciones térmicas, que se distinguen de las alteraciones químicas por la presencia de cambios en la coloración (Grave and Kealhofer, 1999; Parr, 2006; Guhr-Arieh et al., 2013), aparición de burbujas en la superficie y la deformación del fitolito hasta el punto de no poder identificarlo (Figura 13) hasta llegar a convertirse en escorias de sílice a temperaturas de 900°C. Éstas también han sido detectadas en hornos preindustriales a través de estudios etnoarqueológicos, así como en estudios de fitolitos aplicados a los depósitos de *fumier* (Polo-Díaz et al., 2016; Gur-Arieh et al., 2013, 2014). Aunque sabíamos que la temperatura en la que se forman las escorias de sílice es elevada (Mentzer, 2012; Gur-Arieh et al., 2014), desconocíamos a qué temperatura exacta se formaban. Nuestros datos están pues en consonancia con los publicados recientemente por Weiner et al. (2020) que confirman que la formación de estas escorias se produce a temperaturas superiores a 800°C. A estas temperaturas también se forma cristobalita, resultado de la recristalización del dióxido de sílice (Macphail y Goldberg, 2010; Weiner, 2020). A pesar de ello, en ninguna de las muestras en las que hemos detectado estas escorias de sílice se ha podido identificar, a través de los análisis mineralógicos de FTIR, la presencia de dicho mineral. La explicación a este hecho no está del todo clara, aunque puede atender a que los picos característicos de la cristobalita queden ocultos detrás de otros picos

indicativos de otros minerales con mayor peso en la composición del material combustionado.

6.2 Aportaciones en el plano arqueológico

En el plano arqueológico, los resultados del estudio experimental y la combinación del análisis de los fitolitos, esferolitos, pseudomorfos de calcita y FTIR en los sedimentos arqueológicos nos ha permitido conocer o interpretar mejor la composición mineralógica, vegetal y pirogénica de los sedimentos, así como de los modos de deposición y procesos postdeposicionales que afectaron a los mismos.

En cuanto a la presencia de restos vegetales se ha podido constatar que no existe gran diferencia entre los yacimientos, sin que se hayan podido detectar variaciones a lo largo del tiempo, al menos en los yacimientos de la sierra de Cantabria. Estos resultados implican una similar gestión de los recursos vegetales y suponen nuevas aportaciones al estudio de los depósitos de *fumier*, estableciendo nuevas percepciones en torno a dichas cuestiones. A continuación, trataremos los diferentes aspectos que han sido analizados e interpretados con base en los trabajos realizados en los diferentes yacimientos para, después, realizar una comparativa global entre los tres yacimientos.

6.2.1 Reagrupación del ganado

Como consideraciones generales podemos afirmar que los tres yacimientos estudiados presentan una gran cantidad de microrrestos (fitolitos, esferolitos y pseudomorfos) (Tabla 11, Tabla 13, Tabla 15, Tabla 17 y Tabla 19). Estos resultados implican, a priori, que la deposición de los sedimentos arqueológicos está directamente relacionada con una actividad antrópica.

La gran cantidad de fitolitos documentados juntamente con la presencia de esferolitos detectada en las muestras arqueológicas es una de las principales características de los depósitos formados a partir del estiércol animal (Shahack-Gross, 2011; Shahack-Gross et al., 2003; Shahack-Gross y Finkelstein, 2008;

Albert et al., 2018; Portillo et al. 2012, 2014). En consecuencia, podemos afirmar que la principal actividad llevada a cabo en los yacimientos aquí estudiados estuvo relacionada con actividades pecuarias, en la que grupos humanos utilizaron los sitios como refugio para reagrupar al ganado, tal y como ya se venía indicando en estudios previos (Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2008, 2010; Fernández-Eraso, 2010a; Alonso-Eguiluz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., 2017; Polo-Díaz et al., 2016; Angelucci et al., 2009; Cabanes et al., 2009; Carrancho et al., 2012; Martín et al., 2014; Vergès et al., 1999; 2008, 2016a).

La presencia asociada de fitolitos y esferolitos indicaría, a priori, que el material vegetal detectado refleja la dieta del ganado (Portillo et al., 2012; 2014; Alonso-Eguiluz et al., 2017). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que hay otros elementos que también contribuyen al registro fitolitológico. En particular podemos identificar tres fuentes posibles de presencia de plantas no relacionadas directamente con el forraje:

- 1) Acondicionamiento y preparación del suelo con elementos vegetales, lo que se conoce como cama del ganado y que resulta una actividad común también entre los pastores actuales (Angelucci et al., 2009). No obstante, la cama del ganado se establece una única vez al principio de la ocupación del redil (Polo-Díaz, 2009; Fernández-Eraso, 2010a) por lo que aportaría una cantidad baja de fitolitos al registro.

- 2) Contaminación por aportación de plantas introducidas por a) agentes naturales externos como escorrentías o viento, es más, durante el proceso de excavación de los yacimientos de la sierra de Cantabria, pudimos comprobar que de un año a otro se acumulaban cantidades variables de hojas de los árboles del entorno; b) agentes biológicos, en concreto a través de bioturbación o de madrigueras creadas, por ejemplo, por micromamíferos que ocuparan los yacimientos durante periodos de abandono; y c) plantas que crecieron de manera natural en abrigos rocosos o a la entrada de la cueva donde la presencia de luz solar permite el crecimiento de vegetación. En el caso de San Cristóbal y Los Husos II,

esta opción es mucho más factible dado que son abrigos rocosos, por lo que la luz solar penetra fácilmente. Por el contrario, el yacimiento del Mirador se ubica en una cueva, por lo que el depósito se encontraría más resguardado de agentes meteorológicos externos. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que este tipo de yacimientos arqueológicos tienden a ser afectados por bioturbación en mayor grado, debido a la gran cantidad de materia orgánica acumulada en los depósitos (Angelucci et al., 2009) lo que puede dar lugar a la percolación tanto de material vegetal como de microrrestos como los fitolitos.

3) Utilización de plantas por parte de los visitantes del redil para otros usos, actividades de tipo económico relacionada con la propia alimentación de los pastores.

Los animales producen una gran cantidad de estiércol. Se estima que una oveja adulta produce desechos de en torno a 4kg por día (<https://wikifarmer.com>), y que una vaca adulta defeca en torno a 34kg por día (Jiménez-Ocampo et al., 2014). En consecuencia, las defecaciones de los animales son la principal fuente de deposición que conforman los depósitos de *fumier*. El estiércol se va depositando en el suelo que ocupan los animales formando una acumulación que durante el tiempo que dura la ocupación sufre el pisoteo de los animales (*trampling*) de manera que los sedimentos se van comprimiendo. Este proceso vuelve a repetirse tras amontonar y quemar los desperdicios, ya que el abrigo vuelve a ser utilizado con el mismo fin. Así pues, en condiciones estables donde no ha habido remoción, percolación, ni alteración evidente, los fitolitos identificados asociados a los esferolitos, serán indicadores de la dieta de los animales. Fitolitos correspondientes a otras fuentes de aportación, deberían solo encontrarse al principio de cada nivel de estabulación, como preparación de las camas o en niveles resultado de períodos de abandono. Intentaremos analizar los resultados de cada uno de los yacimientos estudiados con base en estas premisas.

Finalmente, la presencia asociada en nuestras muestras de 1) fitolitos alterados térmicamente (con coloración oscura o presencia de burbujas, disueltos o escorias

de sílice); 2) pseudomorfos de calcita, y 3) los resultados de los análisis mineralógicos de FTIR, que revelan la presencia de calcita pirogénica, arcilla alterada térmicamente y dalita, indican inequívocamente que el estiércol fue quemado.

6.2.1.1 Plantas representadas e interpretación

Analizaremos en primer lugar los resultados de las plantas representadas en los niveles de estabulación y su significado.

San Cristóbal

De acuerdo con la interpretación morfológica de los fitolitos, las plantas representadas corresponden esencialmente a plantas Poaceae de la familia C₃ que se desarrollan en estas latitudes, así como en zonas de media-alta montaña (Twiss, 1992). Los análisis de PCA muestran muy poca variabilidad en la composición morfológica entre los dos perfiles estudiados (Figura 31 y Figura 37). Al mismo tiempo que no advertimos un patrón claro en la agrupación de las muestras ni tampoco de los niveles (Figura 31 y Figura 37).

La mayoría de los fitolitos de Poaceae detectados pertenecen a las hojas/tallos de estas plantas (Figura 29 y Figura 35). No obstante, también se han detectado fitolitos producidos en la inflorescencia de gramíneas. De los morfotipos que se generan en las partes florales de las plantas, el más interesante para nosotros es el ELONGATE DENDRITIC ya que en porcentajes >8% (Albert et al., 2008; Ball et al., 1999) indicarían la presencia bien de plantas cultivadas o bien de productos secundarios derivados de la trilla, el aventado etc., como espiguillas o la cáscara del grano (Harvey y Fuller, 2005; Lancelotti et al., 2014). En el caso de San Cristóbal han sido detectados en un porcentaje inferior al 1%, tanto en el perfil Este como en el Oeste, lo cual indicaría que las plantas cultivadas no han formado parte de la dieta del ganado. Es más, si comparamos estos datos con los obtenidos del estiércol utilizado en la experimentación, producido por ovejas que pastan libres, observamos que el porcentaje de ELONGATE DENDRITIC es muy bajo de

0,54% (Tabla 10), por lo que podríamos establecer analogías entre el sedimento arqueológico y el actual. A nivel de preservación, es verdad que este morfotipo es más delicado y, por lo tanto, tiende más a disolverse, máxime si está quemado (Cabanes et al., 2011a). No obstante, hemos constatado a través de las quemas controladas de estiércol que este morfotipo puede aparecer a temperaturas de hasta 800°C. Estos datos también son coincidentes con otros estudios en hornos cerámicos en los que se ha documentado esta morfología a temperaturas superiores a 800°C (Weiner et al. 2020). Así pues, no creemos que la baja presencia de los ELONGATE DENDRITIC se deba a procesos de disolución derivados de la quema, sino al hecho de que representan plantas silvestres de la familia Poaceae que no producen estos morfotipos en abundancia.

Otra indicación de que nos hallamos ante plantas gramíneas (Poaceae) no domesticadas, es la baja presencia de estructuras multicelulares (<2%), habitualmente relacionadas con la presencia de cultivos (Rosen y Weiner, 1994) por efecto de una mayor irrigación y por tanto de una mayor silicificación del tejido epidérmico. Sin embargo, debemos tener en cuenta que nos encontramos ante un suelo de estabulación por lo que el proceso de *trampling* (pisoteo), por el cual se compacta la superficie en la que los animales se encuentran estabulados, podría haber impactado en la preservación de estas estructuras multicelulares quebrándolas y separando los fitolitos que las conforman (Albert et al., 2008; Shahack-Gross et al., 2005; Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2010). Por el contrario, el porcentaje de estructuras multicelulares cuantificado en las muestras arqueológicas sí se asemeja más a los resultados que aporta el estiércol utilizado para la experimentación en el cual la presencia de estructuras multicelulares no supera 7,8% (Tabla 11 y Tabla 12). El estiércol actual muestreado no presentaba signos de pisoteo y mantenía su morfología original. Es por ello que entendemos que el bajo porcentaje de estructuras multicelulares en las muestras arqueológicas no se debería al efecto del *trampling*.

Por otro lado, los morfotipos PAPILLATE, ELONGATE DENTATE, ELONGATE TRUBERCULATE y ACUTE, también producidos por las inflorescencias de

gramíneas, proporcionan, con ELONGATE DENDRITIC información en torno a la estacionalidad del uso del yacimiento. Ya que las gramíneas comienzan a florecer en los meses de primavera-verano y asumiendo que el ganado se alimenta del pasto circundante, la presencia de inflorescencias en la secuencia de ambos perfiles indica que el uso del abrigo como redil se produjo durante el período de floración de estas plantas que suele tener lugar en la zona durante los meses de abril a julio (primavera-verano).

En lo que respecta a la representatividad de otras familias de plantas en las muestras, es destacable la mayor presencia de BILOBATE en la muestra E26 del perfil Este. Estos morfotipos corresponden probablemente a la presencia de plantas riparias, arundinoides, presentes seguramente en las zonas húmedas del entorno (Aizpuru et al., 2010). Aunque el morfotipo BILOBATE es producido también por algunas Pooideae, como ya hemos mencionado, el porcentaje en la muestra E26 es demasiado alto como para pensar que provengan de plantas Pooideae donde aparecen en mucho menor número (Barboni y Bremond 2009; Cordova, 2013). Así, la presencia de plantas arundinoides en la muestra E26 puede tener dos interpretaciones posibles: que estas plantas hubieran formado parte del acondicionamiento del establo antes de recibir al rebaño; o que estas plantas fueran utilizadas para la iniciación del fuego ya que para inflamar el material leñoso se necesita de la ayuda de otras plantas que ardan con rapidez y que ayuden a prender la madera. La muestra E26 está compuesta principalmente por material leñoso, ya que presenta un alto número de pseudomorfos de calcita, no tiene esferolitos (Tabla 11) y que la calcita es el principal componente en esta muestra (Anexo 1). En consecuencia, puede deducirse que esta muestra procede de la capa de cenizas que corona el amontonamiento de estiércol y subyace a la capa de estiércol que pertenece al episodio de estabulación posterior. Por lo tanto, entendemos que posiblemente estas plantas ayudaran a la iniciación del fuego.

El registro de fitolitos también indica la presencia de plantas de la subfamilia *Cyperaceae*, aunque estas últimas no son abundantes en el registro (Tabla 12) y aparecen únicamente en seis muestras: E20, E21, E22 (Nivel IX), E24 (Nivel X) y

E28 (Nivel XI). Debemos apuntar, sin embargo, que los fitolitos característicos de plantas ciperáceas no suelen tener buena conservación y son de los primeros que desaparecen del registro (Albert et al., 2016). En este sentido y teniendo en cuenta que la presencia de cursos de agua es abundante por toda la sierra así como los estudios polínicos que apuntan a un ambiente húmedo en el entorno del yacimiento (Pérez-Díaz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., en preparación), donde probablemente crecerían estas plantas en abundancia, podemos especular que: a) estas plantas fueran más abundantes de lo que aparece en el registro y los fitolitos indicadores de su presencia han desaparecido en su mayor parte; b) que estas plantas no forman parte abundante del sedimento como nos inclinamos a pensar debido al bajo índice de ELONGATE ENTIRE/GSCCP.

Las plantas dicotiledóneas también han quedado registradas en la secuencia de ambos perfiles, en este caso representadas por pseudomorfos de calcita y fitolitos producidos por dicotiledóneas. Aunque los segundos tienen una escasa representación en ambos perfiles (Figura 29 y Figura 35), los pseudomorfos de calcita están presentes en abundancia, no solo en las muestras de ceniza derivadas de la quema de material leñoso (madera, ramas, la propia empalizada del redil etc. (Macphail et al., 1997)), sino también en las muestras que se componen principalmente de estiércol (Tabla 11 y Tabla 13). Los pseudomorfos de calcita se han podido documentar, a través de análisis de micromorfología, en el interior de los excrementos de ovicaprinos que pueden verse en las láminas delgadas, indicando que las plantas dicotiledóneas también están siendo consumidas (Polo-Díaz, 2009; Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2008, 2010). De este modo, en aquellas muestras donde se detecta una presencia asociada de pseudomorfos de calcita con esferolitos fecales indican que parte de este material vegetal forma parte de la dieta del ganado, junto posiblemente con las gramíneas dominantes.

Durante el Neolítico la cabaña ganadera es de tipo extensivo e incluía, al menos, ovejas, cabras y bóvidos (Fernández-Eraso, 2010a; Fernández-Eraso et al., 2015). Las cabras tienen un patrón alimenticio de más amplio espectro, incluyendo hojas e incluso corteza de dicotiledóneas derivadas del ramoneo (Badal, 1999; Badal y

Atienza, 2005; Tsartsidou et al., 2008), lo cual explica la presencia de pseudomorfos de calcita en las heces. En consecuencia, la presencia de pseudomorfos de calcita junto con esferolitos apunta a que una parte del material defecado proviene de cabras, lo cual está en consonancia con la información con la que contábamos sobre la presencia de cabras en la cabaña ganadera. Hasta el momento se ha detectado, a través del análisis de lípidos extraídos del sedimento (Gea et al., 2017), la presencia de rumiantes (oveja y vaca). A falta de la confirmación de la presencia de cabras a través de análisis enfocados al estudio del conjunto óseo recuperado, nuestros análisis apuntan a la presencia de cabras en el yacimiento.

Los resultados obtenidos para San Cristóbal indican pues que la dieta de la que se alimentaba el ganado estabulado se basaba probablemente en una explotación natural del entorno y de los recursos disponibles. Por otro lado, este patrón de explotación del medio biótico permanece más o menos inalterable a lo largo de la ocupación del yacimiento de San Cristóbal (ca. 5.500-3.200 B.C.) durante el Neolítico. Estos datos están en consonancia con los obtenidos en los niveles calcolíticos del mismo yacimiento, en los que los análisis microarqueológicos tampoco han detectado la presencia de plantas cultivadas ni cambios en la composición del registro fitolitológico en función de los niveles estudiados (Alonso-Eguiluz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., en prensa; Polo-Díaz et al., 2016; Fernández-Eraso et al., 2017).

En definitiva, los resultados obtenidos en el abrigo de San Cristóbal confirman la existencia de prácticas ganaderas durante toda la secuencia Neolítica, con un patrón de desarrollo muy específico que se mantiene estable, sin cambios aparentes, durante todo el período.

Los Husos II

La elevada presencia de fitolitos en las muestras de los perfiles Norte y Sur del yacimiento de Los Husos II contrasta con la baja concentración de estos microrrestos en las muestras de control recogidas del entorno de la cueva (Tabla

15), demostrando así que los fitolitos detectados en las muestras arqueológicas derivan de actividades antrópicas. De nuevo, se observa en los niveles estudiados una asociación entre fitolitos y esferolitos fecales lo que indica que, los fitolitos estarían relacionados con la dieta de los animales agrupados en el abrigo.

Los datos indican que la mayor parte del aporte vegetal proviene de plantas de la familia de las Poaceae, y dentro de esta de la subfamilia *Pooideae* con patrón fotosintético C₃. Aunque la mayor parte de los fitolitos provienen del tallo/hojas de Poaceae (Figura 41 y Figura 47), los fitolitos de inflorescencias de gramíneas también fueron identificados (Figura 41 y Figura 47). La presencia de estos últimos indica que el establo de Los Husos II fue utilizado durante el período de floración de estas plantas, que normalmente abarca los meses de mayo a julio. Este uso estival no se restringe a un único nivel arqueológico, sino que todos ellos presentan inflorescencias de gramíneas, lo cual indica que la estacionalidad durante la cual se utiliza el sitio de Los Husos II no varía a lo largo del Neolítico.

Como en el caso del abrigo de San Cristóbal, el bajo porcentaje de estructuras multicelulares y de ELONGATE DENDRITIC (Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18) sugiere que las plantas gramíneas identificadas no se correspondería con plantas cultivadas sino con plantas silvestres que crecen en el entorno del asentamiento.

Junto con las Poaceae, los resultados de fitolitos también apuntan a la presencia de plantas dicotiledóneas, además de la identificación de pseudomorfo de calcita en prácticamente todas las muestras a excepción de la muestra del perfil Norte N2 (Nivel VIII), y las muestras del perfil Sur S2 (Nivel VIII), S22 y S24 (Nivel IV). Los estudios micromorfológicos previos indican que la cabaña ganadera en Los Husos II estaría integrada, al menos, por ganado ovicaprino y bovino, este último con menos peso dentro del establo (Fernández-Eraso, 2008, Polo-Díaz, 2010). Estas plantas suelen ser consumidas por cabras durante el ramoneo, lo cual podría indicar la presencia de cabras en la cabaña ganadera de Los Husos II, lo cual ratificaría la presencia de estos animales en el yacimiento.

Finalmente, los resultados de PCA indican que no hay una variabilidad en la presencia de material vegetal a lo largo del período Neolítico estudiado y tampoco en función de las partes de la planta presentes. Dado que no se puede tampoco realizar una asociación entre composición vegetal y niveles, entendemos que el patrón alimenticio y de gestión del ganado permanece inalterado a lo largo de todo el período Neolítico.

El Mirador

En el caso del Mirador solo hemos podido analizar el Nivel MIR6, por lo que no es posible realizar una interpretación diacrónica del paquete Neolítico del depósito. El registro morfológico del conjunto fitolitológico del Mirador es muy similar al espectro que obtenemos del estiércol de referencia, en el que la familia de las Poaceae y en especial, dentro de esta, de los morfotipos RONDEL (Pooideae C₃) son abundantes. También están representadas las plantas *Cyperaceae*, pero de manera anecdótica (0,5%) (Tabla 20). A pesar de su bajo porcentaje, su presencia indica la cercanía de zonas húmedas que podrían haber actuado como lugares de abastecimiento de agua tanto para el ganado como para los pastores.

Como en los casos anteriores, los indicadores de plantas cultivadas de Poaceae, y en particular del morfotipo ELONGATE DENDRITIC y de las estructuras multicelulares, están poco representados en el registro (<0,5%) (Tabla 12 y Tabla 13). Así, y al igual que en San Cristóbal y en los Husos II, asumiendo que la mayor parte de los fitolitos y pseudomorfos corresponderían a la dieta de los animales que estabularon aquí, se puede sugerir que la dieta de la cabaña ganadera en la cueva del Mirador estaba compuesta por plantas silvestres probablemente de la zona circundante al yacimiento.

Los datos polínicos y carpológicos indican también que los campos de cultivo no están lejos del yacimiento, al mismo tiempo que la cueva del Mirador se localiza cercana a pastos y bosques (Rodríguez et al., 2016; Vergès et al., 2016a). Sin embargo, el ganado no se alimentaría de cultivos o subproductos de estos sino de las plantas no domesticadas que crecerían en la zona circundante al yacimiento.

Ésta práctica permitiría a los pastores almacenar los subproductos de las cosechas (paja, espiguillas, cáscaras del grano etc.) para alimentar al ganado durante el otoño-invierno, cuando no puedan acceder a los agostaderos. Llama la atención que en el cuadro Q22, los estudios realizados por Rodríguez y Buxó (2008) identificaron la presencia de semillas de trigos y en menor medida de cebadas domésticas. Por el contrario, las cuatro muestras correspondientes a este cuadro que hemos analizadas en este trabajo (15o, 19r, 20r y 22z) no tienen fitolitos que evidencien la presencia de plantas cultivadas, al igual que en el resto de las muestras del nivel. Al mismo tiempo, la gran cantidad de fitolitos asociados a esferolitos nos hace pensar que estas muestras no provienen de una zona diferente a la del establo. Es necesario tener en cuenta que, mientras la cascara que rodea las semillas son grandes productoras de fitolitos, las semillas no producen fitolitos. Así pues, la identificación de semillas en el registro y la falta de indicadores por parte de los fitolitos de la presencia de cáscara (inflorescencia) que rodea este grano, podría indicar que posiblemente las semillas fueran introducidas en este cuadro desnudas, una vez limpias como resultado de su procesamiento para separar la semilla de la cáscara.

Es más, a lo largo de la secuencia del Mirador se han detectado semillas que se han relacionado con actividades que tienen que ver con el procesado de cereales, especialmente trigos vestidos y desnudos (Rodríguez et al., 2016). Sin embargo, desestimamos la posibilidad de que las semillas estén siendo utilizadas para alimentar al ganado ya que es una práctica muy cara, máxime si tenemos en cuenta que el objetivo que tiene la trasterminancia es que el ganado se alimente de los pastos estivales. Es por ello que nos inclinamos a pensar que estas semillas estaban destinadas al consumo por parte de los pastores y que las actividades del procesamiento del cereal se llevarían en otra área del yacimiento no cubierta por este estudio.

En lo que respecta a la cabaña ganadera que se está explotando en El Mirador, esta está compuesta por oveja (*Ovis aries*), cabra (*Capra hircus*) y, en menor medida, bóvidos (*Bos taurus*) (Martin et al. 2016; Veregès et al., 2016a). La presencia de

cabra en el establo explica, al menos en parte, la presencia de fitolitos de plantas dicotiledóneas y pseudomorfos de calcita en el estiércol, ya que estos animales, como hemos indicado anteriormente, completan su dieta con este tipo de plantas.

Con todo lo expuesto, e independientemente de haber podido analizar únicamente el Nivel MIR6 del Mirador, los resultados obtenidos no presentan diferencias con respecto a los yacimientos de la sierra de Cantabria, a pesar de que están separados unos 81 kilómetros en línea recta.

6.2.2 Procesos de iniciación del fuego y detección de episodios de estabulación completos

Como ya se ha indicado en la Introducción, un episodio de estabulación completo culmina generalmente en una capa de cenizas blancas, derivadas de la combustión del material leñoso que da inicio a la quema del amontonamiento de los desperdicios y que es fácilmente reconocible durante el proceso de excavación (Angelucci et al., 2009; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009). La mayoría de las capas de ceniza producto de la combustión de material vegetal leñoso se caracterizan, a nivel microarqueológico, por presentar un PSR igual o superior a 5; una composición mineralógica en la que la calcita es el principal componente; y ausencia o cantidades muy reducidas de fitolitos y esferolitos fecales.

Sin embargo, hemos observado que no existe un patrón recurrente entre la coloración de los sedimentos y su composición mineralógica y los valores del PSR. En el Perfil Este de San Cristóbal las muestras de ceniza blanca E16, E18; la muestra E19 de coloración rojiza; la muestra de ceniza blanca E26 y la E27, cuya coloración es gris oscuro. Por el contrario, la muestra E20 tiene un PSR >5 y su coloración no es blanca sino marrón (Tabla 11).

Por otra parte, encontramos muestras de ceniza blanca que presentan un PSR <5 y en su composición mineralógica prima la calcita además de tener una elevada cantidad de esferolitos y fitolitos: W3, W5, W6 y W7 (Anexo 1 y Tabla 13). Entendemos que estas capas de ceniza están sujetas a los procesos

postdeposicionales derivados del pisoteo (*trampling*) de los animales de la siguiente ocupación, tiene como consecuencia que las capas de estiércol depositadas a continuación de la quema se mezclan con la ceniza derivada de la quema del amontonamiento previo.

Estos resultados indican que algunas capas de ceniza presentan una mezcla de sedimentos o materiales, en particular de cenizas de madera de episodios de ocupación anteriores y el estiércol generado durante la consecutiva estabulación del ganado. De esta manera, el pisoteo de los animales reagrupados durante el siguiente episodio de estabulación sería el causante de la mezcla de dichos sedimentos. Ello tiene una implicación a la hora de detectar cenizas de madera *a visu* durante el proceso de excavación ya que el color del sedimento no determina la composición del mismo.

En el caso de Los Husos II, en el perfil Norte hemos detectado tres muestras de ceniza blanca (N12, N19 y N25) con una composición característica de la combustión de madera: coloración blanca, $PSR > 5$ y una composición mineralógica en la calcita es el componente mayoritario. Por el contrario, la muestra de ceniza blanca N6 presenta un $PSR < 5$, típico de las muestras derivadas principalmente por la acumulación de estiércol. De Similar a lo que vemos en las muestras W3, W5, W6 y W7 del Oeste de San Cristóbal, nos encontramos de nuevo que los procesos postdeposicionales provocados por el pisoteo del ganado en estancias posteriores provoca que el sedimento recién depositado se mezcle, al menos parcialmente, con las cenizas que cierran el episodio de estabulación anterior.

En el yacimiento del Mirador el caso más llamativo es el de la facie b, que según la descripción de Vergès et al., (2016) se trata de una ceniza blanca derivada de la quema de madera que inicia la combustión del amontonamiento (Angelucci et al., 2009; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009). Las muestras pertenecientes a esta facie (muestras 1b y 2b) además de tener un PSR bajo, característico de la presencia de estiércol, presentan una cantidad alta de esferolitos y fitolitos (Tabla

19). Por lo que respecta a su composición mineralógica, la calcita es la dominante, lo cual es característico en sedimentos provenientes de ceniza de madera. Angelucci et al. (2009) sostienen que no todas las facies b se caracterizan por estar compuestas únicamente de ceniza de madera, sino que, en ocasiones, ésta aparece mezclada con coprolitos y otros elementos derivados del estiércol. Probablemente esta mezcla, y el caso de esta muestra en particular, sea producto del posterior pisoteo de los animales y/u otros episodios postdeposicionales como hemos visto en los casos anteriores.

6.2.3 El impacto del fuego en los diferentes microrrestos y otros procesos postdeposicionales.

San Cristóbal

En el caso de San Cristóbal, los valores de SMR y PMR de ambos perfiles indican una relación directa entre la acción del fuego y la reducción de la cantidad de microrrestos calcíticos. Este hecho viene también avalado por los resultados experimentales presentados en el capítulo anterior en los que se confirma que, a mayor temperatura y mayor tiempo de exposición al fuego, mayor disolución de esferolitos fecales y pseudomorfos de calcita. En cualquier caso, de acuerdo con los datos experimentales planteados anteriormente, la presencia de esferolitos en la mayoría de las muestras demuestra que las temperaturas alcanzadas en los niveles de estabulación durante el proceso de quema no alcanzaron los 700°C.

La presencia de fitolitos alterados térmicamente en muchas de las muestras, algunos incluyen cambios en la coloración, aparición de rugosidad en la superficie, desaparición de algunas características decorativas, aparición de burbujas en la superficie y, en los casos más extremos, aparición de escorias de sílice, demuestra que estos han sido alterados por procesos de combustión. En la mayoría de los casos, estas características aparecen juntas y asociadas a la presencia de esferolitos y pseudomorfos de calcio. Nuestras experimentaciones muestran que fitolitos derretidos aparecen si se dilata el tiempo de combustión del material a ocho horas, aunque las temperaturas sean menores de 800°C (Figura 21a y b). Estos resultados

explicarían la presencia de esferolitos, pseudomorfos de calcio y fitolitos alterados térmicamente en el registro arqueológico. De esta manera, consideramos que la combustión de los excrementos se prolongó por largos periodos de tiempo (> 6 horas) pero a temperaturas inferiores a 700°C. Trabajos experimentales llevados a cabo a través de la cremación de establos actuales, indican que distintas partes de los amontonamientos de excrementos pueden alcanzar distintas temperaturas (Vergès, 2011; Vergès et al, 2016b), lo que explicaría que encontremos esferolitos junto con fitolitos alterados térmicamente en nuestro registro. De la misma manera, procesos de pisoteo (*trampling*) también podrían haber influido al respecto. El pisoteo del ganado puede mezclar distintos depósitos lo que implicaría la movilización y transporte de los microrrestos. No podemos dar una respuesta contundente que explique este fenómeno, por lo que futuros estudios deben dilucidar esta cuestión.

Los resultados obtenidos del análisis de fitolitos confirman en general la buena preservación de los conjuntos de fitolitos en ambos perfiles. Pocas son las excepciones en las que encontramos un porcentaje de alteración alto, superior a 20%. La correlación de Pearson aplicada a fitolitos derretidos y alterados químicamente apunta a que existe una relación directa entre ambas alteraciones en el perfil Oeste de San Cristóbal. Aunque hay morfologías mucho más susceptibles que otras a disolverse, los fitolitos quemados son más susceptibles de disolverse que aquellos que no lo están (Cabanés et al., 2011a; Cabanés y Shahack-Gross, 2015). Según estos resultados, los procesos de alteración química tendrían lugar posteriormente a la quema del sedimento, puesto que estas muestras se localizan en zonas más resguardadas en las que agentes meteorológicos externos, especialmente la lluvia, no tienen gran incidencia.

No obstante, en el perfil Este no encontramos correlación entre ambos fenómenos. Las muestras procedentes del perfil Este de San Cristóbal presentan mayor índice de fitolitos alterados químicamente que de fitolitos derretidos, especialmente la muestra E16 (Nivel IX), E26 (Nivel X), su composición indica claramente que son el resultado de la quema de material leñoso (Tabla 11), que corona el

amontonamiento, por lo que entendemos que la alteración de los fitolitos en estos dos casos es consecuencia de la exposición de la capa de cenizas a la superficie (Karkanis et al., 2000).

En el caso de las muestras procedentes del Nivel XIII inf. (E34 y E35), las observaciones de campo nos han permitido apreciar que éstas no se derivan de actividades de amontonamiento y quema de estiércol, sino que más bien provienen de ceniza barrida (Fernández-Eraso, comunicación personal). Esto explicaría el hecho de que solo detectemos, en bajas cantidades, pseudomorfo de calcita en este nivel (Tabla 11).

En cualquier caso, el porcentaje de alteración química es, en términos generales, bajo, lo que sugiere una sedimentación rápida entre un episodio de estabulación y otro, ya que los procesos postdeposicionales comienzan tan pronto se produce la sedimentación y se vuelven más activos cuanto más contacto con la superficie tenga el sedimento o cuanta mayor exposición de los sedimentos (Karkanis et al. 2000; 2002). Al mismo tiempo indica que no hay escorrentías de agua que puedan alterar el depósito a lo largo del tiempo, aunque sí que pueda haber momentos más húmedos que alteren parcialmente el depósito.

Las muestras E29 (Nivel XI) y W-3 (Nivel XII) del perfil Este únicamente contienen fitolitos (Tabla 11 y Tabla 13). Estos dos niveles se encuentran parcialmente concrecionados debido al goteo de agua desde la visera del abrigo, lo cual favorece la concreción del sedimento algunas zonas. Ya que el carbonato cálcico es menos estable que la sílice (Karkanis et al. 2000; Weiner et al. 2002) es posible que la preservación de los microrrestos se haya podido ver afectada por las infiltraciones de agua que habrían activado procesos de disolución al incrementar el pH de los sedimentos (Frayse et al. 2009; Cabanes et al., 2011a).

Por su parte, las muestras del Nivel XIII E32 y E33 no tienen microrrestos calcíticos; y solo la muestra E32 contiene fitolitos, si bien con un porcentaje de alteración alto, 44,8% (Tabla 11). El análisis de FTIR revela que ambas muestras están compuestas mayoritariamente por calcita geogénica, mientras que la arcilla

supone un componente minoritario. Lo más probable es que la presencia de calcita geogénica se derive de la percolación de agua desde la pared del abrigo, la cual habría arrastrado carbonato cálcico procedente de la roca natural (caliza). Como se ha propuesto más arriba, la presencia de agua en contacto con la calcita podría haber incrementado el pH de los sedimentos, disolviendo así los fitolitos (Frayse et al., 2009; Cabanes et al., 2011). Ello también explicaría la presencia de agujas de calcita en las muestras de estos niveles, cuya formación estaría relacionada con la rápida evaporación de agua que favorecería la formación de estos microrrestos (Figura 26) (Verrechia y Verrechia, 1994). En consecuencia, entendemos que el aporte de agua en la parte Este del Nivel XIII ha impedido que los microrrestos se preservasen correctamente.

Los Husos II

Como en el caso de San Cristóbal, el análisis de los depósitos indica que éstos habrían sufrido un proceso de combustión. Polo-Díaz (2010) confirma la estabulación de ovicápridos y ganado bovino en el sitio, ambos grandes productores de esferolitos. De este modo y según los resultados obtenidos de nuestra experimentación, la cantidad de estos microrrestos debería ser más abundante (igual o mayor a 42 millones). Sin embargo, los resultados apuntan a una presencia mucho menor de estos microrrestos (de 14 millones a 80 mil, Tabla 11 y Tabla 13). Por otro lado la relación entre fitolitos alterados térmicamente y la disminución de los microrrestos calcíticos (SMR y PMR, Figura 38 y Figura 45) indican que la temperatura a la que ha combustionado el material ha influido en la disminución en el número de microrrestos calcíticos. Sin embargo, las temperaturas no habrían superado los 600°C-650°C (puesto que los esferolitos no se han disuelto en su totalidad), pero no habrían sido inferiores a los 400°C-500°C (ya que pseudomorfos de calcita están presentes) (Brochier y Thionon, 2003; Canti, 2003; Shahack-Gross, 2011; Gur-Arieh et al., 2013, 2014). No obstante, la cantidad de estos microrrestos calcíticos recuperados de las muestras arqueológicas también dista mucho de las cantidades obtenidas a partir de nuestro material actual de referencia siendo mucho menor, hasta un 10% menos con

respecto a la muestra arqueológica que más pseudomorfos tiene (7 millones de la muestra N25 (Tabla 15). Por lo tanto, podemos deducir que los niveles de estabulación analizados de los Husos II fueron quemados a temperaturas entre 400°C y 650°C durante varias horas, dependiendo del formato y la conservación del estiércol (Vergès, 2011; Vergès et al., 2016b).

En relación con la preservación del conjunto de fitolitos, en ambos perfiles dicha preservación es, en términos generales, buena. Las excepciones son las muestras N1, N6, N8 y N11 en el caso del perfil Norte; y las muestras S1, S9, S10, S11, S14, S15 y S19 del perfil Sur donde el porcentaje de alteración química es superior al 15% (Tabla 15 y Tabla 17).

En relación con el perfil Norte, éste se localiza hacia interior del refugio, parte más resguardada del exterior por la visera rocosa. Por ello, los desechos que se van a quemar a priori deberían preservarse mejor teniendo mayor poder calorífico y prolongando el fuego durante más tiempo (Vergès, 2011; Vergès et al., 2016b). En el caso de la muestra N1 del Nivel VIII, encontramos un alto porcentaje de fitolitos alterados químicamente, y una composición mineralógica en la que la calcita tiene gran peso. A través de estudios micromorfológicos, se ha detectado que el período al que corresponde el Nivel VIII de Los Husos II (Neolítico inicial) tiene lugar una gran inestabilidad climática (Polo-Díaz, 2010). Se trata de un momento climático de mayor humedad, por lo que pudo haber una mayor percolación de agua que aumentase el pH del sedimento, alterando así el conjunto de fitolitos (Fraysse et al., 2009; Cabanes et al., 2011a).

Simultáneamente, el test de correlación de Pearson aplicado a fitolitos alterados química y térmicamente muestra una correlación significativa en el perfil Norte, mientras que en el perfil Sur no existe correlación. Ello quiere decir, que en el perfil Norte encontramos que hay una relación entre el efecto del fuego y la alteración química posterior de los fitolitos como vimos en las muestras del perfil Oeste de San Cristóbal. Es decir que, la ubicación del perfil norte más hacia el

interior del abrigo ha permitido que la conservación del estiércol haya sido mayor por lo que el fuego sería más virulento (Vergès, 2011; Vergès et al., 2016b)

El Mirador

En el caso del Mirador, también hemos detectado grandes acumulaciones de microrrestos, especialmente fitolitos que oscilan entre 28 millones de la muestra 7g y los 5 millones de la muestra 16o (Tabla 19). En lo que respecta a los microrrestos calcínicos, su presencia no es tan abundante como la detectada en el material utilizado para la experimentación: <42 millones en el caso de los esferolitos y <70 millones en el caso de los pseudomorfo de calcita. La incidencia de las temperaturas sobre los microrrestos calcínicos viene reflejada por el SMR y PMR, que indican que la cantidad de microrrestos se ve rebajada debido a las temperaturas alcanzadas por el sedimento. No obstante, el fuego no ha superado temperaturas 600°C-650°C, ya que los esferolitos no se han disuelto del todo, tal y como cabría esperar a temperaturas superiores según los datos de nuestro material de referencia. Nuestros resultados están en consonancia con estudios arqueomagnéticos aplicados en el yacimiento, los cuales establecen la temperatura de combustión del sedimento entre 450°C y 700°C (Carrancho et al., 2012; Vergès et al. 2016a).

La cantidad de fitolitos que encontramos en las muestras es muy elevada, superando los 10 millones por gramo de sedimento, a excepción de las muestras 1b, 6bg y 16 bg. Paralelamente, el porcentaje de fitolitos alterados químicamente no es demasiado significativo, salvo en el caso de la muestra 4bg (>30%) (Tabla 19). Estos datos sugieren que el depósito se mantuvo más o menos estable a lo largo del tiempo y que la sedimentación posterior se produciría en una escala de tiempo reducida (Polo-Díaz et al., 2016; Alonso-Eguiluz et al., 2017). A ello hay que sumarle que la cavidad en cuyo interior se formó el depósito pudo haber servido también para protegerlo de agentes externos, especialmente agentes meteorológicos como la lluvia o el viento que pueden afectar a la preservación de los sedimentos (Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2010). Ello queda confirmado de

nuevo por los estudios arqueomagnéticos que no detectaron circulación de agua alguna en el interior de la cavidad que pudiera alterar la preservación de los sedimentos (Carrancho et al., 2012; Vergès et al., 2016a). Todo ello explica el bajo porcentaje de fitolitos alterados químicamente, con porcentajes inferiores al 30% de la muestra 4bg, única excepción a este respecto (Tabla 19). En cualquier caso, presencia de ELONGATE RUGOSE detectados en la mayoría de las muestras sean producto de la acción del fuego o química (Cabanés et al., 2011a).

Los fitolitos derretidos aparecen en todas las muestras, con valores máximos de 44,5% de la muestra 6bg (Tabla 19), lo cual posiblemente se deba a la buena preservación del estiércol dada su localización en el interior de la cueva que ha permitido que las temperaturas alcanzadas fueran muy altas (Vergès, 2011), aunque no lo suficiente como para que se generen escorias de sílice, pero tampoco superiores a los 650°C como para que los esferolitos se disolvieran. En resumen, los datos obtenidos de los yacimientos de San Cristóbal, Los Husos II y el Nivel VI del Mirador indican que los microrrestos estudiados no sufrieron una gran alteración química, de manera que los depósitos se mantuvieron estables, lo cual viene corroborado por otros estudios (Polo-Díaz y Fernández-Eraso, 2010; Carrancho et al., 2012; Vergès et al., 2016a). Por lo que nos inclinamos a pensar que la alteración observada sea consecuencia, en mayor medida, del fuego.

6.2.4 Detección de áreas relacionadas con otras actividades paralelas a la estabulación, el caso del Nivel XIII inferior de San Cristóbal.

A través de las muestras analizadas hemos podido comprobar que la principal actividad que se desarrolla en los yacimientos estudiados durante el período Neolítico tiene que ver exclusivamente con la estabulación del ganado. No obstante, en el caso del Nivel XIII inferior del perfil Este de San Cristóbal los resultados apuntan a que se han desarrollado otro tipo de actividades en ese Nivel en concreto. Las muestras analizadas de este nivel están compuestas únicamente por pseudomorfo de calcita. Además, los análisis de FTIR evidencian que estas muestras se componen de calcita pirogénica. Todo ello implica que se derivan de

la quema de material leñoso (incluyendo hojas y ramas de plantas dicotiledóneas) y que la formación de este no se debe a la quema de excrementos.

Por otra parte, los materiales arqueológicos recuperados de este Nivel XIII inferior, en el que destaca una cerámica con decoración impresa, son abundantes y no evidencian signos de alteración térmica (apartado 1.1 del Capítulo 1) al contrario de lo que ocurre en los niveles en los que sí se ha producido la combustión de los desperdicios generados a partir de las prácticas de estabulación. Posiblemente, durante el período del Neolítico inicial (ca. 4990 B.C.), al que pertenece el Nivel XIII inferior (Tabla 2). Estos resultados indican que las actividades de combustión no están relacionadas con la quema de los excrementos. También indica que las cerámicas no fueron expuestas al fuego, y por tanto que solo se habrían utilizado para contener cereal u otros productos. Es posible que los fuegos se hubieran producido como fuente calórica y lumínica o para cocinar/asar carne.

El Nivel XIII inferior del perfil Este de San Cristóbal es el único caso de los tres yacimientos analizados en el que hemos podido detectar otras actividades que no corresponden con el pastoreo. Ello no quiere decir que no se realizasen otras prácticas en el resto de yacimientos analizados, sino que el muestreo pudo realizarse en zonas donde no se llevaron a cabo tales prácticas.

6.3 Discusión general.

Formación depósitos de estabulación

En términos generales, los datos obtenidos de los tres yacimientos son bastante similares y se observan pocas diferencias entre ellos. Tal y como esperábamos, la formación de los depósitos de los tres yacimientos son consecuencia del uso de abrigos bajo roca y, en el caso del Mirador, cuevas para el desarrollo de prácticas ganaderas trasterminantes.

La quema del estiércol antes de cada ocupación se pone de manifiesto también gracias a la presencia de pseudomorfos de calcita y de fitolitos alterados

térmicamente, los cuales aparecen, aunque en cantidad variable, de manera recurrente en las muestras de los tres depósitos. Es más, el hecho de que los excrementos se amontonen y que esta sea una acción reiterada a lo largo del tiempo indican inequívocamente que la quema de los desperdicios es una acción intencionada y regular llevada a cabo por los pastores. Todo ello está en consonancia con los diferentes trabajos que se han venido haciendo, fundamentalmente desde la Geoarqueología en los que se detalla cómo se gestiona el estiércol producido durante el uso de las cuevas y abrigos como redil, acumulándolos en montones y prendiéndoles fuego (Angelucci et al., 2009; Alonso-Eguiluz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., 2017; Fernández-Eraso y Polo-Díaz, 2009; Fernández-Eraso et al., 2017; Polo-Díaz 2010; Polo-Díaz y Fernández-Eraso 2008; 2010; Vergès et al., 2002, 2008).

Teniendo en cuenta la cantidad de microrrestos detectada en el material de experimentación, así como otras colecciones de referencia (Portillo et al., 2012; Gur-Arieh et al., 2014), el aporte inicial a los sedimentos tanto de fitolitos, como de esferolitos fecales y pseudomorfos de calcita sería mucho mayor. Dado que hemos detectado la disolución de microrrestos, fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita, debido a la acción del fuego, entendemos que la cifra inicial, dependería de la cantidad de estiércol que se acumulara en el establo y, por tanto, de las cabezas de ganado estabuladas, así como del tiempo de estabulación.

En lo que respecta a los microrrestos calcínicos, el SMR y PMR indican una reducción de estos en virtud de las temperaturas alcanzadas, tal y como hemos podido comprobar también en la experimentación realizada en laboratorio. Es necesario tener en cuenta que el estiércol tiene un gran poder calorífico y que la combustión se puede prolongar durante un largo período de tiempo. Sin embargo, su poder calorífico, que puede llegar a temperaturas de entre 450°C y 800°C, se ve sujeto a diversas variables como el formato del estiércol o su estado de conservación, de manera que dentro de un único *fumier* las temperaturas alcanzadas son heterogéneas (Vergès 2011; Vergès et al., 2016a). En los tres yacimientos estudiados hemos podido comprobar que, en general, la temperatura

alcanzo entre 450-500°C y 600-650°C. A nivel morfológico, los morfotipos de pseudomorfos de calcita identificados, romboedros y poliedros, se puede relacionar con la presencia de *Quercus sp.*, ya que es un taxón rico en este tipo de microrrestos y además coincide con las morfologías de nuestro material de referencia, procedente de *Quercus*, así como de otras colecciones de referencia (Gur-Arieh et al., 2013). En cualquier caso, desgraciadamente son muy pocos los estudios realizados hasta hoy día, y por el momento no disponemos de una colección de referencia amplia para poder realizar inferencias a este respecto, por lo que tendremos que esperar a trabajos futuros que palien esta falta de información.

En cualquier caso, en todos los yacimientos encontramos una buena conservación de los microrrestos calcíticos, que tienden a disolverse en ambientes ácidos (Canti, 1999; Gur-Arieh et al., 2013). Su presencia asociada a fitolitos, que se disuelven en sedimentos con pH superior a 8 indica que todos los depósitos se han mantenido más o menos estables a lo largo del tiempo y con un pH neutro entre 5 y 8.

El test de correlación de Pearson realizado para conocer la relación entre fitolitos alterados térmicamente y alterados químicamente muestra en el perfil Oeste de San Cristóbal, perfil Norte de Los Husos II y en El Mirador una relación directa entre ambos fenómenos, de tal manera que, si el porcentaje de fitolitos alterados térmicamente aumenta, el porcentaje de alteración química de estos microrrestos también aumenta. Teniendo en cuenta que la incineración del material amontonado se produce inmediatamente antes del nuevo uso del sitio (Polo-Díaz et al., 2016), entendemos que la mayor parte de la alteración química se produce una vez quemado el amontonamiento de los desperdicios. Es preciso indicar, que los rediles se establecían siempre en la parte más resguardada del exterior. En consecuencia, de la misma manera que los animales se encontraban resguardados de los fenómenos meteorológicos, el depósito resultante de la estabulación se ve protegido por el propio abrigo o cueva.

Al mismo tiempo, consideramos que la sedimentación entre un episodio de combustión y otro de ocupación fue relativamente rápida. Gur-Arieh et al., (2013) sostienen que no es posible identificar a través del registro fitolitológico, si el sedimento estudiado procede de estiércol o de madera, en consecuencia, será el PSR el que nos indique la composición de los estratos. En nuestro caso, hemos podido detectar varios episodios de estabulación completos, puesto que la ceniza resultado de la quema de madera para iniciar la combustión y que aparece coronando el amontonamiento se ha preservado.

Un rasgo común a los tres yacimientos estudiados es la buena conservación, a nivel general, de los microrrestos analizados. Los procesos postdeposicionales que pueden alterar la preservación de los microrrestos comienzan inmediatamente después de la deposición produciéndose en aquellas zonas que están más en contacto con la superficie y, por tanto, más expuestos a dichos procesos (Karkanas et al., 2000). En consecuencia, teniendo en cuenta esta premisa y el buen estado de conservación de los depósitos, entendemos que el tiempo que dista entre un episodio de estabulación y otro no es demasiado prolongado, como se ha sugerido para el período Calcolítico de San Cristóbal (Polo-Díaz et al., 2016), puesto que no encuentran bioturbaciones en las capas de ceniza blanca que cierran el episodio de estabulación. En cualquier caso, los episodios de estabulación que conforman un *fumier* no tienen por qué corresponder con un momento de ocupación, ya que los excrementos se queman de manera periódica, atendiendo a las necesidades de cada momento, no cada vez que se ocupa el refugio (Polo-Díaz et al., 2014). En consecuencia, lo que conocemos como episodio de estabulación puede ser representativo de uno o varios momentos de ocupación.

En definitiva, comparando nuestros resultados obtenidos del estudio experimental con aquellos del análisis de las muestras arqueológicas exponemos que:

- Los efectos del fuego de todos los microrrestos analizados no empiezan a detectarse hasta temperaturas de 600°C.

- El tiempo de combustión es un factor que hay que tener muy en cuenta cuando valoramos el estado de conservación y/o disolución de los microrrestos procedentes de contextos pirogénicos. En general, a mayor tiempo de exposición, mayor disolución de los microrrestos.

- El grado de disolución y estado de preservación varía dependiendo del tipo de microrresto:

- Los esferolitos se mantienen estables hasta 600°, mientras que a partir de 700° desaparecen del registro. Por lo tanto, en fuegos donde la combustión ha sido superior a 700° no deberíamos encontrar presencia de esferolitos.

- Los pseudomorfos de calcita se preservan y se mantienen estables hasta temperaturas de unos 900°C durante cuatro horas de combustión; a partir de entonces y en fuegos más prolongados (>8 horas), estos microrrestos desaparecen del registro. Al mismo tiempo su coloración se oscurece a partir de 800°C y pueden verse más disgregados.

- A partir de temperaturas de 700°C durante cuatro horas de combustión, comienzan a aparecer fitolitos derretidos. Por el contrario, los signos que caracterizan a los fitolitos derretidos (burbujas en superficie, coloración oscura) empiezan a ser visibles incluso a 500°C si el tiempo de combustión se amplía a ocho horas. Independientemente del tiempo de combustión, los fitolitos derretidos son ampliamente detectables a partir de 800°C.

- La superficie de algunos morfotipos también se ve afectada por el efecto del fuego, pero no en la medida en que lleguen a ser irreconocibles. Tal es el caso de los ELONGATE, cuya superficie aparece rugosa a temperaturas de 600°C o los PAPILLATE, cuyo apéndice presenta una coloración oscura a partir de 700°C.

- Las escorias de sílice, aparecen a 800°C independientemente del tiempo de combustión.

En suma, teniendo en cuenta la preservación o ausencia de los esferolitos, así como el grado de alteración térmica de los fitolitos, es posible establecer el rango de temperatura a la que ha ardido el estiércol. Además, el tiempo de combustión es un factor que hay que tener muy en cuenta cuando valoramos el estado de

conservación y/o disolución de los microrrestos procedentes de contextos pirogénicos. En general, a mayor tiempo de exposición, mayor disolución de los microrrestos.

Esta información nos permite establecer el rango de temperatura y tiempo durante los cuales ha ardido el estiércol de los amontonamientos:

- 1) La temperatura mínima que alcanzan los amontonamientos de estiércol es de entre 450°C y 500°C, temperatura a la que se forman los pseudomorfos de calcita, pero que no ha sido lo suficientemente alta como para que estos desaparezcan. Además, no se han detectado pseudomorfos de coloración oscura y disgregados en las muestras, lo que indica que las temperaturas no superan los 700°C.
- 2) La presencia de esferolitos en prácticamente la totalidad de las muestras indica que el estiércol no ha ardido a más de 600°C-650°C.
- 3) Los fitolitos derretidos y las escorias de sílice aparecen, en muchas de las muestras, indicando que las temperaturas han alcanzado temperaturas que pueden alcanzar los 600°C-700°C. Sin embargo, éstos se encuentran junto con esferolitos lo cual indica que no se alcanzaron los 700°C. En consecuencia, y teniendo en cuenta que la alteración térmica de los fitolitos aparece a temperaturas de 500°C-600°C durante ocho horas de combustión, nos inclinamos a pensar que el tiempo durante el cual se prolongaron los fuegos fue más o menos largo, sin que podamos determinar con exactitud durante cuántas horas pudo arder.
- 4) En definitiva, nuestros resultados indican que la temperatura alcanzada por los desperdicios quemados se establece en una horquilla de entre 450°C y 650°C, y que la cremación de los amontonamientos se dilató durante largo tiempo.

Gestión de los recursos disponibles

Aunque los primeros indicios de la implantación de actividades agrícolas, tanto en la zona de la Sierra de Cantabria como en el área de la sierra de Atapuerca, se

atestiguan ya a principios del Neolítico (Fernández-Eraso et al., 2015; Rodríguez y Buxó, 2008; Estremera, 2003; Rojo et al., 2008), nuestros resultados no parecen evidenciar la presencia plantas cultivadas en los sitios de estabulación analizados, de manera que el ganado se habría alimentado de las plantas disponibles en el entorno de los yacimientos.

Esto es lógico si tenemos en cuenta que el lugar de habitación distaría varios kilómetros, de las cuevas redil analizadas, ubicadas además a una altitud de entre 900 y 1000 m.s.n.m. Es necesario recalcar que, en el caso de la Rioja alavesa, actualmente no disponemos de yacimientos de habitación conocidos debido a la profunda alteración de las actividades vitícolas de la zona (Fernández-Eraso y Mujika-Alustiza, 2013). Así el transporte de productos agrícolas hasta el lugar de estabulación, así como el esfuerzo humano que representa supondría un gran esfuerzo a nivel económico. Por otro lado, indicaría que el ganado pasaría largas temporadas en la sierra, sin acercarse al hábitat, por lo que su dieta se basaría en los productos del entorno.

Las partes florales de las plantas herbáceas están representadas en cada uno de los yacimientos analizados, y su presencia permite reconocer un uso estival de la cueva que comenzaría a finales de primavera, mayo-junio, perpetuándose hasta el final del verano o principios de otoño, septiembre-octubre. Este hecho tiene sentido desde el punto de vista de la explotación ganadera que estas primeras sociedades están llevando a cabo, en este caso una explotación extensiva y trasterminante. La trasterminancia se basa en la movilidad del ganado desde los pastos de invierno, en zonas de llano cercanas a áreas de cultivo, a los de verano, normalmente no demasiado lejos uno del otro, de tal manera que el ganado pastaría durante tres o cuatro meses de estación cálida en zonas de montaña donde los pastos están floreciendo. Esta práctica también ha sido detectada a través de un trabajo experimental llevado a cabo en el Mas del Pipet (Vergès et al. (2016b), donde el ganado se estabula en un abrigo rocoso entre los meses de abril/mayo y octubre/noviembre. Así pues, esta actividad trasterminante tiene tres objetivos claros. En primer lugar, se aleja al ganado de las zonas agrícolas que durante esos

momentos del año han de ser cosechadas de manera que no se compromete la cosecha, que estaría completamente reservada para los seres humanos. Por otro lado, el ganado se alimenta de los nuevos pastos que surgen en la montaña y alrededor de los refugios, de manera que no es necesario alimentarles con productos o subproductos de las cosechas (Alonso-Eguiluz, 2012; Alonso-Eguiluz et al., 2017; Polo-Díaz et al., 2016). Finalmente, otra de las tareas que cumple la trasterminancia es la de la ordenación del territorio, de tal manera que los circuitos por los que el ganado circula y en los que se asienta estarían bien determinados y relacionados con los grupos que ocupan el territorio a los pies de la montaña.

La gran concentración de fitolitos producidos por gramíneas es consistente con la dieta del ganado ovino, bovino y caprino, que se alimenta abundantemente de estas plantas (Albert et al., 2008; Portillo et al., 2012, 2014). Tanto en los yacimientos estudiados como en el estiércol actual hemos podido detectar una composición muy similar: gran porcentaje de Poaceae, especialmente representadas por morfotipos RONDEL, inflorescencias bien representadas, aunque en porcentajes bajos, infrarrepresentación de esqueletos multicelulares y un bajo porcentaje de fitolitos de plantas dicotiledóneas. La alimentación del ganado con pastos localizados en el entorno del redil, es coherente con los datos obtenidos y expuestos en el Capítulo 5, los cuales no muestran la presencia de productos o subproductos de la cosecha en el análisis fitolitológico. A ello se suma la escasa y, en algunos casos nula, representación de fitolitos que evidencian la presencia de plantas cultivadas, como ELONGATE DENDRITIC o estructuras multicelulares (Rosen y Weiner, 1994; Albert et al., 2008; Ball et al., 1999). Este patrón se ha detectado también en el caso de San Cristóbal para el período Calcolítico (Alonso-Eguiluz, 2012; Polo-Díaz et al., 2016). A una escala geográfica más amplia, estos datos coinciden también con los obtenidos en la cueva de Els Trocs, donde no se ha podido documentar una alimentación a base de plantas cultivadas (Lancelloti et al., 2014). Es más, los resultados morfológicos son análogos a los aquí expuestos, y en ellos se puede apreciar que la mayoría de las muestras están compuestas por gramíneas silvestres del entorno. Por el contrario, los estudios carpológicos

procedentes del Mirador indican la presencia de plantas cultivadas y de algunos subproductos de la cosecha, especialmente en el cuadro Q22 al que pertenecen las muestras 15o, 19r, 20r y 22z analizadas en este trabajo, aunque estos no están presentes en nuestro registro fitolitológico (Rodríguez y Buxó, 2008; Harvey y Fuller, 2005; Lancelloti et al., 2014).

En el caso de los dos yacimientos de la sierra de Cantabria, no se ha documentado la presencia de semillas en el registro paleobotánico. Pese a ello, tanto en el Nivel XII de San Cristóbal como en el IV de Los Husos II se han podido recuperar sendos molinos, que no han podido ser analizados puesto que su superficie había sido previamente lavada. Ahora bien, la presencia de estos útiles no quiere decir que estén procesando cereales cultivados, ya que se pueden estar abasteciendo de plantas silvestres o frutos, no necesariamente cereales. En cualquier caso, este hecho constataría el desarrollo de actividades domésticas destinadas a la propia subsistencia de los pastores y que se desarrollan paralelas al cuidado del ganado.

El estiércol del que se forman los depósitos tiene el papel de puente entre la zooarqueología y la arqueobotánica (Shahack-Gross, 2011), de tal manera que se pueden rastrear prácticas agrícolas a través de él. Sin embargo, a diferencia de los sistemas agropastorales, en los que el ganado está en contacto con las zonas de cultivo y, en consecuencia, la dieta puede reflejar tanto el pasto silvestre como las plantas que se cultivan (Albert et al, 2008), las prácticas de trasterminancia no reflejan esta variabilidad. En el caso de los yacimientos estudiados, la información que extraemos proviene del entorno de los rediles, por lo que la información que aporta tiene que ver con la vegetación del entorno (Shahack-Gross, 2011).

Aunque la totalidad de los fitolitos analizados no se correspondan con la dieta, sí que una gran parte de ellos tiene que ver con este aspecto al estar asociados con esferolitos fecales, mientras que otro porcentaje menor pueden tener que ver con el acondicionado de la cama para el ganado.

Actividades de estabulación en el tiempo

Dado que únicamente hemos analizado el nivel MIR6 del Mirador, correspondiente al Neolítico final, sólo podremos analizar la evolución diacrónica de los yacimientos de San Cristóbal y Los Husos II. Ya hemos apuntado que en el análisis de componentes principales (PCA) no hemos podido observar agrupaciones por niveles en ninguno de los dos yacimientos. Parece razonable pensar que este hecho se debe a que la práctica de la trasterminancia, que se establece en la zona con total seguridad desde el Neolítico antiguo (5700-4700 cal. BC), no sufre grandes variaciones a lo largo de los milenios durante los que se desarrolla esta práctica (4200-3600 cal. BC). Es más, el nivel MIR6 del Mirador es análogo a los niveles de Neolítico final de los yacimientos de San Cristóbal y Los Husos II. En el caso de los dos últimos yacimientos, no sorprende esta similitud puesto que son yacimientos vecinos separados por pocos kilómetros. Por el contrario, El Mirador dista varios kilómetros de ellos y es posible observar que las actividades relacionadas con la práctica de la trasterminancia no difieren en términos de gestión de los residuos, la dieta del ganado, el momento de ocupación del refugio etc. no difieren en ningún caso.

En definitiva, el estudio microarqueológico sobre los tres yacimientos de San Cristóbal, Los Husos II y El Mirador supone una buena representación de los datos que podemos obtener a través de los estudios transversales de fitolitos, esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita y FTIR. La coherencia de los resultados expuestos permite aplicar esta metodología de manera extensiva, en otros yacimientos de tal manera que sea posible establecer un marco teórico y metodológico más amplio.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

De lo expuesto hasta el momento y en relación con los objetivos planteados inicialmente, se desprenden las conclusiones principales que nos disponemos a resumir a continuación.

7.1 Pautas de gestión del medio biótico y patrón de alimentación del ganado.

Los datos expuestos a lo largo del presente trabajo muestran las grandes similitudes en términos de gestión del ganado, gestión de los residuos y explotación del medio en los tres yacimientos estudiados. Tanto es así, que podemos inferir que estas actividades se llevaban a cabo de la misma manera en los tres refugios, a pesar de la distancia entre ellos, especialmente en el caso del Mirador que es el yacimiento más distante, y durante la misma época, el Neolítico. Es más, en el caso de San Cristóbal y Los Husos II, se constata la permanencia del desarrollo de estas actividades, con pocas variaciones, a lo largo del período Neolítico. En definitiva, tanto la gestión de los residuos como los patrones de explotación del medio vegetal y la dieta del ganado se establecen a principios del período sin experimentar cambios sustanciales a lo largo del tiempo.

La gestión del medio biótico se basa en la explotación de los recursos vegetales circundantes. El registro arqueológico estudiado no muestra ningún cambio en el patrón vegetal, por lo que parece lógico pensar que el entorno vegetal no sufre cambios a lo largo del tiempo. El ganado pasta libre en el entorno del yacimiento, de tal manera que no existe un aporte extra de productos derivados de la cosecha de los cultivos, ya sean primarios o secundarios. Este modo de explotación no conlleva costes en tanto en cuanto no es necesario alimentar a los animales de manera artificial. Podemos hacer inferencias con respecto al tipo de ganado presente en los yacimientos, pudiendo detectar, a través del tipo de dieta, la presencia de cabras en todos los yacimientos.

7.2 Procesos de formación y diagénesis en los depósitos de fumier.

Gracias al estudio transversal de fitolitos, esferolitos, pseudomorfos y FTIR hemos podido reconstruir la historia de los depósitos de fumier de San Cristóbal, Los

Husos II y El Mirador. En primer lugar, dado que la preservación del conjunto de fitolitos es buena, podemos establecer que el ritmo de deposición es relativamente rápido entre un episodio de estabulación y otro. Sabemos que los pastores utilizan los abrigos y cuevas de manera estacional, de modo que para sanear el lugar amontonan los residuos y los prenden fuego. Asimismo, es posible contabilizar un número mínimo de episodios de estabulación dentro de un mismo fumier gracias a la preservación y detección de las capas de cenizas procedentes de la quema de madera, puesto que son las que suponen el cierre de cada uno de los episodios.

Hemos podido detectar la quema del estiércol a través de la presencia de calcita pirogénica, pseudomorfos de calcita y fitolitos derretidos. Al mismo tiempo, se puede determinar la horquilla de temperaturas que alcanza el fuego, estableciéndose entre los 450°C y 600°C. Por el contrario, el tiempo de combustión que tienen los amontonamientos no puede ser determinado con exactitud, con los datos de que disponemos hasta el momento. Gracias a los estudios experimentales llevados a cabo hasta el momento (Vergès et al., 2016b), sabemos que el lapso durante el cual el estiércol está ardiendo no es breve, sino que se prolonga durante varias horas. Los datos obtenidos del análisis microarqueológico también apuntan en esa dirección puesto que, de lo contrario, sería imposible encontrar conjuntamente esferolitos y fitolitos derretidos o escorias de sílice, teniendo en cuenta que la temperatura a la que los fitolitos comienzan a alterarse es demasiado alta como para que los esferolitos se preserven. Así pues, nos inclinamos a pensar que el tiempo de combustión de los amontonamientos ha sido lo suficientemente largo como para que se formen fitolitos derretidos, pero no lo suficientemente calórico como para disolver los esferolitos.

También hemos podido detectar procesos postdeposicionales que han contribuido a la alteración del depósito, como es el caso del Nivel XIII del perfil Este de San Cristóbal. Aunque la preservación del registro es buena en términos generales, dicho nivel del yacimiento se ve alterado, probablemente, por la aportación de agua de lluvia a través de la pared del abrigo, lo que hace que el sedimento se concrecione y eleve el pH del sedimento lo que afectaría a la preservación de los

fitolitos. El hecho de que sea el único nivel en el que se ha detectado este proceso apunta a un momento climático más húmedo que facilita el aporte del agua al yacimiento, siendo el agua de lluvia el principal contribuyente.

El trabajo realizado también nos ha permitido documentar un primer uso del abrigo de San Cristóbal, tal es el caso del Nivel XIII inferior. Los datos aquí expuestos son coherentes con las observaciones arqueológicas que sugieren un uso enfocado al desarrollo de actividades de tipo doméstico, relacionadas con las tareas destinadas a la propia subsistencia de los pastores, en este nivel, confirmando una vez más la utilidad de los análisis microarqueológicos para la detección de diferentes espacios de ocupación en un mismo yacimiento.

7.3 Rasgos microarqueológicos de los depósitos de fumier.

El estudio transversal que hemos presentado permite establecer ciertas características comunes a los tres yacimientos y que pueden utilizarse para caracterizar este tipo de depósitos desde el punto de vista microarqueológico:

- 1) La abundancia asociada de los tres microrrestos: fitolitos, pseudomorfos de calcita y esferolitos fecales.
- 2) La composición mineralógica caracterizada por la presencia de arcilla alterada térmicamente, calcita biogénica y dalita. Por el contrario, en las capas que se derivan de la quema de material leñoso, la calcita de origen pirogénico es el componente mayoritario, mientras que los fitolitos y esferolitos están presentes en menor número y los pseudomorfos de calcita tienen mayor peso.
- 3) En lo que respecta a la composición vegetal, las gramíneas dominan en todos los casos, puesto que es el componente primordial de la dieta del ganado. Es especialmente reseñable el altísimo porcentaje de GSCCP en todas las muestras analizadas.
- 4) Las partes de las plantas gramíneas representadas son fundamentalmente las hojas/tallos, mientras que las inflorescencias están presentes en menor medida.

7.4 Perspectivas de futuro

Teniendo en cuenta todo lo expuesto a lo largo de este trabajo, se abren múltiples cuestiones a seguir resolviendo en el marco de proyectos e investigaciones futuras. En primer lugar, a nivel metodológico, es importante ahondar en la preservación de los oxalatos de calcio y de sus derivados pseudomorfos de calcita después de sufrir procesos de combustión. A este respecto, hoy por hoy no contamos con una colección de referencia por especies que nos permitan, al igual que pasa con los fitolitos, adscribir ciertas morfologías a taxones o familias de taxones concretos, a pesar de que resultan una fuente de información valiosa a la hora de entender la gestión del medio vegetal. Al mismo tiempo, poco se sabe sobre la conservación en los sedimentos de estos microrrestos y, aunque existen trabajos pioneros (Gur-Arieh et al., 2014) la información de la que disponemos hoy en día es escasa.

Por otra parte, sería interesante ampliar las investigaciones de la acción del fuego sobre los microrrestos. Ya hemos visto cómo el tiempo de combustión supone un factor determinante a la hora de la preservación de los microrrestos, en consecuencia, es necesario llevar a cabo una experimentación en la que se amplíen los tiempos de combustión y poder así determinar si, los microrrestos se disuelven antes, a temperaturas más bajas, pero durante un tiempo de exposición mayor.

El desarrollo de colecciones de referencia es hoy por hoy una herramienta valiosísima para poder entender el registro fitolitológico de los yacimientos arqueológicos (Albert et al., 2016). En este sentido, no disponemos de información de este tipo a nivel local ya que el desarrollo de colecciones de referencia no se ha centrado en nuestras zonas de estudio. Es por ello por lo que otro de los aspectos para tener en cuenta en futuras investigaciones es el desarrollo de una base de datos de muestras de referencia, que se sume a las ya existentes, para paliar la falta de información en nuestra área de estudio.

En cuanto a los estudios arqueológicos, aunque entendemos que la muestra de yacimientos aquí estudiada (tres yacimientos arqueológicos) es bastante significativa y que los datos expuestos son coherentes entre los tres yacimientos,

en incluso comparándolos con otros (Els Trocs, Cova Bonica) es necesario profundizar en el conocimiento de las cuevas redil a través de la Microarqueología. Hoy en día, son muchos los yacimientos que presentan depósitos de *fumier* documentados y excavados. Además, estos yacimientos están diseminados por toda la geografía mediterránea, por lo que sería interesante entender si existen diferencias a nivel diacrónico y sincrónico dentro de cada caso y entre ellos. Para ello, extender estudios microarqueológicos como el presentado aquí, en los depósitos de *fumier* debería ser ampliado a otras cavidades, extendiéndolo también a otras áreas geográficas, así como a cronologías posteriores para determinar así la pervivencia y desarrollo de estas prácticas.

Paralelamente, y dentro de una visión más amplia, los resultados obtenidos en estos yacimientos de montaña deberían compararse con estudios microarqueológicos en yacimientos de habitación, como poblados o aldeas, de tal manera que podamos detectar los patrones de gestión de recursos vegetales durante el tiempo que el ganado se encuentra estabulado en esos lugares. De este modo, podríamos llegar a detectar qué tipo de plantas están explotando estas primeras sociedades productoras y cuál es la gestión de estos recursos.

BIBLIOGRAFÍA

A

- Aizpuru, I., Catalán, P. y Garin, F. (2010). Guía de árboles y arbustos de Euskal Herria. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz, segunda edición, pp. 482.
- Akeret, Ö., Haas, J. N., Leuzinger, U. y Jacomet, S. (1999). Plant macrofossils and pollen in goat/sheep faeces from the Neolithic lake-shore settlement Arbon Bleiche 3, Switzerland. *The Holocene*, 9(2), 175–182.
- Alday Ruiz, A., Eguíluz Monge, E., Eguíluz Mendoza, E., y Tarrío Vinagre, A. (2007). Bardallo: un conjunto prehistórico de ascendencia paleolítica en la Sonsierra riojana. *Zephyrus: Revista de Prehistoria y Arqueología*, 60, 115–144.
- Albert, R. M. (1995). Nuevo sistema de análisis descriptivo para fitolitos de sílice. *Pyrenae* 26: 19-38.
- Albert, R. (1999). Study of ash layers through phytolith analyses from the Middel palaeolithic levels of Kebara and Tabun caves. *Universitat de Barcelona*, 255.
- 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. y Weiner, S. (2001): Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach. En (J. D. Meunier y F. Colin, Eds) *Phytoliths, Applications in Earth Science and Human History*. A.A. Balkema Publishers, pp. 251–266.

- Albert, R. M. y Henry, D. (2004). Herding and agricultural activities at the early Neolithic site of Ayn Abu Nukhala (Wadi Rum, Jordan). The results of phytolith and spherulite analyses. *Paléorient*, 30/2, 81–92.
- Albert, R. M. y Portillo M. (2005). Plant uses in different Bronze and Iron Age settlements from the Nuoro province (Sardinia). The results of phytolith analyses from several ceramic fragments and grinding stones. *Anejos de Complutum*, 10, 109–119.
- Albert, R. M., y Cabanes, D. (2008). Fire in prehistory: An experimental approach to combustion processes and phytolith remains. *Israel Journal of Earth Sciences*, 56(175-189), 175–189.
- Albert, R. M., y Bamford, M. K. (2012). Vegetation during UMBI and deposition of Tuff IF at Olduvai Gorge, Tanzania (ca. 1.8 Ma) based on phytoliths and plant remains. *Journal of Human Evolution*, 63(2), 342–50.
- Albert, R. M. y Marean, C. W. (2012). The Exploitation of Plant Resources by Early Homo sapiens: The Phytolith Record from Pinnacle Point 13B Cave, South Africa. *Geoarchaeology*, 27(4), 363–384.
- Albert, R. y Esteban, I. (2016). What early human populations ate: the use of phytoliths for identifying plant remains in the archaeological record at Olduvai. En: Hdardy, K. and Kubiak-Martens (eds). Wild harvest. Plants in the hominin and pre-agrarian human worlds. Oxbow books, Oxford, pp.171-190.
- Albert, R. M., Cummings, L. S., Juan, J. y Martín, A. (1996). Análisis de fitolitos de un hogar neolítico de la Cova del Frare (Matadepera, Barcelona). *Rubricatum: revista del Museu de Gavà* 1, 123-129.
- Albert, R.M., Mangado, X. y Martín, A. (1997). Study about phytolith preservation in calcareous sediments. Analysis of a stratigraphic column from Cova del Frare (Matadepera, Barcelona). Estudio actual de los estudios de fitolitos en

suelos y plantas. Monografías 4. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (Spain), pp. 187-196.

Albert, R. M., Lavi, O., Estroff, L., Weiner, S., Tsatskin, A., Ronen, A. y Lev-Yadun, 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*, 26(10), 1249–1260.

Albert, R. M., Weiner, S., Bar-Yosef, O., y Meignen, L. (2000). Phytoliths in the Middle Palaeolithic deposits of Kebara Cave, Mt Carmel, Israel: study of the plant materials used for fuel and other purposes. *Journal of Archaeological Science*, 27(10), 931–947.

Albert, R. M., Bar-Yosef, O., Meignen, L., y Weiner, S. (2003). Quantitative Phytolith Study of Hearths from the Natufian and Middle Palaeolithic Levels of Hayonim Cave (Galilee, Israel). *Journal of Archaeological Science*, 30(4), 461–480.

Albert, R. M., Bamford, M. K., y Cabanes, D. (2006). Taphonomy of phytoliths and macroplants in different soils from Olduvai Gorge (Tanzania) and the application to Plio-Pleistocene palaeoanthropological samples. *Quaternary International*, 148(1), 78–94.

Albert, R. M., Shahack-Gross, R., Cabanes, D., Gilboa, A., Lev-Yadun, S., Portillo, M., Sharon, I., Boaretto, E., Weiner, S. (2008). Phytolith-rich layers from the Late Bronze and Iron Ages at Tel Dor (Israel): mode of formation and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science*, 35(1), 57–75.

Albert, R. M., Bamford, M. K. y Cabanes, D. (2009). Palaeoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania, based on phytolith remains. *Quaternary International*. 193: 41-48

- Albert, R. M., Esteve, X., Portillo, M., Rodríguez-Cintas, A., Cabanes, D., Esteban, I. y Hernández, F. (2011). Phytolith CoRe, Phytolith Reference Collection. Retrieved Nov 11, 14, from: <http://www.phytcore.org>
- Albert, R. M., Berna, F. y Goldberg, P. (2012). Insights on Neanderthal fire use at Kebara Cave (Israel) through high resolution study of prehistoric combustion features: Evidence from phytoliths and thin sections. *Quaternary International*, 247, 278–293.
- Albert, R. M., Bamford, M. K., Stanistreet, I., Stollhofen, H., Rivera-Rondón, C. y Rodríguez-Cintas, A. (2015). Vegetation landscape at DK locality, Olduvai Gorge, Tanzania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 426, 34–45.
- Albert, R. M., Ruíz, J. A., y 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, 98–105.
- Albert, R. M., Bamford, M. K., Stanistreet, I. G., Stollhofen, H., Rivera-rondón, C. A., Njau, J. K., y Blumenschine, R. J. (2018). Review of palaeobotany and palynology river-fed wetland palaeovegetation and palaeoecology at the HWK W site, Bed I, Olduvai Gorge. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 259, 223–241.
- Alexandre, A., Meunier, J., Lzine, A., Vincens, A., y Schwartz, D. (1997). Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136(97), 213–229.
- Alexandre, A., Basile-Doelsch, I., Delhay, T., Borshneck, D., Mazur, J.C., Reyerson, P. y Santos, G.M. (2015). New highlights of phytolith structure and occluded carbon location: 3-D X-ray microscopy and NanoSIMS results. *Biogeosciences* 12, 863-873.

- 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*, (1), 1–14.
- Alonso-Eguíluz, M., Fernández-Eraso, J., y Albert, R. M. (2017). The first herders in the upper Ebro basin at Los Husos II (Álava, Spain): Microarchaeology applied to fumier deposits. *Vegetation History and Archaeobotany*, 26(1), 143–157.
- Alonso-Eguiluz, M., Ruiz-Alonso, M., Pérez-Díaz, S., Albert, R.M. y Fernández-Eraso, J. (en prensa). Estudio arqueobotánico en depósitos de redil. Análisis de microrrestos y macrorrestos vegetales del yacimiento de San Cristóbal (Laguardia, Álava). *Actas del VI Congreso de Neolítico Peninsular, Granada 2016*.
- Anderson, S. y Ertug-Yaras, F. (1998). Fuel Fodder and Faeces: An Ethnographic and Botanical Study of Dung Fuel Use in Central Anatolia. *Environmental Archaeology*, 1, 99–109.
- Angelucci, D. E., Boschian, G., Fontanals, M., Pedrotti, A. y Vergès, J. M. (2009). Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic. *World Archaeology*, 41(2), 191–214.
- Arnáiz Alonso, M. Á. y Esparza Arroyo, Á. (1985). Un yacimiento al aire libre del Neolítico interior: el Altotero de Modúbar (Burgos). *Boletín Del Seminario de Arte Y Arqueología*, LI, 5–47.
- Asscher, Y., Weiner, S. y Boaretto, E. (2017). A new method for extracting the insoluble occluded carbon in archaeological and modern phytoliths: Detection of ^{14}C depleted carbon fraction and implications for radiocarbon dating. *Journal of Archaeological Science*, 78, 57–65.
- Ashley, G. M., Barboni, D., Dominguez-Rodrigo, M., Bunn, H. T., Mabulla, A. Z. P., Diez-Martin, F., Barba, R. y Baquedano, E. (2010) a. A spring and wooded

habitat at FLK Zinj and their relevance to origins of human behavior. *Quaternary Research*, 74(3), 304–314.

Ashley, G. M., Barboni, D., Dominguez-Rodrigo, M., Bunn, H. T., Mabulla, A. Z. P., Diez-Martin, F., Barba, R. y Baquedano, E. (2010) b. Paleoenvironmental and paleoecological reconstruction of a freshwater oasis in savannah grassland at FLK North, Olduvai Gorge, Tanzania. *Quaternary Research*, 74(3), 333–343.

B

Badal, E. (1999). El Potencial Pecuario De La Vegetacion Mediterranea: Las Cuevas Redil. *Saguntum*, 2(2), 69–75.

Badal, E., y Atienza, V. (2005). Análisis microscópico de coprolitos de herbívoros hallados en contextos arqueológicos. En *VI Congreso Ibérico de Arqueometría* (pp. 283–293).

Bergadà, M. (1997). Actividad antrópica en el Neolítico antiguo catalán a través del análisis micromorfológico. *Trabajos de Prehistoria*, 54(2), 151–162.

Ball, T. B., Brotherson, J. D. y Gardner, J. S. (1993). A typologic and morphometric study of variation in phytoliths from einkorn wheat (*Triticum monococcum*). *Canadian Journal of Botany*,

Ball, T., Gardner, J. y Brotherson, J. (1996). Identifying Phytoliths Produced by the Inflorescence Bracts of Three Species of Wheat (*Triticum monococcum* L., *T. dicoccon* Schrank. and *T. aestivum* L.) Using computer-assisted image and statistical analyses. *Journal of Archaeological Science*, 23, 619–632.

Ball, T. B., Gardner, J. S. y Anderson, N. (1999). Identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccon*, *T. dicoccoides*, and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and

- H. spontaneum) (Gramineae). *American Journal of Botany*, 86(11), 1615–1623.
- Ball, T.B., J.S. Gardner y N. Anderson (2001). An approach to identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat and barley. En: Meunier, J.D. and F. Colin (eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*, A. A. Balkema Publishers, Exton, Pennsylvania, pp. 289–302
- Ball, T. B., Ehlers, R. y Standing, M. D. (2009). Review of typologic and morphometric analysis of phytoliths produced by wheat and barley. *Breeding Science*, 59(5), 505–512.
- Ball, T. B., Davis, A., Evett, R. R., Ladwig, J. L., Tromp, M., Out, W. A. y Portillo, M. (2015). Morphometric analysis of phytoliths: recommendations towards standardization from the International Committee for Phytolith Morphometrics. *Journal of Archaeological Science*, 1–6.
- Ball, T., Chandler-Ezell, K., Duncan, N., Dickau, R., Hart, T. C., Iriarte, J., Lentfer, C., Logan, A., Lu, H., Madella, M., Pearsall, D. M., Piperno, D., Rosen, A. M., Vrydaghs, L., Weisskopf, A. y Zhang, J. (2016). Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world. *Journal of Archaeological Science*, 68, 32–45.
- Bamford, M. K., Albert, R. M., y Cabanes, D. (2006). Plio – Pleistocene macroplant fossil remains and phytoliths from Lowermost Bed II in the eastern palaeolake margin of Olduvai Gorge, Tanzania. *Quaternary International*, 148, 95–112.
- Barboni, D. y Bremond, L., (2009). Phytoliths of East African grasses: an assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 158, 29–41.

- Barboni, D., Bonnefille, R., Alexandre, A., y Meunier, J. D. (1999). Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152(1–2), 87–100.
- Barboni, D., Bremond, L., y Bonnefille, R. (2007). Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 246(2–4), 454–470.
- Barboni, D., Ashley, G. M., Dominguez-Rodrigo, M., Bunn, H. T., Mabulla, A. Z. P. y Baquedano, E. (2010). Phytoliths infer locally dense and heterogeneous paleovegetation at FLK North and surrounding localities during upper Bed I time, Olduvai Gorge, Tanzania. *Quaternary Research*, 74(3), 344–354.
- Benito-Calvo, A. y Pérez-González, A. (2015). Geomorphology of the Sierra de Atapuerca and the Middle Arlanzón Valley (Burgos, Spain). *Journal of Maps*, (11), 535–544.
- Berna, F. (2017). Geo-ethnoarchaeology study of the traditional Tswana dung floor from the Moffat Mission Church, Kuruman, North Cape Province, South Africa. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9(6), 1115–1123.
- Berna, F., Behar, A., Shahack-Gross, R., Berg, J., Boaretto, E., Gilboa, A., Sharon, I., Shalev, S., Shilstein, S., Yahalom-Mack, N., Zorn, J. R. y Weiner, S. (2007). Sediments exposed to high temperatures: reconstructing pyrotechnological processes in Late Bronze and Iron Age Strata at Tel Dor (Israel). *Journal of Archaeological Science*, 34(3), 358–373.
- Blackman, E. (1971). Opaline silica bodies in the range grasses of Southern Alberta. *Canadian Journal of Botany* 49: 769-781.
- Blackman, E. y Parry, D.W. (1968). Opaline silica deposition in rye (*Secale cereal* L.). *Annals of Botany*, 32: 199-206

- Boaretto, E. (2007). Determining the chronology of an archaeological site using radiocarbon: minimizing uncertainty *Israel J. Earth Sci.* 56, 207-216.
- Boaretto, E. (2009). Dating materials in good archaeological contexts: the next challenge for radiocarbon analysis. *Radiocarbon*, Vol 51, p 275–281
- Bozarth, S.R., 1992. Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the Great Plains. En: Rapp Jr., G., Mulholland, C.S. (Eds.), *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeological and Museum Science*. Plenum Press, New York.
- Bremond, L., Alexandre, A., Hély, C., Guiot, J., (2005a). A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest–savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change* 45 (4), 277–293
- Bremond, L., Alexandre, A., Peyron, O., y Guiot, J. (2005). Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32(2), 311–327.
- Bremond, L., Alexandre, A., Wooller, M. J., Hély, C., Williamson, D., Schäfer, P. A., Amos Majule y Guiot, J. (2008). Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change*, 61(3–4), 209–224.
- Brochier, J. E. (1983). Combustion et parcage des herbivores domestiques. Lé point de vue du sédimento. *Bulletin de La Société Préhistorique Française*, 80, 143–145.
- Brochier, J. E. (1999). Les Phytolithaires. *La Botanique*, 157–170.
- Brochier, J. E., y Thinon, M. (2003). Calcite crystals, starch grains aggregates or...POCC? Comment on ‘calcite crystals inside archaeological plant tissues.’ *Journal of Archaeological Science*, 30, 1211–1214.

Brochier, J. E., Villa, P., Giacomarra, M. y Tagliacozzo, A. (1992). Sepherds and Sediments: Geo-ethnoarchaeology of Pastoral Sites. *Journal of Anthropological Achaeology*, 11, 47–102.

Brown, D. A. (1984). Prospects and Limits of a Phytolith Key for Grasses in the Central United States. *Jurnal of Archaeological Science*, 11, 345–368.

Buxó, R. y Piqué, R. (2008). Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la Península Ibérica. Ariel Prehistoria, Barcelona

C

Cabanes, D. (2009). L'estudi dels processos de formació dels sediments arqueològics i dels paleosòls a partir de l'anàlisi dels fitòlits, els minerals i altres microrestes. Els casos de la Gorja d'Olduvai, l'Abric Romaní, El Mirador i Tel Dor. Universitat Rovira i Virgili. Tesis inédita.

Cabanes, D. y Shahack-Gross, R. (2015). Understanding fossil phytolith preservation: the role of partial dissolution in paleoecology and archaeology. *Plos One*, 10(5).

Cabanes, D., Burjachs, F., Expósito, I., Rodríguez, A., Allué, E., Euba, I. y Vergès, J. M. (2009). Formation processes through archaeobotanical remains: The case of the Bronze Age levels in El Mirador cave, Sierra de Atapuerca, Spain. *Quaternary International*, 193, 160–173.

Cabanes, D., Weiner, S. y Shahack-Gross, R. (2011a). Stability of phytoliths in the archaeological record: a dissolution study of modern and fossil phytoliths. *Journal of Archaeological Science*, 38(9), 2480–2490.

Cabanes, D., Aliaga Almela, R. y Moreno García, E. (2011b). Los fitolitos de silicio. En: M. C. Blasco Bosqued, C. L. von Lettow-Vorbeck y P. Ríos

- Mendoza (eds.). Yacimientos calcolíticos con campaniforme en la región de Madrid: nuevos estudios. Patrimonio Arqueológico de Madrid/6, pp. 27-290
- Canti, M. G. (1997). An investigation of microscopic calcareous spherulites from herbivore dung. *Journal of Archaeological Science*, 24, 219–231.
- Canti, M. G. (1998). The micromorphological identification of faecal spherulites from archaeological and modern materials. *Journal of Archaeological Science*, 25(5), 435–444.
- Canti, M. G. (1999). The production and preservation of faecal spherulites: animals, environment and taphonomy. *Journal of Archaeological Science*, 26, 251–258.
- Canti, M. G. (2003). Aspects of the chemical and microscopic characteristics of plant ashes found in archaeological soils. *Catena*, 54(3), 339–361.
- Carnelli, A.L., Madella, M. y Theurillat, J.P. (2001). Biogenic Silica production in selected alpine plant species and plant communities. *Annals of Botany*, 87:425-34
- Carnelli, A.L., Theurillat, J.P. y Madella, M. (2004) Phytolith types and type-frecuencias in subalpine-alpine plant species of the European Alps. *Review of Paleobotany and Palynology*, 129:39-65.
- Carrancho, Á., Villalaín, J. J., Vergès, J. M., y Vallverdú, J. (2012). Assessing post-depositional processes in archaeological cave fires through the analysis of archaeomagnetic vectors. *Quaternary International*, 275, 14–22.
- Carretero, J. M., Ortega, A. I., Juez, L., Pérez-González, A., Arsuaga, J. L., Pérez-Martínez, R. y Ortega, M. C. (2008). A late Pleistocene-Early Holocene archaeological sequence of Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Munibe*, (59), 67–80.

Chauhan, D. K., Tripathi, D. K., Kumar, D., y Kumar, Y. (2011). Diversity, distribution and frequency-based attributes of phytolith in *Arundo donax* L. *International Journal*, 1, 22–27.

Cordova, C., 2011. The Stipa-type short cell: what does it mean taxonomically, climatically, and ecologically? En: Scott-Cummings, L., Yost, C., Blinnikov, M., Cordova, C. (Eds.), 8th International Meeting on Phytolith Research. Estes Park, Colorado, Abstracts Book, Golden. PaleoResearch Institute, Colorado, pp. 20-21.

Cordova, C.E., Scott, L., 2010. The potential of Poaceae, Cyperaceae, and Restionaceae phytoliths to reflect past environmental conditions in South Africa. En: Runge, J. (Ed.), African Palaeoenvironmental and Geomorphic Landscape Evolution. Palaeoecology of Africa, vol. 30. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, pp. 107-133

Cordova, C. E. (2013). C3 Poaceae and Restionaceae phytoliths as potential proxies for reconstructing winter rainfall in South Africa. *Quaternary International*, 287, 121–140.

Crespin, J., Alexandre, A., Sylvestre, F., Sonzogni, C., Paillès, C. y Garreta, V. (2008). IR laser extraction technique applied to oxygen isotope analysis of small biogenic silica samples. *Analytical of Chemistry*, 80(7), 2372–2378.

D

Daura, J., Sanz, M., Oms, F. X., Pedro, M., Martínez, P., Mendiola, S., Oliva-Poveda, M., Gibaja, J.F., Mozota, M., Alonso-Eguíluz, M., Albert, R.M., Allué, E., Bañuls-Cardona, S., López-García, J.M., Santos Arévalo, F.J. y Fullola, J. M. (2019). Deciphering Neolithic activities from a Cardial burial site (Cova Bonica) on the western Mediterranean coast. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 23.

Delhon, C., Martin, L., Argant, J., y Thiébault, S. (2008). Shepherds and plants in the Alps: multi-proxy archaeobotanical analysis of neolithic dung from “La Grande Rivoire” (Isère, France). *Journal of Archaeological Science*, 35, 2937–2952.

Dunseth, Z. C., y Shahack-Gross, R. (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(April), 118–124.

E

Égüez, N., Mallol, C., Martín-Socas, D., y Camalich, M. D. (2014). Radiometric dates and micromorphological evidence for synchronous domestic activity and sheep penning in a Neolithic cave: Cueva de El Toro (Málaga, Antequera, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 137–139.

Ehrenberg, C. G. 1845 *Mikrogeologie*. Leopold Voss. Leipzig.

Elbaum, R., Weiner, S., Albert, R. M. y Elbaum, M. (2003). Detection of burning of plant materials in the archaeological record by changes in the refractive indices of siliceous phytoliths. *Journal of Archaeological Science*, 30(2), 217–226.

Elliott, S., Bendrey, R., Whitlam, J., Aziz, K. R. y Evans, J. (2014). Preliminary ethnoarchaeological research on modern animal husbandry in Bestansur, Iraqi Kurdistan: integrating animal, plant and environmental data. *Environmental Archaeology*, 0(0), 1–21.

Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 11–17.

- Esteban, I. (2016). Reconstructing past vegetation and modern human foraging strategies on the South Coast of South Africa. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Barcelona.
- Ehrenberg, C.G. (1854). *Mikrogeologie*. Leipzig, Leopold Voss 374p.
- Esteban, I., Albert, R. M., Eixea, A., Zilhão, J. y Villaverde, V. (2015). Neanderthal use of plants and past vegetation reconstruction at the Middle Paleolithic site of Abrigo de la Quebrada. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 4–10.
- Esteban, F., Aliaga, A., Galbany, J., Martínez, L. M., Alrousan, M., Romero, A. y Pérez-Pérez, A. (2014). El patrón de microestriación dental en primates y homínidos. En: Assoc ADÉS (Ed.), *Estudis d'evolució, etologia i cognició en primats*. Barcelona.
- Esteban, I., De Vynck, J. C., Singels, E., Vlok, J., Marean, C. W., Cowling, R. M., Fisher, E. C., Cabanes, D., y Albert, R. M. (2017). Modern soil phytolith assemblages used as proxies for Paleoscape reconstruction on the south coast of South Africa. *Quaternary International*, 434, 160–179.
- Estremera, M. S. (2003). Los primeros agricultores y ganaderos en la Meseta norte: el Neolítico de la cueva de La Vaquera (Torreiglesias, Segovia). *Arqueología en Castilla y León* 11.
- Euba, I., Allué, E. y Burjachs, F. (2016). Wood uses at El Mirador Cave (Atapuerca, Burgos) based on anthracology and dendrology. *Quaternary International*, 414, 285–293.

F

- Fernández-Centeno, G. y Moreno-Manso, F. (2017). La red nacional de vías pecuarias. *Ambienta. Vías pecuarias, un patrimonio único*, nº120, pp. 4-13

- Fernández-Eraso, J. (1988). La cerámica cardial en la Rioja Alavesa. *Veleia*, 5, pp. 97-105.
- Fernández-Eraso, J. (coord.) (1997). Peña Larga: Memoria de las excavaciones arqueológicas (1985–1989). *Memorias de yacimientos alaveses*. Nº4. Vitoria, pp. 19-24.
- Fernández-Eraso, J. (2002). Niveles calcolíticos de corral en la Rioja Alavesa. *Krei*.
- Fernández-Eraso, J. (2003). Abrigo de Los Husos II (Elvillar). I Campaña. *Arkeoikuska '02*, 65–68.
- Fernández-Eraso, J. (2004a). El Neolítico inicial en el País Vasco meridional. Datos recientes. *KOBIE*, 1(6), 181–190.
- Fernández-Eraso, J. (2004b). Abrigo de Los Husos II (Elvillar): II Campaña. *Arkeoikuska '03*, 59–62
- Fernández-Eraso, J. (2005). Abrigo de Los Husos II (Elvillar). III Campaña. *Arkeoikuska '04*, 45–50.
- Fernández-Eraso, J. (2006). Abrigo de Los Husos II (Elvillar). IV Campaña *Arkeoikuska '05*, 74–80.
- Fernández-Eraso, J. (2007). Abrigo de San Cristóbal. I Campaña. *Arkeoikuska '06*, 104–107.
- Fernández-Eraso, J. (2008a) Establos de cronología neolítica en la Rioja Alavesa. En: M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz y J.A. López Padilla (eds.) IV Congreso del Neolítico Peninsular, vol. I. Museo de Arqueología de Alicante, Alicante, pp. 361–367
- Fernández-Eraso, J (2008b). La secuencia del Neolítico en la Rioja Alavesa desde su origen hasta las primeras edades del metal. *Veleia*, 24-25, 669–687.

- Fernández-Eraso, J. (2009). Abrigo de San Cristóbal. III Campaña. *Arkeoikuska '09*, 80-84.
- Fernández-Eraso, J. (2010a). La actividad pecuaria en la Rioja Alavesa durante la Prehistoria Reciente. *Cuadernos de Arqueología de La Universidad de Navarra*, 18, 159–171.
- Fernández-Eraso, J. (2010b). Abrigo de San Cristóbal. IV Campaña. *Arkeoikuska '10*, 95-98.
- Fernández-Eraso, J. (2011a). Las cerámicas neolíticas de la Rioja Alavesa en su contexto: los casos de Peña Larga y Los Husos I y II. En: J. Bernabeu Auban, M. A. Rojo Guerra y L. Molina Balaguer (coord.): *Las primeras producciones cerámicas: el VI milenio cal a.C. en la Península Ibérica*, pp. 117–130.
- Fernández-Eraso, J. (2011b). La Prehistoria reciente en la Rioja Alavesa: 25 años de investigaciones. <http://www.euskonews.com/0571zbk/gaia57103es.html>
- Fernández-Eraso, J. (2011c). Abrigo de San Cristóbal. V Campaña. *Arkeoikuska '11*, 106-111.
- Fernández-Eraso, J. (2012). Abrigo de San Cristóbal. VI Campaña. *Arkeoikuska '12*, 84-89.
- Fernández-Eraso, J. (2013). Abrigo de San Cristóbal. VII Campaña. *Arkeoikuska '13*, 94–98.
- Fernández-Eraso, J. (2014). Abrigo de San Cristóbal. VIII Campaña. *Arkeoikuska '14*, 75–83.
- Fernández-Eraso, J. (2015). Abrigo de San Cristóbal. IX Campaña. *Arkeoikuska '15*, 75–83.
- Fernández-Eraso, J. y Sabando, M. (2008). Abrigo de San Cristóbal. II Campaña. *Aekeoikuska '08*, 115-118.

- Fernández-Eraso, J. y Polo-Díaz, A. (2009). Establos en abrigos bajo roca de la Prehistoria Reciente: su formación, caracterización y proceso de estudio. Los casos de Los Husos y de San Cristóbal. *KREI*, 10, 39–51.
- Fernández-Eraso, J., y Mujika-Alustiza, J. A. (2013). La estación megalítica de la Rioja Alavesa: cronología, orígenes y ciclos de utilización. *Zephyrus*, 71, 89–106.
- Fernández-Eraso, J., Mujika-Alustiza, J. A., Zapata-Peña, L., Iriarte-Chiapusso, M.J., Polo-Díaz, A., Castaños, P., Tarrío-Vinagre, A., Cardoso, S., Sesma-Sesma, J. y García-Gazolaz, J. (2015). Beginnings, settlement and consolidation of the production economy in the Basque region. *Quaternary International*, 364, 162–171.
- Fernández-Eraso, J., Pérez Díaz, S., Ruíz-Alonso, M., Alonso-Eguiluz, M., García Rojas, M., Sánchez, A., Tarrío-Vinagre, A., Camarero, C., García-Martínez de Lagrán, I., Arévalo-Muñoz, E. y Polo-Díaz, A. (2017). Rediles y pastores en la Prehistoria Reciente de Rioja Alavesa. En J. Fernández-Eraso, J. A. Mujika Alustiza, y M. García Díez (Eds.), *Miscelánea en homenaje a Lydia Zapata Peña (1965-2015)* (Universidad del País Vasco, pp. 397–426).
- Franceschi, V. R., y Horner, H. T. (1980). Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46(4), 361–427.
- Franceschi, V. R. y Nakata, P. A. (2005). Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 41–71.
- Fraysse, F., Pokrovsky, O. S., Schott, J. y Meunier, J.-D. (2009). Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions. *Chemical Geology*, 258(3–4), 197–206.

G

- García Antón, M. (1999). Análisis polínico de las unidades GIII y GIV del yacimiento mesopleistoceno de Galería, sierra de Atapuerca. En: E. Carbonell Roura, A. Rosas González y J. C. Díez Fernández-Lomana (eds.): *Atapuerca: ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Arqueología en Castilla y León 7, pp. 135-142.
- García-Puchol, O. y Aura-Tortosa, J. E. (eds) 2006. El abric de La Falguera (Alcoi, Alacant): 8000 años de ocupación humana en la cabecera del río de Alcoi. Alicante: Diputación de Alicante, Ayuntamiento de Alcoy y Caja de Ahorros del Mediterráneo
- García-Rojas, M., Fernández-Eraso, J., Sánchez López de Lafuente, A., López de Ocariz, J. y Calvo, A. (2012). Abrigo de Balanciago. *Arkeoikuska '12*, pp. 71-73.
- García-Martínez de Lagrán, Í. (2014). La neolitización de la Meseta norte y de la alta y media cuenca del Ebro (España): premisas teóricas, análisis del registro y planteamiento de hipótesis. *Zephyrus*, 73, 83–107.
- García Moreno, A., Cubas, M., Marín Arroyo, A. B., Ríos Garaizar, J., Eugenio Ortiz, J., de Torres, T., López Doriaga, I., Polo-Díaz, A., San Emeterio Gómez, A., y Gárate Maidagan, D. (2015). El neolítico de la Cueva del Niño (Aýna, Albacete) en el contexto de la Sierra del Segura. *Complutum*, 26(1), 91–111.
- Garrido-Pena, R., Rojo Guerra, M. A., García Martínez de Lagrán, I. y Tejedor Rodríguez, C. (2012). Cuenca del Duero. En: M. A. Rojo Guerra, R. Garrido Pena, I. García Martínez de Lagrán (coords.). *El Neolítico en la Península Ibérica y su contexto europeo*. Cátedra, pp. 463-506.

- Gea, J., Sampedro, M.C., Vallejo, A., Polo-Díaz, A., Goicolea, M.A., Fernández-Eraso, J. y Barrio, R.J. (2017). Characterization of ancient lipids in prehistoric organic residues: Chemical evidence of livestock-pens in rock-shelters since early Neolithic to Bronze age. *Journal of Separation Science*, 40 (23) 4477-4660.
- Grave, P. y Kealhofer, L. (1999). Assessing Bioturbation in Archaeological Sediments using Soil Morphology and Phytolith Analysis. *Journal of Archaeological Science*, 26, 1239–1248.
- Grob, A. (1896). *Beiträge zur Anatomie der Epidermis der gramineenblätter*. Bibliotheca Botanica, 36.
- Grobman, A., Bonavia, D., Dillehay, T. D., Piperno, D. R., Iriarte, J., y Holst, I. (2012). Preceramic maize from Paredones and Huaca Prieta, Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5), 1755-1759.
- Gügel, I. L., Grupe, G. y Kunzelmann, K. H. (2001). Simulation of dental microwear: characteristic traces by opal phytoliths give clues to ancient human dietary behavior. *American Journal of Physical Anthropology*, 138, 124–138.
- Gur-Arieh, S., Mintz, E., Boaretto, E. y Shahack-Gross, R. (2013). An ethnoarchaeological study of cooking installations in rural Uzbekistan: development of a new method for identification of fuel sources. *Journal of Archaeological Science*, 40(12), 4331–4347.
- Gur-Arieh, S., Shahack-Gross, R., Maeir, A. M., Lehmann, G., Hitchcock, L. A. y Boaretto, E. (2014). The taphonomy and preservation of wood and dung ashes found in archaeological cooking installations: case studies from Iron Age Israel. *Journal of Archaeological Science*, 46, 50–67

H

Hardy, K., Blakeney, T., Copeland, L., Kirkham, J., Wrangham, R. y Collins, M. (2009). Starch granules, dental calculus and new perspectives on ancient diet. *Journal of Archaeological Science*, 36, 248–255.

Harvey, E. L. y Fuller, D. Q. (2005). Investigating crop processing using phytolith analysis: the example of rice and millets. *Journal of Archaeological Science*, 32(5), 739–752.

He, H., Veneklaas, E. J., Kuo, J., y Lambers, H. (2014). Physiological and ecological significance of biomineralization in plants. *Trends in Plant Science*, 19(3), 166–174.

Henry, A. G. y Piperno, D. R. (2008). Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: a case study from Tell al-Raqā'i, Syria. *Journal of Archaeological Science*, 35(7), 1943–1950.

Henry, A. G., Brooks, A. S. y Piperno, D. R. (2011). Microfossils in calculus demonstrate consumption of plants and cooked foods in Neanderthal diets (Shanidar III, Iraq; Spy I and II, Belgium). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(2), 486–491.

Hoyas, C., Juan, J., Palet, A. y Villate, E. (1990). Análisis de fitolitos en ópalo y pseudomorfos de oxalato cálcico en calcita como indicadores arqueobotánicos. *Cuaternario Y Geomorfología*, 4, 147–154.

J

Jenkins, E. (2009). Phytolith taphonomy: a comparison of dry ashing and acid extraction on the breakdown of conjoined phytoliths formed in *Triticum durum*. *Journal of Archaeological Science*, 36(10), 2402–2407.

- Jiménez-Ocampo, R., Domínguez Martínez, P.A. y Rosales Serna, R. (2014). Evaluación del estiércol: una herramienta para estimar la nutrición del ganado bovino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, n° 27.
- Juan-Tresserras, J y Lalueza, C (1993). Aportacions de les anàlisis fitolitològiques a l'estudi dels patrons de dieta vegetal en poblacions medievals de la Península Ibérica. En IV Congreso de Arqueología Medieval Española. Sociedades en Transición (Alicante, octubre 1993). Tomo III, pp. 687-691.
- Juan-Tresserras, J y Albert, R.M. (1995). Estudio de microrrestos vegetales en cerámicas: desgrasantes vegetales y residuos asociados a la preparación y conservación de alimentos. En: Actas de la 2ª Reunión de Arqueometría. I Congreso Nacional (Granada, 12-14 de junio 1995). Granada.

K

- Kadowaki, S., Maher, L., Portillo, M., Albert, R. M., Akashi, C., Guliyev, F. y Nishiaki, Y. (2015). Geoarchaeological 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, 408–425.
- Karkanas, P. (2006). Late Neolithic household activities in marginal areas: the micromorphological evidence from the Kouveleiki caves, Peloponnese, Greece. *Journal of Archaeological Science*, 33(11), 1628–1641.
- Karkanas, P., Bar-Yosef, O., Goldberg, P. y Weiner, S. (2000). Diagenesis in Prehistoric Caves: The use of minerals that form *in situ* to assess the completeness of the archaeological record. *Journal of Archaeological Science*, 27(10), 915–929.

- Karkanas, P., Rigaud, J.P., Simek, J.F., Albert, R.M. y Weiner, S. (2002). Ash bones and guano: a study of the minerals and phytoliths in the sediments of Grotte XVI, Dordogne, France. *J Archaeol Sci* 29:721–732
- Kaplan, L., Smith, M. B. y Sneddon, L. A. (1992). Cereal grain phytoliths of southwest Asia and Europe. En: G.J. Rapp, S.C. Mulholland (Eds.), *Phytoliths systematics. Emerging issues*. Plenum Press, pp. 149-174.
- Katz, O., Cabanes, D., Weiner, S., Maeir, A. M., Boaretto, E., y Shahack-Gross, R. (2010). Rapid phytolith extraction for analysis of phytolith concentrations and assemblages during an excavation: an application at Tell es-Safi/Gath, Israel. *Journal of Archaeological Science*, 37(7), 1557–1563.

L

- Lalueza Fox, C., Juan, J. y Albert, R. M. (1996). Phytolith analysis on dental calculus, enamel surface, and burial soil: information about diet and paleoenvironment. *American Journal of Physical Anthropology*, 101(1), 101–113.
- Lancelotti, C. y Madella, M. (2012). The “invisible” product: developing markers for identifying dung in archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science*, 39, 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., Pérez Jordá, G. y Peña-Chocarro, L. (2014). The missing crop: investigating the use of grasses at Els Trocs, a Neolithic cave site in the Pyrenees (1564 m asl). *Journal of Archaeological Science*, 42, 456–466.
- Lasanta, T. (2010). Pastoreo en áreas de montaña: Estrategias e impactos en el territorio. *Estudios Geográficos*, 71(268), 203–233.

Loidi, J., Biurrun, I., Campos, J. A., García-Mijangos, I. y Herrera, M. (2011). *La vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Gobierno Vasco.

Lu, H., Zhang, J., Wu, N., Liu, K., Xu, D., y Li, Q. (2009). Phytoliths analysis for the discrimination of foxtail millet (*Setaria italica*) and common millet (*Panicum miliaceum*). *Plos One*, 4(2).

M

Macphail, R. I. y Goldberg, P. (2010). Archaeological Materials. En: G. Stoops, V. Marcelino y F. Mees (eds.): *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths* (pp. 589–622). Elsevier B.V.

Macphail, R., Courty, M.-A., Hather, J. y Watzel, J. (1997). The soil micromorphological evidence of domestic occupation and stabling activities. En: R. Maggi, (Ed.), *Arene Candide: A Functional and Environmental Assessment of the Holocene Sequence (Excavations Bernarbo Brea-Cardini 1940–50)*. Il Calamo, Roma.

Madella, M., y Lancelotti, C. (2012). Taphonomy and phytoliths: a user manual. *Quaternary International*, (275), 76–83.

Madella, M., Jones, M.K., Goldberg, P., Goren, Y. y Hovers, E. (2002). The exploitation of plant resources by Neanderthals in Amud Cave (Israel): The evidence from phytolith studies. *Journal of Archaeological Science*, 29, 703–719.

Madella, M., Alexandre, A., y Ball, T. (2005). International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*.

Madella, M., Lancelotti, C. y García-Granero, J. J. (2013). Millet microremains— an alternative approach to understand cultivation and use of critical crops in Prehistory. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 275, 76–83.

- Madella, M., García-Granero, J. J., Out, W. A., Ryan, P. y Usai, D. (2014). Microbotanical evidence of domestic cereals in Africa 7000 years ago. *PLoS One*, 9(10), e110177.
- Mainland, I. L. (2003). Dental microwear in grazing and browsing Gotland sheep (*Ovis aries*) and its implications for dietary reconstruction. *Journal of Archaeological Science*, 30, 1513–1527.
- Mallol, C., Hernández, C. M., Cabanes, D., Sistiaga, A., Machado, J., Rodríguez, Á., Pérez, L. y Galván, B. (2013). The black layer of Middle Palaeolithic combustion structures. Interpretation and archaeostratigraphic implications. *Journal of Archaeological Science*, 40(5), 2515–2537.
- Marinova, E., Linseele, V., y Kühn, M. (2013). Bioarchaeological research on animal dung possibilities and limitations. *Environmental Archaeology*, 18(1), 1–3.
- Martín, P., Saladié, P., Nadal, J., y Vergès, J. M. (2014). Butchered and consumed: small carnivores from the Holocene levels of El Mirador Cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain). *Quaternary International*, 353, 153–169.
- Martín, P., García-González, R., Nadal, J., y Vergès, J. M. (2016). Perinatal ovicaprine remains and evidence of shepherding activities in Early Holocene enclosure caves: El Mirador (Sierra De Atapuerca, Spain). *Quaternary International*, 414, 316–329.
- Matthews, W. (2010). Geoarchaeology and taphonomy of plant remains and microarchaeological residues in early urban environments in the Ancient Near East. *Quaternary International*, 214(1–2), 98–113.
- Mentzer, S. M. (2014). Microarchaeological Approaches to the Identification and Interpretation of Combustion Features in Prehistoric Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 21(3), 616–668.

- Metcalf, C.R. (1960). *Anatomy of the Monocotyledons. I. Gramineae*. Oxford, Clarendon Press.
- Middleton, W. D. y Rovner, I. (1994). Extraction of opal phytoliths from herbivore dental calculus. *Journal of Archaeological Science*, 21, 469–473.
- Moral del Hoyo, S. y Rodríguez Marcos, J. A. (2009). El Neolítico en la provincia de Burgos: una perspectiva diacrónica. En: A. Llanos Ortiz de Landaluze (coord.): *Actas del congreso internacional Medio siglo de arqueología en el Cantábrico oriental y su entorno*. Instituto Alavés de Arqueología, Vitoria-Gasteiz, pp. 745-756.
- Moreno Gallo, M. Á. (1999). El megalitismo de La Lora burgalesa, Atapuerca y Jaramillo, un espacio continuo. *Boletín Del Seminario de Estudios de Arte Y Arqueología (BSAA)*, 65, 53–72.
- Moreno-Larrazabal, A., Teira-Brión, A., Sopelana-Salcedo, I., Arranz-Otaegui, A., y Zapata, L. (2015). Ethnobotany of millet cultivation in the north of the Iberian Peninsula. *Vegetation History and Archaeobotany*.
- Mulholland, S. C. (1989). Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. *Journal of Archaeological Science*, 16(5), 489–511.
- Mulholland, S.C. y Rapp, Jr. G. (1992). A morphological classification of grass silica-bodies. En: Jr. G. Rapp, S. C. Mulholland (eds) *Phytolith Systematics: Emerging Issues*, Plenum Press, New York, pp 65-89

N

- Nisbert, R. (1997). The phytoliths from the Neolithic levels of Arene Candide. En *Arene Candide: a functional and environmental assessment of the Holocene sequence. Memorie dell'Instituto Italiano di Paleontologia Umana*, V, pp. 113–118).

Neumann, K., Fahmy, A. G., Müller-Scheeßel, N., y Schmidt, M. (2017). Taxonomic, ecological and palaeoecological significance of leaf phytoliths in West African grasses. *Quaternary International*, 434, 15–32.

Neumann, K., Strömberg, C. A. E., Ball, T., Albert, R. M., Vrydaghs, L., y Cummings, L. S. (2019). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, XX, 1–11.

O

Ollendorf, A.L. (1992). Toward a classification scheme of sedge (Cyperaceae) phytoliths. En: Jr. G. Rapp, S. C. Mulholland (eds) *Phytolith Systematics: Emerging Issues*, Plenum Press, New York, pp. 91-11.

Ollendorf, A., Mulholland, S. C., y Rapp, G. (1987). Phytoliths from some Israeli sedges. *Israel Journal of Botany*, 36, 125–132.

Ollendorf, A., Mulholland, S. C., y Rapp, G. (1988). Phytolith analysis as a means of plant identification: *Arundo donax* and *Phragmites communis*. *Annals of Botany*, 61, 209–214.

Ollero Ojeda, A. y Ormaetxea Arenaza, O. (1997). El marco geomorfológico y paisajístico de Peña Larga: la Sierra de Toloño-Cantabria y los conglomerados de borde de cuenca”. En: J. Fernández-Eraso (ed.) *Peña Larga: Memoria de las excavaciones arqueológicas (1985 – 1989)*. Memorias de yacimientos alaveses. N°. 4. Vitoria, pp. 19-24.

Oms, F. X., Bargalló Ferrerons, A., Chaler, M., Fontanals Torroja, M., García García, M. S., Manuel López, J., Morales, J.I., Nieves, T., Rodríguez Cruz, A., Serra Cobo, J., Solé, A. y Vergès Bosch, 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. *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de noviembre de 2006. Volume 1*, 230–236.

- Oms Arias, X., López-García, J. M., Mangado, X., Martín, P., Mendiola, S., Morales, J. I., Pedro, M. Rodríguez, A., Rodríguez-Cintas, A y Yubero, M. (2014). Hàbitat en cova i espai pels ramats ca. 6200-6000 BP: dades preliminars de la Cova Colomera (Prepirineu de Lleida) durant el neolític antic. *SAGVNTVM. Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia*, 45(45), 25–38.
- Ortega, A. I., Juez, L., Carretero, J. M., Arsuaga, J. L., Pérez-González, A., Ortega, M. C., Pérez, R., Pérez, A., Rodríguez, A.D., Santos, E., García, R., Gómez, A., Rodríguez, L. Martínez-Pinillos, M. y Martínez, I. (2006). The Portalón at Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Spain): a new archaeological sequence. En *The Early Neolithic in the Iberian Peninsula. Regional and Transregional Components. Proceedings of the XV World Congress (Lisbon, 4e9 September 2006)* (Archeopres., pp. 3–9). Oxford: BAR International Series.
- Ortega, A. I., Juez, L., Carretero, J. M., Ortega, M. C., Arsuaga, J. L. y Pérez-González, A. (2008). El Neolítico en la nueva secuencia estratigráfica del yacimiento del Portalón de Cueva Mayor (Sierra de Atapuerca, Burgos). En: M. S. Hernández Pérez, J. A. Soler Díaz y J. A. López Padilla (Eds.), *IV Congreso del Neolítico Peninsular*. Museo Arqueológico de Alicante, pp. 221–229
- Ortega, A. I., Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Martín-Merino, M. A., Pérez-Martínez, R., Parés, J. M., Aramburu, A. Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M. y Carbonell, E. (2013). Evolution of multilevel caves in the Sierra de Atapuerca (Burgos, Spain) and its relation to human occupation. *Geomorphology*, 196, 122–137.
- Out, W. a, Pertusa Grau, J. F. y Madella, M. (2014). A new method for morphometric analysis of opal phytoliths from plants. *Microscopy and Microanalysis: The Official Journal of Microscopy Society of America, Microbeam Analysis Society, Microscopical Society of Canada*, (1992), 1–12.

Out, W.A. y Madella, M. (2016). Morphometric distinction between bilobate phytoliths from *Panicum miliaceum* and *Setaria italica* leaves. *Archaeological and Anthropological Sciences*.

P

Palomino, Á. L., Rojo Guerra, M. A., García Martínez de Lagrán, I., Garrido Pena, R., Alday Ruiz, A., García Gazólaz, J. y Sesma Sesma, J. (2011). Molino de Arriba (Buniel, Burgos). En: J. Bernabeu Auban, M. A. Rojo Guerra y L. Molina Balaguer (Eds.) *Las primeras producciones cerámicas: el vi milenio cal a.C. en la Península Ibérica* (pp. 201–212). Saguntum.

Parr, J. F. (2006). Effect of fire on phytolith coloration. *Geoarchaeology: An International Journal*, 21(2), 171–185.

Pearsall, D. M. y Dinan, E. H. (1992). Developing a Phytolith Classification System. En: G.J. Rapp, S.C. Mulholland (Eds.), *Phytoliths systematics. Emerging issues*. Plenum Press, pp. 37-64.

Pearsall, D.M., Piperno, D.R., Dinan, E.H., Umlauf, M., Zhao, Z. y Benerfer Jr., R.A. (1995). Distinguishing rice (*Oryza sativa* Poaceae) from wild *Oryza* species through phytolith analysis: results of preliminary research. *Econ. Bot.* 49, 183-196.

Pearsall, D. M., Chandler-Ezell, K. y Chandler-Ezell, A. (2003). Identifying maize in neotropical sediments and soils using cob phytoliths. *Journal of Archaeological Science*, 30, 611–627.

Pearsall D. M., Chandler-Ezell K. y Zeidler J. A. (2004). Maize in ancient Ecuador: results of residue analysis of stone tools from the Real Alto site. *Journal of Archaeological Science*, 31, 423-442.

- Pearsall, D.M. y Piperno, D.R. (eds.) (1993). *Current Research in Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleoecology*. MASCA Research Papers in Science and Archaeology, vol. 10. MASCA, the University Museum of Archaeology and Anthropology, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Pérez-Díaz, S. (2012). *El paisaje vegetal durante la Prehistoria reciente en la vertiente mediterránea de Euskal Herria*. Tesis doctoral. Universidad del País Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- Pérez González, A., Parés, J. M., Gallardo, J., Aleixandre, T., Ortega, A. I. y Pinilla, A. (1999). Geología y estratigrafía del relleno de Galería de la Sierra de Atapuerca (Burgos). En: E. Carbonell Roura, A. Rosas González y J. C. Díez Fernández-Lomana (eds.): *Atapuerca: ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Arqueología en Castilla y León 7, pp. 31-42.
- Pető, Á., Gyulai, F., Pópity, D., y Kenéz, Á. (2013). Macro- and micro-archaeobotanical study of a vessel content from a Late Neolithic structured deposition from southeastern Hungary. *Journal of Archaeological Science*, 40(1), 58–71.
- Pinilla, A. y Bustillo, A. (1997). Silicofitolitos en secuencias arcillosas con silcretas. Mioceno Medio, Madrid. *Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Monografías*, 4: 255-266. Madrid.
- Pinilla, A.; Juan-Tresserras, J. y Machado, M.J. (eds.) (1997). Estado actual de los estudios de fitolitos en suelos y plantas. First European Meeting on Phytolith Research, September 23rd-26th, 1996, Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Monografías 4, Madrid.
- Piperno, D. R. (1984a). Early plant use and cultivation in the Santa Marta Basin, Panamá: data from phytoliths and pollen. En: F. Lange (ed.). *Recent advances in Isthmain Archaeology*. British Archaeological Reports, pp. 85-121.

- Piperno, D. R. (1984b). A comparison and differentiation of phytoliths from maize and wild grasses: use of morphological criteria. *American Antiquity*, 49(2), 361–383.
- Piperno, D.R. (1988). Phytoliths analyses: an archaeological and geological perspective. Academic Press, San Diego.
- Piperno, D.R. (2006). Phytoliths. A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. AltaMira Press.
- Piperno, D. R. (2009). Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: a review and an update of the evidence. *Quaternary International*, 193, 146–159.
- Pearsall, D. M. (2015). The Phytoliths in the Flora of Ecuador project: Perspectives on phytolith classification, identification, and establishing regional phytolith databases. *Journal of Archaeological Science*.
- Piperno, D.R. y Pearsall, D.M. (1989). Some comments on the role of phytolith analysis in tropical palaeoethnobotany and palaeoecology. Archaeobotany through phytolith analysis symposium, Annual Meeting of the Soc. Amer. Archaeology, Abstracts, The Phytolitharien Newsletter, 6(1): 3.
- Poduska, K. M., Regev, L., Boaretto, E., Addadi, L., Weiner, S., Kronik, L., y Curtarolo, S. (2011). Decoupling local disorder and optical effects in infrared spectra: differentiating between calcites with different origins. *Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 23(4), 550–554.
- Polo-Díaz, A. (2009). Evidence of successive stabling episodes during Neolithic by microstratigraphy and micromorphology: the rock shelter of Los Husos II (Upper Ebro Basin, Spain). *Frankfurter Geowiss. Arbeiten*. Band 30, pp. 99 – 109.

- Polo-Díaz, A. (2010) Rediles prehistóricos y uso del espacio ganadero en abrigos bajo roca en la Cuenca alta del Ebro: geoarqueología y procesos de formación durante el Holoceno. Tesis inédita. Universidad del País Vasco.
- Polo-Díaz, A., y Fernández-Eraso, J. (2008). Aportación de la micromorfología a la determinación de los rediles prehistóricos en el Alto Valle del Ebro: el caso del Neolítico de los Husos II (Elvillar, Álava). *Cuaternario y Geoarqueología*, 22(3–4), 159–171.
- Polo-Díaz, A., y Fernández-Eraso, J. (2010). Same anthropogenic activity, different taphonomic processes: A comparison of deposits from Los Husos I & II (Upper Ebro Basin, Spain). *Quaternary International*, 214(1–2), 82–97.
- Polo-Díaz, A., Martínez-Moreno, J., Benito-Calvo, A. y Mora, R. (2014). Prehistoric herding facilities: site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia). *Journal of Archaeological Science*, 41, 784–800.
- Polo-Díaz, A., Alonso-Eguíluz, M., Ruiz, M., Pérez, S., Mújika, J., Albert, R. M., y Fernández-Eraso, J. (2016). Management of residues and natural resources at San Cristóbal rock-shelter: Contribution to the characterization of chalcolithic agropastoral groups in the Iberian Peninsula. *Quaternary International*, 414(1), 202–225.
- Portillo, M. (2006). La mòlta i triturat d'aliments vegetals durant la Protohistòria a la Catalunya oriental. Tesis doctoral. Departamento de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona.
- Portillo, M. y Albert, R. M. (2011). Husbandry practices and livestock dung at the Numidian site of Althiburos (el Médéina, Kef Governorate, northern Tunisia): the phytolith and spherulite evidence. *Journal of Archaeological Science*, 1–10.

- Portillo, M. y Albert, R. M. (2014). Early crop cultivation and caprine herding: the evidence from phytolith and faecal spherulite studies. En: D. O. Henry y E. J. Beave (Eds.), *The Sands of Time. The Desert Neolithic Settlement of Ayn Abu Nukhayla*. Berlin: Bibliotheca Neolithica Asiae Meridionalis et Occidentalis. ex Oriente, capítulo 9, pp. 121–137.
- Portillo, M., Ball, T. y Manwaring, J. (2006). Morphometric analysis of inflorescence phytoliths produced by *Avena sativa* L. and *Avena strigosa* Schreb. *Economic Botany*, 60(2), 121–129.
- Portillo, M., Albert, R. M. y Henry, D. O. (2009). Domestic activities and spatial distribution in Ain Abū Nukhayla (Wadi Rum, Southern Jordan): The use of phytoliths and spherulites studies. *Quaternary International*, 193(1-2), 174–183.
- Portillo, M., Albert, R. M., Kadowaki, S. y Nishiaki, Y. (2010). Domestic activities at Early Neolithic Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabu, Northeastern Syria) through phytoliths and spherulites studies. En: C. Delhon, I. Théry-Parisot y S. Thiébault (Eds.), *Des Hommes et des plantes. Exploitation du milieu et gestion des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours*. APDCA. Antibes, pp. 19–30.
- Portillo, M., Valenzuela, S. y Albert, R. M. (2012). Domestic patterns in the Numidian site of Althiburos (northern Tunisia): The results from a combined study of animal bones, dung and plant remains. *Quaternary International*, 84–96.
- Portillo, M., Bofill, M., Molist, M. y Albert, R. M. (2013). Phytolith and use-wear functional evidence for grinding stones from the Near East. En: P. C. Anderson, C. Cheval, y A. Durand (Eds.), *Regards Croisés sur les outils liés au travail des végétaux. An interdisciplinary focus on plant-working tools*. (XXXIII° Re., pp. 205–218). APDCA-Antibes.

- Portillo, M., Kadowaki, S., Nishiaki, Y. y Albert, R. M. (2014). Early Neolithic household behavior at Tell Seker al-Aheimar (Upper Khabur, Syria): a comparison to ethnoarchaeological study of phytoliths and dung spherulites. *Journal of Archaeological Science*, 42, 107–118.
- Portillo, M., Belarte, M. C., Ramon, J., Kallala, N., Sanmartí, J., y Albert, R. M. (2017). An ethnoarchaeological study of livestock dung fuels from cooking installations in northern Tunisia. *Quaternary International*, 431, 131–144.
- Powers, A.H. (1992). Great expectations: a short historical review of European phytolith systematics. En: G.J. Rapp, S.C. Mulholland (Eds.), *Phytoliths systematics. Emerging issues*. Plenum Press, pp. 15-36.
- Powers, A. H., Padmore, J. y Gilbertson, D. D. (1989). Studies of late prehistoric and modern opal phytoliths from coastal sand dunes and machair in Northwest Britain. *Journal of Archaeological Science*, 16(1), 27–45.
- Prychid, C. J. y Rudall, P. J. (1999). Calcium Oxalate Crystals in Monocotyledons: A Review of their Structure and Systematics. *Annals of Botany*, 84, 725–739.

R

- Radomski, K.U. y Neumann, K. (2011). Grasses and grinding stones: Inflorescence phytoliths from modern West African Poaceae and archaeological stone artefacts. En: A.G. Fahmy, S. Kahlheber y A.C. D'Andrea (eds): *Windows on the African Past. Current Approaches to African Archaeobotany*. Frankfurt am Main: Africa Magna Verlag, pp. 153–166.
- Rapp, G.J. y Mulholland, S.C. (eds.) (1992). *Phytoliths Systematics. Emerging issues*. Plenum Press
- Regev, L., Poduska, K. M., Addadi, L., Weiner, S., y Boaretto, E. (2010). Distinguishing between calcites formed by different mechanisms using

- infrared spectrometry: archaeological applications. *Journal of Archaeological Science*, 37(12), 3022–3029.
- Rivals, F., Takatsuki, S., Albert, R. M. y Macià, L. (2014). Bamboo feeding and tooth wear of three sika deer (*Cervus nippon*) populations from northern Japan. *Journal of Mammalogy*, 95(5), 1043–1053.
- Rodríguez-Cintas, Á., y Cabanes, D. (2015). Phytolith and FTIR studies applied to combustion structures: The case of the Middle Paleolithic site of El Salt (Alcoy, Alicante). *Quaternary International*, 431(A), 16–26.
- Rodríguez, A. y Buxó, R. (2008). Cultivos y alimentación vegetal durante el Neolítico en la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos). En: M. S. Hernández, J. A. Soler y J. A. López (eds.), *IV Congreso de Neolítico Peninsular* (Museo de A., pp. 1–8). Alicante.
- Rodríguez, A., Allué, E. y Buxó, R. (2016). Agriculture and livestock economy among prehistoric herders based on plant macro-remains from El Mirador (Atapuerca, Burgos), *Quaternary International*, 414, 272–284.
- Rojo Guerra, M. A., Kunst, M., Garrido Pena, R., García Martínez de Lagrán, I. y Morán Dauchez, G. (2008). Paisajes de la memoria: asentamientos del Neolítico Antiguo en el Valle de Ambrona (Soria, España). Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Rosen, A. M. (1999). Phytolith analysis in Near Eastern Archaeology. En: S. Pike y S. Gitin (eds) *The practical impact of Science on Near East and Aegean Archaeology*. Archetype Press, London, pp. 86-92.
- Rosen, A. M. (1992). Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach. En: G.J. Rapp y S.C. Mulholland (eds.) *Phytoliths Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, pp. 129-148.

- Rosen, A.M. (2001). Phytolith evidence for agropastoral economies in the Scythian period of southern Kazakhstan. En: J.D. Meunier y F. Colin (eds) *Phytoliths: Applications in Earth Science and Human History*. Lisse, The Netherlands: A.A. Balkema, 183-198.
- Rosen, A. M. (2003). Middle Palaeolithic plant exploitation: the microbotanical evidence. En: D. O. Henry (ed.) *Neanderthals in the Levant. Behavioral organization and the beginnings of human modernity*. Continuum, London, pp. 156–171.
- Rosen, A. M. y Weiner, S. (1994). Identifying ancient irrigation: a new method using opaline phytoliths from emmer wheat. *Journal of Archaeological Science*, 125–132.
- Rovner, I. (1971). Potential of opal phytoliths for use in palaeoecological reconstruction. *Quaternary Research* 1: 345–359.
- Rovner, I. (1988). Fitolitos en las plantas: un factor probable en los orígenes de la agricultura. En: *Estudios sobre la revolución neolítica y la revolución urbana*, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ruiz Urrestarazu, E. y Galdós Urrutia, R. (2008). *Geografía del País Vasco*. Nerea, San Sebastián.
- Russ, J. C. y Rovner, I. (1989). Stereological identification of opal phytolith populations from wild and cultivated *Zea*. *Society for American Archaeology*, 54(4), 784–792.
- Runge, F. (1999). The opal phytolith inventory of soils in central Africa — quantities, shapes, classification, and spectra. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 107, 23–53.

S

- Sanchidrián, J.L., Márquez, A.M. (2005). Primeros resultados de la secuencia crono-estratigráfica de la Sala de la Torca de la Cueva de Nerja (Málaga, España). En: Sanchidrián J.L., Márquez A.M., Fullola J.M. (Eds.), La cuenca mediterránea durante el Paleolítico Superior, 38.000-10.000 años, U.I.S.P.P. y Fundación Cueva de Nerja, Málaga, pp. 272-282.
- Sanjur, O. I., Piperno, D. R., Andres, T. C. y Wessel-Beaver, L. (2002). Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of Cucurbita (Cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: implications for crop plant evolution and areas of origin. *PNAS*, 99(1), 535–540.
- Santos, G.M., Alexandre, A., Coe, H.H.G., Reyerson, P.E., Southon, J.R. y De Carvalho, C.N., (2010). The phytolith C-14 puzzle: a tale of background determinations and accuracy tests. *Radiocarbon* 52, 113-128.
- Santos, G.M., Alexandre, A., Southon, J.R., Treseder, K.K., Corbineau, R. y Reyerson, P.E., (2012). Possible source of ancient carbon in phytolith concentrates from harvested grasses. *Biogeosciences* 9, 1873-1884
- Saul, H., Madella, M., Fischer, A., Glykou, A., Hartz, S. y Craig, O. E. (2013). Phytoliths in Pottery Reveal the Use of Spice in European Prehistoric Cuisine. *PLoS ONE*, 8(8).
- Schiegl, S., Lev-yadun, S., Bar-yosef, O., Goresy, A. E. I., y Weiner, S. (1994). Siliceous aggregates from prehistoric wood ash: a major component of sediments in Kebara and Hayonim caves (Israel). *Israel Journal Earth Sciences*, 43, 267–278.

- Shahack-Gross, R. (2011). Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science*, 38, 205–218.
- Shahack-Gross, R., y Finkelstein, I. (2008). Subsistence practices in an arid environment: a geoarchaeological investigation in an Iron Age site, the Negev Highlands, Israel. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 965–982.
- Shahack-Gross, R. y Ayalon, A. (2013). Stable carbon and oxygen isotopic compositions of wood ash: an experimental study with archaeological implications. *Journal of Archaeological Science*, 40(1), 570–578.
- Shahack-Gross, R., Shemesh, I. A., Yakir, D. A. N. y Weiner, S. (1996). Oxygen isotopic composition of opaline phytoliths: potential for terrestrial climatic reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 60(20), 3949–3953.
- Shahack-Gross, R., Marshall, F. y Weiner, S. (2003). Geo-ethnoarchaeology of pastoral sites: the identification of livestock enclosures in abandoned Maasai settlements. *Journal of Archaeological Science*, 30, 439–459.
- Shahack-Gross, R., Marshall, F., Ryan, K. y Weiner, S. (2004). Reconstruction of spatial organization in abandoned Maasai settlements: implications for site structure in the Pastoral Neolithic of East Africa. *Journal of Archaeological Science*, 31(10), 1395–1411.
- Shahack-Gross, R., Albert, R.-M., Gilboa, A., Nagar-Hilman, O., Sharon, I. y Weiner, S. (2005). Geoarchaeology in an urban context: The uses of space in a Phoenician monumental building at Tel Dor (Israel). *Journal of Archaeological Science*, 32(9), 1417–1431.
- Shahack-Gross, R., Boaretto, E., Cabanes, D., Katz, O., y Finkelstein, I. (2014). Subsistence economy in the Negev Highlands: The Iron Age and the Byzantine/Early Islamic period. *Council for British Research in the Levant 2014*, 46(1), 98–117.

Shakoor, S. A., Soodan, A. S., y Kumar, K. (2014). Morphological Diversity and Frequency of Phytolith Types in Gaint Reed *Arundo donax* (L.) Department of Botanical and Environmental Sciences. *World Applied Sciences Journal*, 29(7), 926–932.

Señorán, J.M. (2007). Etnoarqueología de los grupos pastores. *Arqueoweb*, 9 (1).

Strömberg, C. A. E. (2004). Using phytolith assemblages to reconstruct the origin and spread of grass-dominated habitats in the great plains of North America during the late Eocene to early Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 207(3–4), 239–275.

Strömberg, C. A. E. (2011). Evolution of grasses and grassland ecosystems. *Annual Review of Earth Plant Science*, 39, 517–544.

Strömberg, C. A. E., Werdelin, L., Friis, E. M. y Saraç, G. (2007). The spread of grass-dominated habitats in Turkey and surrounding areas during the Cenozoic: phytolith evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 250, 18–49.

Struve, G.A. (1835). *De silica in plantis Nonnullis*. Dissertation, Berlin.

T

Toffolo, M. B. (2018). Microarchaeology. En S. López-Varela (Ed.), *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* (pp. 1–4). Wiley Online Library.

Toffolo, M. B. y Boaretto, E. (2014). Nucleation of aragonite upon carbonation of calcium oxide and calcium hydroxide at ambient temperatures and pressures: A new indicator of fire-related human activities. *Journal of Archaeological Science*, 49, 237–248.

Torres, T. J. (1973). El karst de la Sierra de Atapuerca. En: J. M. Apellániz Castroviejo y J. L. Uribarri (eds.): *Cuadernos de Arqueología de Deusto*, 1, pp. 13-15.

Tsartsidou, G., Lev-Yadun, S., Albert, R. M., Rosen, A., Efstratiou, N. y Weiner, S. (2007). The phytolith archaeological record: strengths and weaknesses evaluated based on a quantitative modern reference collection from Greece. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1262–1275.

Tsartsidou, G., Lev-Yadun, S., Efstratiou, N. y Weiner, S. (2008). Ethnoarchaeological study of phytolith assemblages from an agro-pastoral village in Northern Greece (Sarakini): development and application of a Phytolith Difference Index. *Journal of Archaeological Science*, 35, 600–613.

Twiss, P. C., Suess, E. y Smith, R.M., (1969). Morphological Classification of Grass Phytoliths. *Soil Science of America Proceedings*, 33(1), 109–115.

Twiss, P. C. (1992). Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Jr. G. Rapp, S. C. Mulholland (eds) *Phytolith Systematics: Emerging Issues*, Plenum Press, New York, pp 113-128.

V

Vegas, A.; Etxeberria, F.; Fernández, M^a. S.; Herrasti, L. y Zumalabe, F., J. I. A. (1999). La sepultura colectiva de San Juan ante Portam Latinam (Laguardia, Alava). *Saguntum-Plav, II Congrés Del Neolitic a La Península Ibérica, Extra-2*, 439–445.

Vergès, J. M. (2011). La combustión del estiércol: aproximación experimental a la quema en montón de los residuos de redil. En A. Morgado, J. Baena, y D. García (Eds.), *La investigación Experimental aplicada a la Arqueología*, pp. 325-330 (Ronda).

Vergès, J. M., Allué, E., Angelucci, D. E., Cebrià, A., Díez, C., Fontanals, M., Manyanós, A., Montero, S., Moral, S., Vaquero, M., Zaragoza, J. (2002). La sierra de Atapuerca durante el Holoceno: datos preliminares sobre las

ocupaciones de la Edad del Bronce en la cueva de El Mirador. *Trabajos de Prehistoria*, 59, nº1, 107–126.

Vergès, J. M., Allué, E., Angelucci, D. E., Burjachs, F., Carrancho, A., Cebrià, A., Expósito, I., Fontanals, M., Moral, S., Rodríguez, A. y Vaquero, M. (2008). Los niveles neolíticos de la cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): nuevos datos sobre la implantación y el nivel de desarrollo de la economía agropecuaria en la submeseta norte. Hernández, M., Soler (Eds.), *Actas del IV Congreso del Neolítico Peninsular*. Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, Spain, pp. 418-427.

Vergès, J. M., Allué, E., Fontanals, M., Morales, J. I., Martín, P., Carrancho, Á., Guardiola, M., Lozano, M., Roser, M., Oms, X. y Rodríguez, A. (2016a) El Mirador cave (Sierra de Atapuerca, Burgos, Spain): A whole perspective. *Quaternary International*, 414, 236–243.

Vergès, J. M., Burguet-Coca, A., Allué, E., Expósito, I., Guardiola, M., Martín, P., Morales, J.I., Burjachs, F., Cabanes, D., Carrancho, A. y Vallverdú, J. (2016b). The Mas del Pepet experimental programme for the study of prehistoric livestock practices: Preliminary data from dung burning. *Quaternary International*, 414, p. 304-315.

Verrechia, E. P. y Verrechia, K. E. (1994). Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification. *Journal of Sedimentary Research*, A64, 3, pp. 650-664.

W

Wang, X., Jiang, H., Shang, X., Wang, T., Wu, Y., Zhang, P., Wang, W. y Wang, C. (2014). Comparison of dry ashing and wet oxidation methods for recovering articulated husk phytoliths of foxtail millet and common millet from archaeological soil. *Journal of Archaeological Science*, 45(1), 234–239.

- Webb, E. A. y Longstaffe, F. J. (2000). The oxygen isotopic compositions of silica phytoliths and plant water in grasses: implications for the study of paleoclimate. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 64(5), 767–780.
- Webb, E. A., y Longstaffe, F. J. (2002). Climatic influences on the oxygen isotopic composition of biogenic silica in prairie grass. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 66(11), 1891–1904.
- Webb, E. A. y Longstaffe, F. J. (2006). Identifying the $\delta^{18}\text{O}$ signature of precipitation in grass cellulose and phytoliths: refining the paleoclimate model. *Geochimica et Cosmo.*, 70, 2417–2426.
- Webb, M. (1999). Cell-mediated crystallization of calcium oxalate in plants. *The Plant Cell*, 11(4), 751–761.
- Weiner, S. (2008). Archaeology, archaeological science, and integrative archaeology. *Sciences from Israel*, (56), 57–61.
- Weiner, S. (2010). *Microarchaeology. Beyond the visible archaeological record.* Cambridge University Press.
- Weiner, S., Goldberg, P., y Bar-Yosef, O. (2002). Three-dimensional distribution of minerals in the sediments of Hayonim Cave, Israel: Diagenetic processes and archaeological implications. *Journal of Archaeological Science*, 29, 1289–1308.
- Weiner, S., Nagorsky, A., Taxel, I., Asscher, Y., Albert, R. M., Regev, L., Yan, X., Natalio, F., y Boaretto, E. (2020). High temperature pyrotechnology: A macro- and microarchaeology study of a late Byzantine-beginning of Early Islamic period (7th century CE) pottery kiln from Tel Qatra/Gedera, Israel. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 31(December 2019), 102263.

X

- Xinxin, Z. y Houyuan, L. (2011). Carbon sequestration within millet phytoliths from dry-farming of crops in China. *Chinese Science Bulletin*, 56(32), 3451–3456.

Z

- Zapata Peña, L. (2002). Origen de la agricultura en el País Vasco y transformaciones en el paisaje: análisis de restos vegetales arqueológicos. *Kobie: Anejo*; 4, 223.
- Zazo, C., Goy, J. L. y Hoyos, M. (1987). Contexto geológico y geomorfológico. En: E. Aguirre, E. Carbonell y J. M. Bermúdez de Castro (eds.). *El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca I*, Junta de Castilla y León, Soria, pp. 41-46.
- Zhang, J., Lu, H., Wu, N., Yang, X. y Diao, X. (2011). Phytolith analysis for differentiating between foxtail millet (*Setaria italica*) and green foxtail (*Setaria viridis*). *PLOS ONE*, 6(5).
- Zhang, J., Lu, H., Gu, W., Wu, N., Zhou, K., Hu, Y., Xin, Y. y Wang, C. (2012). Early mixed farming of millet and rice 7800 years ago in the Middle Yellow River region, China. *PLOS One*, 7(12).
- Zhao, Z., Pearsall, D.M., Benerfer Jr., A.B. y Piperno, D.R. (1998). Distinguishing rice (*Oryza sativa* Poaceae) from wild *Oryza* species through phytolith analysis, II: finalized method. *Econ. Bot.* 52, 134-135.
- Zohary, D., Hopf, M. y Weiss, E. (2012). Domestication of plants in the Old World. The origin and spread of domesticated plants ins South-West Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. Oxford University Press, 280 p.
- Zuo, X., Lu, H., Jiang, L., Zhang, J., Yang, X., Huan, X., He, K., Wang, C., y Wu, N. (2017). Dating rice remains through phytolith carbon-14 study reveals domestication at the beginning of the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(25), 6486–6491.

Anexos

Anexo 1. Relación de muestras arqueológicas con la caracterización mineralógica de los sedimentos. En los casos en los que el componente mineralógico está seguido de un interrogante, ello significa que su presencia en la composición no es del todo clara.

Yacimiento	Muestra	Composición mineralógica
San Cristóbal	ASCE 14	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCE 15	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCE 16	Calcita, arcilla, dalita y aragonito
	ASCE 17	Calcita, arcilla y cuarzo
	ASCE 18	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 19	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 20	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 21	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 22	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 23	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 24	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 25	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 26	Calcita, arcilla, dalita y cuarzo?
	ASCE 27	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 28	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 29	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 30	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 31	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 32	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 33	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 34	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCE 35	Calcita, arcilla y cuarzo?
	ASCW 1	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita?
	ASCW 2	Calcita, arcilla y cuarzo
	ASCW 3	Calcita, arcilla y dalita?
	ASCW 4	Calcita, arcilla y cuarzo
	ASCW 5	Calcits, arcill, cuarzo y dalita?
	ASCW 6	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita?
	ASCW 7	Calcita, arcilla y aragonito
	ASCW 8	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCW 9	Calcita, arcilla y aragonito
	ASCW 10	Calcita, arcilla y aragonito
	ASCW 11	Calcita y arcilla
	ASCW 12	Calcita, arcilla y cuarzo
	ASCW 40	Calcita, arcilla y cuarzo
	ASCW 41	Calcita y arcilla
	ASCW 42	Calcita y arcilla

	ASCW 43	Calcita, arcilla y dalita
	ASCW 44	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCW 45	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
	ASCW 46	Calcita, arcilla y aragonito
	ASCW 47	Calcita, arcilla, aragonito y dalita
	ASCW 48	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCW 49	Calcita, arcilla y dalita
	ASCW 50	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCW 51	Calcita, arcilla y aragonito
	ASCW -1	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
	ASCW -2	Calcita, arcilla, cuarzo, aragonito y dalita?
	ASCW -3	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	ASCW -4	Calcita, arcilla, cuarzo, aragonito y dalita?
	ASCW -5	Calcita, arcilla, cuarzo, aragonito y dalita?
	ASCW -6	Calcita, arcilla, cuarzo, aragonito y dalita?
	ASCW -7	Calcita y arcilla
	ASCW -8	Calcita, arcilla y aragonito
Los Husos II	N1	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N2	Calcita, arcilla, dalita y cuarzo?
	N3	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N4	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N5	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N6	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo y aragonito
	N7	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N8	Arcilla, calcita, dalita, cuarzo? y aragonito
	N9	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N10	Calcita, arcilla, dalita? y cuarzo?
	N11	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N11a	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N12	Calcita, dalita y arcilla
	N13	Calcita, dalita, arcilla, cuarzo? y aragonito
	N14	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N15	Arcilla, calcita, dalita, cuarzo? y aragonito
	N16	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? y aragonito
	N17	Arcilla, calcita, dalita, cuarzo? y aragonito
	N18	Arcilla, calcita, dalita, cuarzo? y aragonito
	N19	Calcita, arcilla, dalita y aragonito
	N20	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo y aragonito
	N21	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
	N22	Arcilla, calcita, dalita, cuarzo? y aragonito
	N23	Calcita, arcilla, dalita y cuarzo?
	N24	Calcita, arcilla, dalita, cuarzo? Y aragonito
	N25	Calcita, arcilla, dalita y aragonito
	N26	Arcilla, calcita, cuarzo?, dalita y aragonito
	S1	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
	S2	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito

S3	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita y aragonito
S4	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita y aragonito
S5	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita? y aragonito
S6	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita? y aragonito
S7	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita? y aragonito
S8	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S9	Calcita, arcilla y dalita
S10	Calcita, arcilla, cuarzo y aragonito
S11	Calcita, arcilla y aragonito
S12	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S13	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S14	Calcita, arcilla, dalita? y aragonito
S15	Calcita, arcilla, dalita y aragonito
S16	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita? y aragonito
S17	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita y aragonito?
S18	Calcita, arcilla, cuarzo, dalita y aragonito?
S19	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S20	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita?
S21	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S22	Arcilla, calcita y cuarzo
S23	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita?
S24	Arcilla, cuarzo y calcita
S25	Arcilla, calcita, cuarzo, aragonito y dalita?
S26	Arcilla, calcita, cuarzo, aragonito y dalita
S27	Arcilla, cuarzo y calcita
S28	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S29	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S30	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S31	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita?
S32	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S33	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S34	Arcilla, calcita, cuarzo y dalita
S35	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
S36	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita?
S37	Calcita, arcilla, cuarzo, aragonito y dalita?
El Mirador	
1b	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
2b	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
3bg	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
4bg	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
5bg	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
6bg	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
7g	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
8g	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
9g	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
10m	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
11m	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita

12o	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
13o	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
14o	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
15o	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
16o	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
17®	Calcita, arcilla, cuarzo y dalita
18®	Cuarzo, arcilla calcita y dalita
19r	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
20r	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita
21s	Arcilla, cuarzo, calcita y dalita
22z	Cuarzo, arcilla, calcita y dalita