

Procesos postdeposicionales y actividades antrópicas en la cueva de Arenaza I (Galdames, Vizcaya). A Microarchaeological approach

Alonso Eguiluz, Monica; Albert, Rosa Maria

Published in:

La Cueva de Arenaza (San Pedro Galdames, Bizkaia). Resultados de la intervención arqueológica de 2017/2018

Publication date:

2021

License:

Unspecified

Document Version:

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Alonso Eguiluz, M., & Albert, R. M. (2021). Procesos postdeposicionales y actividades antrópicas en la cueva de Arenaza I (Galdames, Vizcaya). A Microarchaeological approach: Postdepositional processes and human activities in Arenaza I cave (Galdames, Vizcaya). A Microarchaeological approach. In J. Fernández-Eraso (Ed.), *La Cueva de Arenaza (San Pedro Galdames, Bizkaia). Resultados de la intervención arqueológica de 2017/2018* (Vol. 9, pp. 87-98).

Copyright

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form, without the prior written permission of the author(s) or other rights holders to whom publication rights have been transferred, unless permitted by a license attached to the publication (a Creative Commons license or other), or unless exceptions to copyright law apply.

Take down policy

If you believe that this document infringes your copyright or other rights, please contact openaccess@vub.be, with details of the nature of the infringement. We will investigate the claim and if justified, we will take the appropriate steps.

KOBIE: Serie Bizkaiko Arkeologi Indusketak - Excavaciones Arqueológicas en Bizkaia, BAI nº9: 87-98
Bizkaiko Foru Aldundia-Diputación Foral de Bizkaia
Bilbao - 2021
ISSN 0214-7971

PROCESOS POSTDEPOSICIONALES Y ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN LA CUEVA DE ARENAZA I (GALDAMES, VIZCAYA). UNA APROXIMACIÓN DESDE LA MICROARQUEOLOGÍA

Postdepositional processes and human activities in Arenaza I cave (Galdames, Vizcaya). A Microarchaeological approach

Mónica Alonso-Eguíluz¹
Rosa María Albert²

Gako-hitzak: fitolitoak, esferolito fekalak, kaltzita pseudomorfoak, FTIR, azienda.

Palabras clave: Fitolitos, esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita, FTIR, ganadería.

Key words: Phytoliths, fecal spherulites, ash pseudomorphs, FTIR, husbandry practices.

Gako-hitzak: Fitolitoak, esferolito fekalak, kaltzita pseudomorfoak, FTIR, azienda.

RESUMEN

La cueva de Arenaza I (Galdames, Vizcaya) conserva un depósito arqueológico con una secuencia crono-cultural que abarca desde el Paleolítico superior hasta la Prehistoria reciente y ha sido objeto de diversos estudios desde su descubrimiento en 1962. Durante el año 2017 se llevó a cabo una revisión estratigráfica del yacimiento para descartar la presencia de un depósito de *fumier* y comprobar si existían más niveles culturales, ya que no se llegó a la roca madre en trabajos anteriores. En este trabajo aportamos los resultados del estudio microarqueológico de estas muestras de sedimento que incluye análisis de fitolitos, esferolitos fecales, pseudomorfos de calcita, así como los resultados del estudio mineralógico a través de FTIR. El objetivo principal es determinar la naturaleza de las actividades humanas desarrolladas en la cueva durante el Paleolítico superior y el Neolítico. Los resultados obtenidos muestran una fuerte alteración del registro microarqueológico en los niveles del Paleolítico superior, sin que se hayan podido recuperar ninguno de los microrrestos estudiados. Por el contrario, los datos derivados del análisis de las muestras correspondientes al período Neolítico, indican la presencia de ganado, además de la combustión de plantas leñosas. Morfológicamente, los fitolitos identificados en este período pertenecen en su mayoría a plantas gramíneas de la subfamilia *C₃ Pooideae*. En definitiva, podemos determinar que durante el Neolítico se desarrollaron prácticas ganaderas en el yacimiento de Arenaza I. Por el contrario, la ausencia de microrrestos en las muestras pertenecientes al Paleolítico superior nos impiden identificar las actividades humanas que tuvieron lugar el sitio durante este periodo.

ABSTRACT

Arenaza I cave (Galdames, Vizcaya) preserves an archaeological deposit with a chrono-cultural sequence ranging from Upper Paleolithic to recent Prehistory. After its discovery in 1962, different excavations took place in the cave. During 2017, a stratigraphic review of the site was carried out to discard the presence of a *fumier* deposit, and to confirm that there were not more cultural levels, as the bedrock was not reached in previous works. In this study, we provide the results of the microarchaeological study of phytoliths, fecal spherulites, ash pseudomorphs, as

1 Equip de Recerca Arqueològica i Arqueòmetria de la Universitat de Barcelona (ERAAUB).

2 Equip de Recerca Arqueològica i Arqueòmetria de la Universitat de Barcelona (ERAAUB). Institució Catalana de Investigació y Estudios Avanzados (ICREA).

well as the results of the mineralogical study through FTIR. The aim of this study is to determine the nature of the human activities developed in the cave during the Upper Paleolithic and Neolithic. The results obtained show a strong alteration of the microarchaeological record in the Upper Paleolithic levels, where no microremains were detected. On the contrary, the analyses of the Neolithic samples indicate the presence of livestock, in addition to the combustion of woody plants. Morphologically, the phytoliths identified in this period belong mostly to graminoids plants of the subfamily C_3 Pooideae. In short, we can determine that during the Neolithic livestock practices were developed in Arenaza I. Conversely, the absence of microremains in the Upper Paleolithic levels does not allow us to identify human activities during this period through microarchaeology.

LABURPENA

Arenaza I kobazuloak (Galdames, Bizkaia) Goi Paleolitotik hasi eta Historiaurre berriraino doan gordailu arkeologiko bat gordetzen du, eta 1962an aurkitu zenetik hainbat ikerketa egin dira. 2017an zehar A estratigrafikoa egin zen Orubearen berrikuspena egin zen fumier (simaorra) gordailua egotea baztertzeko eta maila kultural gehiago zeuden egiaztatzeko, aurreko lanetan hondartzara iritsi ez baita. Lan honetan, sedimentu lagin horien azterketa mikroarkeologikoaren emaitzak eskaintzen ditugu, fitolitoen, esferolito fekalen, kaltzita pseudomorfoen analisiak barne hartzen dituena, baita FTIR (Fourier transformatu infragorrien espektroskopia) bidez egindako azterketa mineralogikoaren emaitzak ere. Helburu nagusia Goi Paleolitoan eta Neolitoan kobazuloan garatutako giza jardueren izaera zehaztea da. Lortutako emaitzek Goi Paleolitoko mailetan erregistro mikroarkeologikoaren alterazio handia erakusten dute, aztertutako mikro-hondakinetak ere berreskuratu gabe. Aitzitik, Neolito garaian dagozkion laginetatik lortutako emaitzek abereen presentzia adierazten dute, zurezko landareen errekuntzaz gain. Morfologikoki, garai honetan identifikatutako fitolitoak C_3 Pooideae azpifamiliako belar landareei dagozkie gehienbat. Azken batean, neolitoan Arenaza I aztarnategian abeltzaintza praktikak garatu zirela zehaztu dezakegu. Aitzitik, Goi Paleolitoko laginetan mikro-hondakinak ez egoteak eragozten digu gu horretan izandako giza jarduerak identifikatzea.

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se centra en el estudio microarqueológico del depósito sedimentario de Arenaza I. La cueva fue descubierta en 1962 y excavada entre 1962 y 1993. En el año 2017 se llevó a cabo una revisión estratigráfica del yacimiento para confirmar o descartar la presencia de un *fumier*, al mismo tiempo que se llegaba a la roca madre, ya que las excavaciones anteriores no se alcanzó este punto, para descartar que hubiera niveles culturales más antiguos que no hubieran sido detectados durante los trabajos previos (Fernández-Eraso *et al.* 2018). Así, durante el 2017 se dejaron al descubierto diez niveles arqueológicos con una horquilla crono-cultural que abarca varios períodos de la Prehistoria: Neolítico final (nivel I), Neolítico medio (nivel II), Neolítico inicial (nivel III), Aziliense (niveles V, VI VII y VIII), Magdaleniense (nivel IX) y Gravetiense (nivel X). Los restos arqueológicos exhumados de todos los niveles, salvo el nivel IV que ha resultado estéril, confirman que la cueva fue visitada con asiduidad durante el Paleolítico superior y la Prehistoria reciente. Teniendo en cuenta el carácter arqueológico del depósito, los análisis



Figura 1. Perfil Oeste del cuadro Y14/Y12 de donde se recogieron las muestras durante la campaña de excavaciones del 2018 (Fotografía: J. Fernández-Eraso).

microarqueológicos que hemos llevado a cabo en el yacimiento de Arenaza I tienen como objetivo detectar y caracterizar, a partir del estudio del registro arqueológico no visible a simple vista, las actividades humanas que se llevaron a cabo en el sitio, tanto durante el Paleolítico superior como durante el Neolítico. En particular, para este trabajo, nos hemos centrado en el estudio transversal de fitolitos, pseudomorfo de calcita, esferolitos fecales y espectroscopía de infrarrojos por derivada de Fourier (FTIR).

Los fitolitos son biomineralizaciones silíceas que se producen en el tejido celular de las plantas vivas y que pasan a formar parte de los sedimentos una vez la materia orgánica de la planta desaparece (Piperno 2006). Dado que conservan la forma de la estructura celular donde se han formado, es posible identificar su procedencia a nivel taxonómico y anatómico. Por ello, los estudios de fitolitos nos permiten extraer información en torno a la reconstrucción paleoambiental, así como las plantas utilizadas por las sociedades del pasado.

Además de fitolitos de sílice, las plantas producen otro tipo de biomineralizaciones denominados cristales de oxalato de calcio, los cuales, al someterse a temperaturas entre 400°C y 500°C, pasan a una fase calcítica estable conservando además su morfología (Brochier y Thinin 2003). Los pseudomorfos de calcita son el principal componente de la ceniza derivada de la combustión de plantas leñosas (Canti 2003; Toffolo y Boaretto 2014; Gur-Arieh *et al.* 2013).

Los esferolitos fecales son agregaciones calcíticas que se producen en el sistema digestivo de algunos animales rumiantes, especialmente ovejas, cabras y vacas. Su identificación constituye un biomarcador esencial para detectar la presencia de animales (Canti 1999, 1998, 1997; Portillo *et al.* 2014; Shahack-Gross, 2011).

Los análisis de FTIR nos proporcionan información sobre la composición mineralógica del sedimento. Una de sus grandes ventajas es que se trata de un método que permite detectar minerales cristalinos y amorfos, como la sílice que compone los fitolitos. La información que nos proporcione el FTIR nos permitirá identificar posibles procesos postdeposicionales que hayan podido alterar el registro microarqueológico (Weiner 2008, 2010).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 12 muestras fueron analizadas para la extracción de fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita, así como para análisis de FTIR. Todas las muestras fueron extraídas del perfil oeste del cuadro Y14/Y12, localizado en una zona resguardada del exterior, hacia el interior de la cueva (Fig. 1). La Tabla 1 lista las muestras analizadas, su procedencia, así como los principales resultados obtenidos de su estudio. De las muestras analizadas, dos pertenecen al nivel X gravetiense final (muestras 3 y 4); una al nivel IX magdaleniense (muestra 7); cinco corresponden con los niveles VIII al IV azilienses (muestras 12, 16, 18, 20 y 22); y cuatro muestras correspondientes a los niveles III, II y I proceden de los niveles neolíticos (muestras 24, 25, 26 y 27).

2.1. Métodos

El protocolo empleado para la extracción de fitolitos es el propuesto por Katz *et al.* (2010) que se resume a continuación. Entre 20 y 50 mg de sedimento seco se colocan en un tubo de 0,5 ml al que se añaden 50 µl de 6N HCl, con el objetivo de eliminar posibles

carbonatos. Una vez desaparece la reacción del ácido, se añaden 450 µl de polyngtustato de sodio $[\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\cdot\text{H}_2\text{O}]$ con una densidad de 2,4 g/ml. La mezcla se introduce en un baño de ultrasonidos durante 5-10 minutos con el fin de separar las arcillas de los fitolitos. A continuación, se centrifuga la mezcla durante 5 minutos a 3.000 rpm, proceso tras el cual la fracción pesada se deposita en el fondo del tubo quedando la fracción ligera, que incluye los fitolitos en suspensión. Esta fracción se traslada a otro tubo del que se extraen 50 µl de muestra que son colocados en un porta objetos y cubiertos con un cubreobjetos de 24x24 mm.

La cuantificación e identificación de los fitolitos se realizó con un microscopio óptico Olympus Bx41 con lentes de 200x para la cuantificación y 400x. Para poder obtener un análisis fiable, se identificaron un número mínimo de 200 fitolitos por muestra (Albert y Weiner 2001). La identificación y clasificación morfológica de los fitolitos se basa en literatura standard (Mulholland y Rapp 1992; Piperno 2006; Rosen 1992; Twiss 1992) así como en nuestra propia colección de referencia (www.phytcore.org). 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).

Para la extracción de esferolitos y pseudomorfo de calcita, el procedimiento utilizado ha sido el propuesto por Gur-Arieh *et al.* (2013). Entre 30 y 40 mg de sedimento son tamizados con una luz de 150 µm, para eliminar el material de mayor tamaño. A este sedimento restante se le añaden 500 µl de polyngtustato de sodio $[\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\cdot\text{H}_2\text{O}]$ con una densidad de 2,4 g/ml y se pone en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos para disgregar los componentes. Con el líquido resultante se montan 50 µl de solución en un portaobjetos y se coloca un cubreobjetos de 24x24 mm. El conteo se realiza en el microscopio óptico Olympus Bx41, bajo luz polarizada a 400x aumentos.

Los análisis de FTIR se han realizado siguiendo a Weiner (2010). Se mezcla en torno a 1 mg de sedimento con bromuro potásico (KBr) para su posterior prensado. La pastilla resultante se introduce en el FTIR (Nicolet iS5) a una resolución de 4 cm⁻¹. La lectura de los difractogramas se realizó apoyándonos en la colección de referencia del Kimmel Center of Archaeological Science del Weizmann Institute of Science (<http://www.weizmann.ac.il/kimmel-arch/infrared-spectra-library>). Para determinar el origen de la calcita presente en los sedimentos, se aplicó el método desarrollado por Regev *et al.* (2010) basado en medir la ratio de la altura de los picos ν_2/ν_4 (1420 y 713 cm⁻¹, respectivamente) normalizado a la altura de ν_3 (874 cm⁻¹). Todas las analíticas se llevaron a cabo en el laboratorio de Arqueología del Departamento de Historia y Arqueología de la Universidad de Barcelona.

3. RESULTADOS

3.1. FTIR

La Tabla 1 muestra los principales minerales identificados que componen las muestras. Hay tres grupos representados: silicatos, carbonatos y fosfatos. Este último en menor medida. Dentro del primer grupo, abundan las arcillas, que componen la matriz del sedimento. Otros silicatos identificados corresponden al cuarzo, que también es un mineral omnipresente en los sedimentos puesto que es muy resistente a procesos postdeposicionales (Weiner 2010). Ambos elementos están presentes en todas las muestras analizadas (Tabla 1, Fig. 2). Por el contrario, no se ha podido identificar pico característico del ópalo, principal componente de los fitolitos, en ninguna de las muestras analizadas (Tabla 1).

Muestra	Nivel	Fecha (cal BP)	#Morfotipos identificados	#Fitolitos por g. de sedimento	#Esferolitos por g. de sedimento	#Pseudomorfos de calcita por g. de sedimento	%Fitolitos erosionados	FTIR
ARI_27	I	4.870±30	209	10.500.000	2.000.000	102.000	4,6	Cl, Ca (g), Qz
ARI_26	II	5.160±30	203	3.000.000	598.000	80.000	48,2	Cl, Ca (g), Qz
ARI_25	II	5.160±30	1*	9.000	-	302.000	-	Ca (p), Cl, Qz
ARI_24	III	5.860±30	-	-	-	-	-	Ca (g), Cl, Qz
ARI_22	IV	10.420±40	-	-	-	-	-	Ca (g), Cl, Qz
ARI_20	V	10.290±30 10.310±30	-	-	-	-	-	Cl, Qz, Ca (g), Dh
ARI_18	VI	12.330±40 11.780±40	-	-	-	-	-	Cl, Qz, Dh
ARI_16	VII	12.380±40	-	-	-	-	-	Cl, Ca (g), Qz, Dh
ARI_12	VIII	12.450±40	-	-	-	-	-	Cl, Qz, Ca (g), Dh
ARI_07	IX	14.510±50	-	-	-	-	-	Cl, Qz, Ca (g)
ARI_04	X	25.020±90	-	-	-	-	-	Cl, Qz, Ca (g)
ARI_03	X	25.020±90	-	-	-	-	-	Cl, Ca (g), Qz

Tabla 1. Relación de muestras, niveles y dataciones, y los resultados de las analíticas: morfotipos identificados, cantidad de microrrestos por gramo de sedimento, porcentaje de alteración de los fitolitos y composición mineralógica. Las abreviaturas tienen el siguiente significado: Ca, calcita; Cl, arcilla; Qz, cuarzo; Dh, dalita; (g) calcita geogénica; (p) calcita pirogénica. *no interpretada.

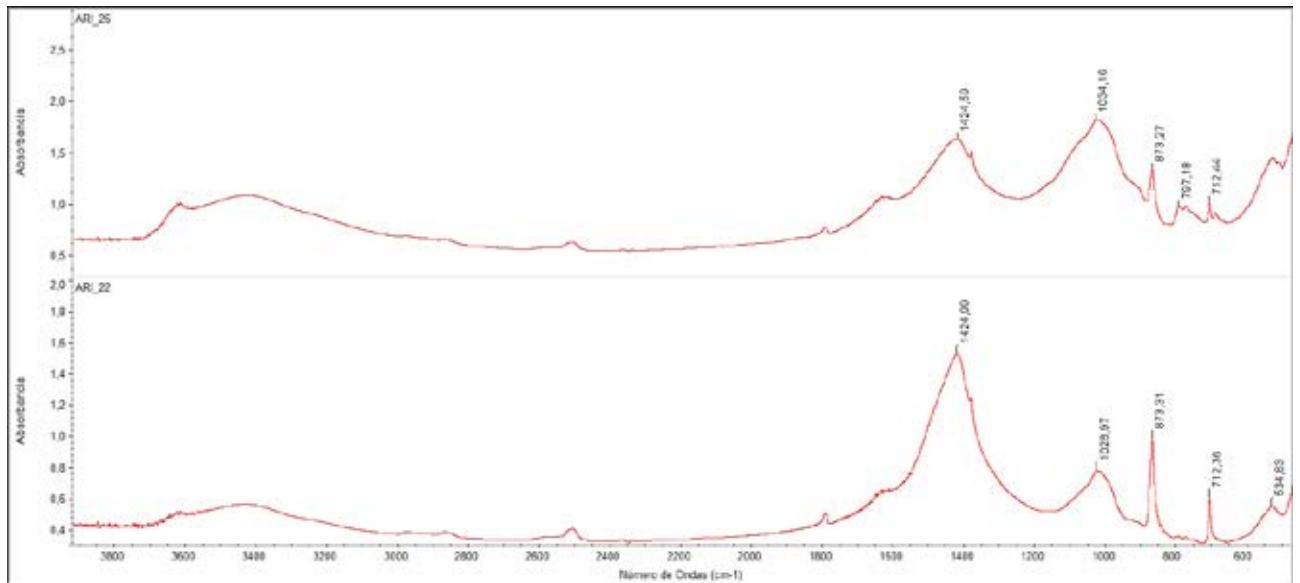


Figura 2. Difractogramas de las muestras 22 (nivel IV) y 26 (nivel II) de la cueva de Arenaza. Los picos en la banda 1400cm⁻¹ así como los picos 873 cm⁻¹ y 712 cm⁻¹ corresponden con la calcita. Por su parte los picos en la banda 1034-1029 cm⁻¹ evidencian la presencia de arcilla, mientras que el doble pico en 779-774 cm⁻¹ (menos intenso en la muestra 22) corresponde al cuarzo. Podemos observar también que en la muestra 22 el espectro de calcita es mucho más fuerte que en el caso de la muestra 26, indicando que es el componente mayoritario.

El grupo de los carbonatos está conformado principalmente por calcita. La calcita puede tener tres orígenes: geogénico, biogénico y pirogénico. La calcita geogénica se corresponde con la que encontramos de manera natural y que compone las rocas. La calcita biogénica forma parte de las conchas de gasterópodos o animales marinos. Por su parte, la calcita pirogénica se corresponde con las cenizas generadas tras la combustión del material leñoso.

En el caso de Arenaza I, son especialmente significativas las muestras 22 del nivel IV, correspondiente a un nivel de arenas arqueológicamente estéril; la muestra 24 del nivel III (Neolítico inicial) y la muestra 25 del nivel II (Neolítico medio). En todas ellas, la calcita es el componente mayoritario, en contraste con el resto de las muestras en las que las arcillas son más abundantes (Tabla 1, Fig. 2).

Por lo que respecta al tipo de calcita, todas las muestras presentan calcita de tipo geogénico. La única excepción es la muestra 25 del nivel II, donde se ha identificado calcita de origen pirogénico derivada de la quema de combustible leñoso (Tabla 1).

Los fosfatos están representados por dalita detectada en las muestras 12 (Nivel VIII), 16 (nivel VII), 18 (nivel VI) y 20 (nivel V). Estos niveles corresponden cronológicamente, con el período Aziliense (Fernández-Eraso *et al.* 2018), estando ausente en las muestras correspondientes al período Neolítico (24, 25, 26 y 27 de los niveles III, II y I respectivamente) (Tabla 1). La dalita puede tener un origen biogénico, como componente de huesos y dientes, o formarse *in situ* derivada de procesos diagenéticos. En este último caso, la disminución del pH del sedimento permite que la calcita interactúe con los fosfatos que libera la materia orgánica, dando lugar a la aparición de dalita (Weiner 2010; Weiner *et al.* 2002).

3.2. Análisis cuantitativo de los microrrestos

Tal y como se observa en la Tabla 1, el paquete de muestras procedentes de los niveles del Paleolítico superior (niveles X al IV)

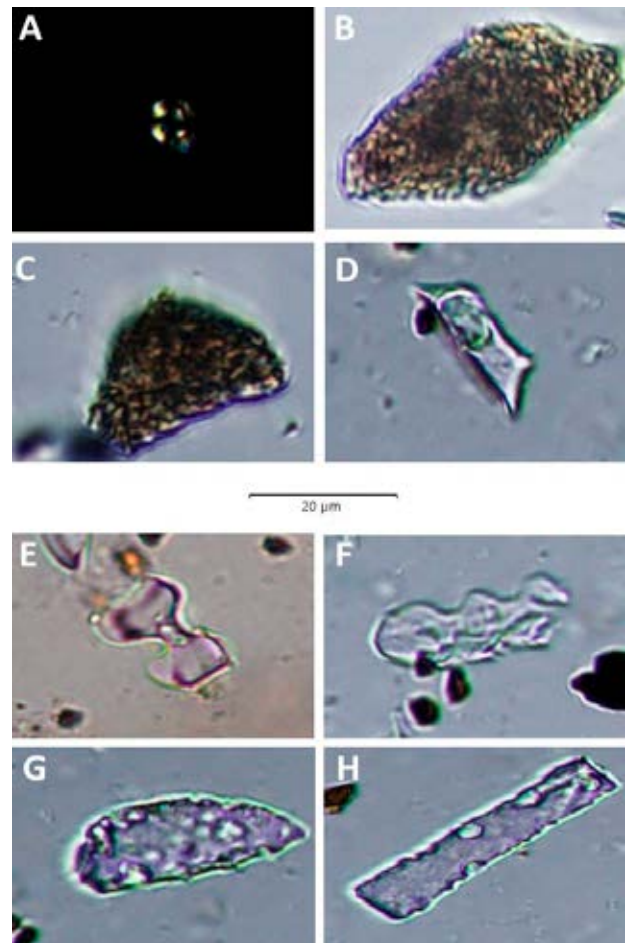


Figura 3. Microfotografías tomadas a 400x aumentos procedentes de la muestra 27 del Nivel I de Arenaza: a) esferulito fecal; b) pseudomorfo de calcita de morfología romboédrica; c) pseudomorfo de calcita de morfología poliédrica; d) GSSCP RONDEL producido por plantas de patrón fotosintético C₃; e) GSSCP BILOBATE producido por plantas de patrón fotosintético C₃; f) ELONGATE SINUATE con signos de disolución, morfotipo producido en hojas/tallos de gramíneas g); ACUTE BULBOSUS, producido por hojas/tallos de gramíneas; h) ELONGATE ENTIRE de superficie psilada, también es posible observar signos de alteración química en la superficie.

ha resultado estéril por lo que respecta a la presencia de fitolitos, esferolitos fecales y pseudomorfo de calcita. Tampoco en la muestra 24 del nivel III (Neolítico antiguo) se han identificado estos microrrestos. Por el contrario, las muestras 26 y 27 (nivel II y I, correspondientes al Neolítico medio y final respectivamente) contienen los tres microrrestos (Tabla 1, Figura 3a, b y c). En esta última muestra, además, se da la mayor concentración de fitolitos por gramo de sedimento con un porcentaje de alteración muy bajo, 4,6% (Tabla 1). En cuanto a los esferolitos, los microrrestos identificados se caracterizan por tener un tamaño de 5 a 10 μm (Figura 3a). El registro arqueológico de los niveles I y II del que proceden estas muestras 26 y 27, las únicas donde se han detectado esferolitos, está compuesto principalmente de fragmentos de hueso, piezas de sílex y algunos fragmentos cerámicos (Fernández-Eraso *et al.* 2018).

En la muestra 25 del nivel II se han documentado pseudomorfo de calcita en mayor concentración que el resto de las muestras, pero no encontramos esferolitos. Aunque se han detectado fitolitos en esta última muestra, no ha sido posible identificar un número suficiente como para realizar un análisis morfológico fiable (>200), por ello, ha sido excluida de la interpretación morfológica de fitolitos (Tabla 1).

Por lo que respecta a los tipos morfológicos de pseudomorfo de calcita, únicamente se han documentado dos tipos: romboedros y poliedros (Fig. 3b y c). Estos morfotipos son abundantemente producidos por las plantas dicotiledóneas leñosas tanto en las hojas como en el tronco/corteza (Brochier y Thion 2003; Franceschi y Nakata 2005; Gur-Arieh *et al.* 2013, 2014; Alonso-Eguiluz 2021).

3.3. Análisis morfológico de fitolitos

En términos de composición morfológica, priman aquellas morfologías producidas por plantas monocotiledóneas, especialmente de la familia de las Poaceas, con un porcentaje entre el 77% y el 81% del total del registro (Fig. 4).

Dentro de esta familia, los fitolitos más abundantes son las denominadas células cortas "*grass silica short cell phytoliths*" (en adelante GSSCP). Las GSSCP forman parte del tejido epidérmico de la familia Poaceae y aparecen normalmente intercaladas entre las células largas. Morfológicamente, este grupo incluye diferentes morfotipos que suelen relacionarse con las diferentes subfamilias de Poaceae donde se han formado. Estas subfamilias crecen normalmente bajo diferentes condiciones climáticas y con diferente proceso fotosintético (C_3 o C_4). Así, la identificación de las subfamilias de Poaceae a través de las GSSCP permite a su vez, inferir las condiciones climáticas donde crecieron estas plantas. En general, las GSSCP presentan buena resistencia a procesos postdeposicionales, por lo que son abundantemente identificadas en los registros (Albert *et al.* 2006; Cabanes *et al.* 2011). Debido a sus variaciones morfológicas en relación con las subfamilias y el clima su identificación aporta valiosa información ecológica. En nuestras muestras el morfotipo más abundante identificado es RONDEL (Figura 3d) con un porcentaje de entre el 72% y 80% (Fig. 5).

Las RONDEL están principalmente relacionadas con la subfamilia Pooideae de patrón fotosintético C_3 (Tabla 2), abundantes en latitudes altas y climas templados y húmedos (Bremond *et al.* 2008; Stromberg 2011).

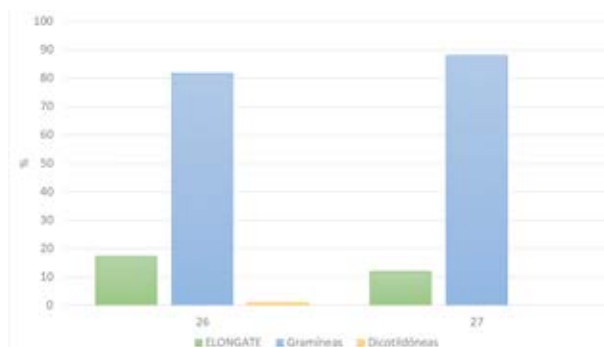


Figura 4. Caracterización vegetal de las muestras 26, Nivel II, y 27, Nivel I, en función de los fitolitos identificados

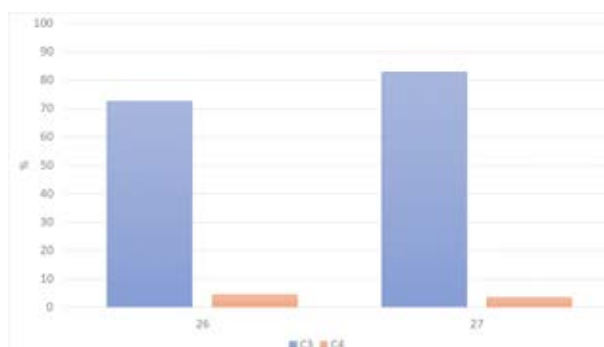


Figura 5. Porcentaje de fitolitos de plantas C_3 y C_4 identificados en las muestras 26, Nivel II, y 27, Nivel I.

Morfotipo	Adscripción taxonómica/anatómica	% Promedio
RONDEL	Gramíneas C_3	76,6
ELONGATE ENTIRE	Elongate	14,6
BILOBATE	Gramíneas C_4	3,4
ACUTE BULBOSUS	Hojas/tallos de gramíneas	2,6
CRENATE	Gramíneas C_3	0,95
ELONGATE SINUATE	Hojas/tallos de gramíneas	0,73
CROSS	Gramíneas C_4	0,48
IRREGULAR	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,24
BLOCKY	Tronco/corteza de dicotiledóneas	0,24

Tabla 2. Resumen de los morfotipos identificados en las muestras 26 y 27 (Niveles II y I respectivamente). La tabla incluye la adscripción taxonómica y anatómica para cada uno de los morfotipos y el porcentaje promedio en el que aparecen.

Otras GSSCP identificadas son BILOBATE (Figura 3e), con un 3,9% en la muestra 26 y un 2,8% en la 27 (Tabla 2); y CROSS, con porcentajes <1% en ambas muestras (Tabla 2). Estos morfotipos son ampliamente producidas por la subfamilia C_4 Panicoideae, a la que pertenecen los principales cultivos de mijos (Zohary *et al.* 2012), así como la subfamilia Oryzoideae (Lu y Liu 2003). Por otro lado, el morfotipo BILOBATE, también puede aparecer en ciertas plantas gramíneas C_3 como la subfamilia Pooideae, aunque en bajo número (Neumann *et al.* 2019 y referencias en él). También son comunes en las Arundinoideae (carrizos) (Albert *et al.* 1999; Chauhan *et al.* 2011; Ollendorf *et al.* 1988; Shakoor *et al.* 2014; Twiss, 1992) o en la tribu Stipeae.

Descartamos que las BILOBATE identificadas en nuestras muestras hayan sido producidas por plantas de la tribu *Stipae*. Estas plantas producen BILOBATE con lóbulos están poco separados y su sección longitudinal es trapezoidal (Fredlund y Tieszen 1994; Blinnikov 2005), lo que difiere de las morfologías que hemos detectado (planas en sección y con unos lóbulos bien diferenciados por su cuerpo medial) (Fig. 3e). Al tiempo, estas plantas son xerófilas y no se desarrollan en el área de estudio.

Tampoco creemos que las BILOBATE identificadas se correspondan con plantas panicoides, ya que, en nuestra colección de referencia de *Setaria italica* tienen un cuerpo medial muy ancho y un marcado doble margen, que no se corresponde con los morfotipos que hemos documentado. Ello, unido a que estas plantas tienen una llegada más o menos tardía a la Península, ya bien entrada la Edad de Bronce (Buxó y Piqué 2008; Moreno-Larrazabal *et al.* 2015), nos hacen descartar la presencia de plantas panicoides.

De acuerdo con Messenger (2006), los morfotipos producidos por plantas de la subfamilia Arundinoideae, presentan un cuerpo medial muy estrecho y largo. En nuestros morfotipos, el cuerpo medial es más bien corto y no muy estrecho. Estas características, junto con la ausencia de morfotipos BULLIFORME, que son ampliamente producidos por esta subfamilia (Shakoor *et al.* 2014; Chauhan *et al.* 2011); además del bajo porcentaje de BILOBATE, sugieren que estos morfotipos no tienen origen en plantas arundinoides.

Finalmente, hay pooideae que producen morfotipos BILOBATE, aunque en menor número, como la tribu *Brachyelytreae* (Mulholland 1989; Fredlund y Tieszen 1994; Stromberg 2002). Se caracterizan por tener dos lóbulos bien diferenciados y redondeados, así como una sección transversal tabular (Fredlund y Tieszen 1994). Así pues, basándonos en los atributos morfológicos indicados, nos inclinamos a pensar que los BILOBATE identificados derivan de plantas pooideae.

Además de las GSSCP, se han identificado otros fitolitos también característicos de las Poaceae como ELONGATE SINUATE o ACUTE BULBOSUS (Fig. 3f y g). ACUTE BULBOSUS se forma rellenando el interior de los apéndices epidérmicos de la mayoría de las plantas gramíneas (ICPN 2.0, Neumann *et al.* 2019), por lo que son representativos de las hojas de estas plantas. LOS ELONGATE SINUATE se forman en la epidermis de las hojas de Poaceae aunque también de las Cyperaceae. Tal y como se apunta en el ICPN 2.0 (Neumann *et al.* 2019), estas morfologías pueden ser asignadas a las Poaceae cuando se encuentran en conexión anatómica asociados a otros morfotipos como por ejemplo GSSCP, ACUTE BULBOSUS o PAPILLATE.

Otros morfotipos identificados son ELONGATE ENTIRE (Fig. 3h) (17 y 11 % de presencia en las muestras 26 y 27 respectivamente) (Fig. 4). ELONGATE ENTIRE son producidos abundantemente tanto por plantas monocotiledóneas (Poaceae y Cyperaceae) así como por ciertas partes de plantas dicotiledóneas, por lo que poseen un bajo valor taxonómico. Es por ello que han sido clasificados como grupo aparte (Tabla 2) (ICPN 2.0, Neumann *et al.* 2019).

En cuanto a las partes de las plantas representadas, los morfotipos identificados en el registro proceden mayormente de hojas de Poaceae, representados por ACUTE BULBOSUS y por ELONGATE SINUATE (Fig. 3f y g, Tabla 2). Por el contrario, los morfotipos distintivos de las inflorescencias (ELONGATE DENTATE, ELONGATE DENDRITIC y PAPILLATE) están ausentes del registro. Las GSSCP aparecen en todas las partes de la planta por lo que no ofrecen información anatómica.

Finalmente, los fitolitos procedentes de dicotiledóneas tienen poca representación en el registro, siendo identificados únicamente en la muestra 26 con un porcentaje no superior al 4% (Fig. 4). Estas plantas están representadas por dos morfotipos: IRREGULAR y BLOCKY. Este último morfotipo aparece abundantemente en la corteza de plantas dicotiledóneas (Albert 1999; Tsartsidou *et al.* 2007; Collura y Neumann 2017), así como en las coníferas. También pueden aparecer en plantas monocotiledóneas como las Cyperaceae y Poaceae, representando a las células BULLIFORM características de las hojas y responsables del doblado y desdoblado de éstas. En este caso, suelen tener forma cuadrangular, aunque los más característicos presentan una característica forma de abanico o almohada (ICPN 2.0, Neumann *et al.* 2019).

4. DISCUSIÓN

Los análisis microarqueológicos desarrollados en el presente trabajo han permitido identificar la presencia de restos fecales y de plantas, en el yacimiento de Arenaza I durante el Neolítico medio y final. Los resultados también apuntan a diferencias entre las muestras estudiadas que analizamos a continuación.

4.1. Preservación de microrrestos

Evaluar los procesos postdeposicionales que pueden haber afectado a la preservación del conjunto de fitolitos, pseudomorfo de calcita y de los esferolitos resulta capital a la hora de realizar una correcta interpretación de los resultados, ya que la ausencia de microrrestos puede inducir a interpretaciones erróneas o sesgadas. La cueva de Arenaza I se localiza en un sistema kárstico de calizas urgonianas (Ordiales *et al.* 2015), estos sistemas suelen tener una gran actividad endokárstica debido a flujos de agua más o menos constantes, en función del clima. La circulación de agua facilita que la calcita presente en el sustrato se active propiciando un aumento del pH del sedimento (Weiner 2010). La preservación de los fitolitos depende en gran medida del pH siendo particularmente inestables en suelos con pH superior a 8 (Cabanes *et al.* 2011; Fraysse *et al.* 2009).

Estos factores podrían haber afectado a la preservación de los fitolitos y por tanto explicarían su ausencia, particularmente en las muestras correspondientes al Paleolítico superior. Por el contrario, en las muestras procedentes del paquete holoceno sí hemos podido detectar fitolitos. A continuación, analizamos las posibles causas de estas diferencias.

La ausencia de fitolitos para las muestras procedentes del Gravetiense final, Magdaleniense y Aziliense (niveles X al IV), puede deberse a tres factores principales: 1) ausencia de plantas en los niveles estudiados; 2) uso o presencia de plantas con baja producción de fitolitos; y 3) disolución de estos microrrestos debido a procesos postdeposicionales. Asimismo, no debemos descartar una acción combinada de los factores 2 y 3 (presencia de plantas con baja producción de fitolitos sumado a procesos de disolución). Otros microrrestos silíceos como diatomeas o espículas de esponja, comúnmente identificados en zonas con presencia de alta humedad o agua, tampoco han sido identificados en las muestras de Arenaza I.

Cronológicamente, la ocupación humana de la cueva de Arenaza I durante las últimas fases del Paleolítico superior, comenzando en el final del período Gravetiense, Magdalenense y finalizando en el Aziliense, se corresponde climáticamente con el interestadio Allerød, que se caracteriza por un clima más benévolo con una ligera subida de las temperaturas y un aumento de las lluvias; y finaliza en el Dryas III (Fernández-Eraso *et al.* 2018) el cual comienza en el nivel VII y finaliza en el nivel VI, ambos niveles pertenecientes al Aziliense, momento de frío intenso (Iriarte-Chiapusso 2015; Loidi *et al.* 2011).

Los resultados de los análisis de lámina delgada de los niveles del Paleolítico superior, acreditan una situación climática muy húmeda con grandes aportes de agua en todos los niveles de este período (Pérez-Fernández, este volumen). Por otro lado, la identificación de calcita de origen geogénico, se correspondería con la calcita que satura el agua que percola por las paredes de la cueva. Asimismo, el aumento del pH del sedimento, debido a la percolación del agua, se ve reflejado en la presencia de dalita en algunas de las muestras (12, nivel VIII; 16, nivel VII; 18, nivel VI y 20, nivel V de cronología aziliense). Así pues, este contexto de humedad y aumento del pH no es favorable para la preservación de los fitolitos y, por tanto, no permiten confirmar o descartar la presencia de plantas en estos niveles, ya que posiblemente si hubieran estado presentes, se habrían disuelto.

Durante el proceso de excavación se han podido recuperar numerosos restos arqueológicos de los niveles paleolíticos: útiles de sílex, restos de fauna (Fernández-Eraso, este volumen). Sin embargo, no se ha detectado la presencia de hogares en esta área. Según Berna *et al.* (2007) es posible detectar actividades relacionadas con el uso del fuego a través de la identificación de arcilla combustionada, puesto que sus picos característicos varían en función de la temperatura que haya alcanzado el fuego. Los resultados del FTIR de nuestras muestras no evidencian signos de alteración térmica en las arcillas. Al mismo tiempo, la calcita que hemos detectado tiene una naturaleza geogénica y tampoco hemos identificado pseudomorfo de calcita por lo que no podemos inferir la presencia de cenizas derivadas de la combustión de plantas leñosas en estos niveles. Estos pseudomorfos se conservan mal en ambientes ácidos (pH <5) (Gur-Arieh *et al.* 2014) y, asumiendo que el pH del sedimento es >8, dada la ausencia de fitolitos, se deberían haber preservado. En consecuencia, en la zona muestreada no se encuentran evidencias de preparación de fuegos o actividades que conllevaran la quema de material leñoso.

Finalmente, no debemos descartar que a los procesos de disolución se le pueda haber sumado la presencia de plantas con baja producción de fitolitos. No todas las plantas producen fitolitos en abundancia. Diferentes estudios apuntan a la producción diferencial de fitolitos en diferentes plantas y sus principales causas (Albert 1999; Albert y Weiner 2001; Tsartsidou *et al.* 2007; Esteban *et al.* 2017). Por ejemplo, el tronco de plantas dicotiledóneas puede producir hasta 20 veces menos fitolitos que las gramíneas (Albert y Weiner 2001).

Por lo que respecta a los niveles correspondientes al inicio del Holoceno (niveles III, II y I del Neolítico inicial, medio y final respectivamente), se observa una mejor preservación de los fitolitos pudiéndose detectar en las muestras, con la única excepción de la muestra 24 del nivel III que ha resultado estéril a nivel microarqueológico.

Este período se caracteriza por una mejora climática durante la cual el grado de humedad desciende y con ello el aporte de agua a la cavidad puede haber influido en la mejor conservación de los fitolitos. No obstante, encontramos una excepción en la muestra 26 (nivel II) con un porcentaje de alteración química de los fitolitos de un 48,2% (Tabla 1), mientras que a nivel mineralógico la calcita que forma parte del sedimento es de origen geogénico (Tabla 1 y Figura 2). Las causas para esta peor preservación de los fitolitos pueden deberse, como en los casos de los niveles gravetienses, magdalenenses y azilienses, a una mayor presencia de humedad para este momento, que favorece la percolación de agua hasta la zona muestreada. Es más, actualmente esta área recibe una gran cantidad del agua que percola por las paredes de la cueva, observándose la formación de una fina capa de carbonato cálcico en el perfil (Fernández-Eraso comunicación personal) (Fig. 1). De acuerdo con los estudios de Karkanas *et al.* (2000, 2002), una deposición rápida ayuda a evitar que los procesos de erosión tengan menos impacto, permitiendo así a la preservación de los microrrestos. Así, el desuso de la cueva entre los niveles II y I, habría dejado el nivel II al descubierto y, por lo tanto, expuesto a agentes externos durante más tiempo, lo que pudo haber afectado a la preservación del registro en la muestra 26 del nivel II. En cambio, en la muestra 27 del nivel I datado en 4.870 cal BP (Neolítico medio), la conservación del registro microarqueológico es muy buena, con tan solo un 4,6% de alteración (Tabla 1), lo cual nos hace pensar que ya en este período hay una mejora sustancial del clima y menor humedad en la cueva, así como una rápida sedimentación posterior.

4.2. Actividades ganaderas en el yacimiento de Arenaza I

La abundante concentración de fitolitos junto con esferolitos fecales es una de las características que presentan los depósitos que se han formado a partir de prácticas ganaderas (Albert *et al.* 2008; Alonso-Eguiluz *et al.* 2017). Este rasgo, que también encontramos en la cueva de Arenaza I, pone de relieve que la cueva fue probablemente utilizada como redil, al menos, durante el Neolítico medio y superior (niveles I y II). El uso de cuevas y/o abrigos para estabular ganado es una práctica ampliamente documentada en el arco mediterráneo (Angelucci *et al.* 2009; Polo-Díaz *et al.* 2014). Las cuevas redil suelen relacionarse con prácticas de trasterminancia (Alonso-Eguiluz 2021). Dichas prácticas, dejan una secuencia estratigráfica concreta (*fumier*) formada por diferentes capas de cenizas derivada del amontonamiento y quema sistemática del estiércol y los desperdicios generados durante el uso del sitio. Esta estratigrafía tiene características específicas, identificables durante el proceso de excavación: primero una capa roja rubefactada en la base, seguida por una capa de tierra renegrida y, coronando la acumulación, una capa de cenizas de diferente coloración entre blanquecinas y grisáceas (Angelucci *et al.* 2009; Fernández-Eraso y Polo-Díaz 2009). Esta sucesión de capas es lo que se conoce como episodio de estabulación, la concurrencia de varios episodios de estabulación conformaría un depósito de *fumier* (Fernández-Eraso y Polo-Díaz 2009). Los restos arqueológicos que suelen exhumarse de estos depósitos son pobres y muy alterados por la acción del fuego: fragmentos cerámicos, sílex y restos de fauna.

Sin embargo, a pesar de la identificación de esferolitos fecales, esta secuencia estratigráfica no se ha detectado en el yacimiento de

Arenaza I, por lo que las actividades ganaderas que hemos identificado no parecen corresponder a un depósito de *fumier*. Tampoco, hemos documentado evidencias de que se hayan producido episodios de combustión de estiércol en estos niveles. A nivel arqueológico los restos recuperados en los niveles I, II y III se corresponden con restos de fauna, fragmentos cerámicos y sílex, sin que presenten alteración térmica. Los resultados de FTIR confirman que la arcilla no está alterada térmicamente. El estiércol tiene un gran poder calorífico y puede arder durante varias horas a altas temperaturas (Vergès 2011; Vergès *et al.* 2016), lo cual puede llegar a producir que los fitolitos muestren signos de combustión en forma de fitolitos derretidos y escorias de sílice (Alonso-Eguiluz 2021; Portillo *et al.* 2020), alteraciones que no hemos detectado en el conjunto de fitolitos identificados.

A pesar de que no se han documentado acumulaciones de ceniza procedente de la quema de material leñoso durante el proceso de excavación, cabe mencionar los resultados del FTIR de la muestra 25 (nivel II), donde se detectó calcita pirogénica y una concentración mayor de pseudomorfos de calcita, aunque no en número elevado, si se compara con el número de pseudomorfos que producen plantas como el *Quercus* (Alonso-Eguiluz 2021). Asimismo, esta muestra también presenta un número menor de fitolitos que en las muestras 26 y 27, por lo que podríamos encontrarnos en un nivel de combustión de plantas leñosas. Estos pseudomorfos de calcita también se localizan en las dos muestras superiores, 26 y 27 de los niveles I y II respectivamente (Tabla 1), aunque en menor concentración que la muestra 25. En estas dos muestras, los pseudomorfos se encuentran asociados a fitolitos y esferolitos, lo que, a priori, haría pensar en una combustión del estiércol. Sin embargo, en ambos casos la calcita identificada tiene un origen geogénico y no pirogénico. Al mismo tiempo, la arcilla no muestra signos de haber sido combustionada. En consecuencia, la presencia de cenizas en las muestras 26 y 27 no tienen relación con la quema de estiércol, ni a una quema *in situ* de los sedimentos (Alonso-Eguiluz 2021; Alonso-Eguiluz *et al.* 2017; Polo-Díaz *et al.* 2016), por lo que esta ceniza debe proceder de algún fuego realizado en otra zona, aunque desconocemos la intención con la que se depositaron estas cenizas.

Otro aspecto a tener en cuenta es el análisis morfológico de los fitolitos. En los casos de estiércol identificados en depósitos de *fumier*, los fitolitos suelen relacionarse con la dieta del ganado, que defeca estos microrrestos junto con los esferolitos. En las muestras de Arenaza I, los fitolitos identificados, corresponden mayormente a la familia de las Poaceae, subfamilia C₃ pooidae. Esta subfamilia se encuentra habitualmente en el hemisferio norte y se caracteriza por crecer en ambientes templados. En la zona mediterránea dominan la vegetación herbácea. Además, los principales cereales de cultivo durante los inicios del Neolítico en la zona (trigos y cebadas) pertenecen a esta subfamilia (Zapata *et al.* 2004; Fernández-Eraso *et al.* 2015; Zohary *et al.* 2012). Sin embargo, no se han documentado morfotipos que indiquen la presencia de cereal, como los ELONGATE DENDRITIC o la presencia de estructuras multicelulares que pueden aportar más información taxonómica (Albert *et al.* 2008; Ball *et al.* 1999, 2009), por lo que, creemos que la presencia de los fitolitos, se relacionarían con las gramíneas silvestres que crecen en la zona del entorno del yacimiento. La presencia de fitolitos conjuntamente con esferolitos indica que estos fitolitos posiblemente deriven en su mayor parte de los restos de defecación como parte de la dieta.

Por otra parte, la ausencia de inflorescencias de gramíneas, que es la parte floral de estas plantas que se desarrolla en los meses de primavera-verano, sugiere que el momento del año en el que se ocupó la cueva se acerca más al otoño-invierno. Esto es llamativo, puesto que normalmente el uso de cuevas para guardar el ganado es una actividad que se desarrolla en períodos estivales (Alonso-Eguiluz *et al.* 2017; Alonso-Eguiluz 2021), en los que se sube al ganado a los pastos altos para que se alimenten de los nuevos brotes. En este caso, cabe la posibilidad de que el ganado se estabulara o se guardara en la cueva durante el invierno, para separar a las hembras embarazadas del resto del rebaño y que parieran en la cueva (Martín *et al.* 2016). En cualquier caso, los estudios de fauna tendrán que avalar esta hipótesis.

En definitiva, y derivado de todo lo expuesto hasta ahora podemos confirmar que, en el yacimiento de Arenaza I, aunque no hemos podido detectar prácticas que dieran lugar a la formación de depósitos de *fumier*, al menos desde 5.160 cal BP se llevaron a cabo prácticas ganaderas.

5. CONCLUSIONES

La cueva de Arenaza I fue ocupada durante las últimas etapas del Paleolítico superior (Gravetiense final, Magdaleniense y Aziliense) y, aunque son abundantes los restos arqueológicos recuperados de estos niveles, la ausencia de microrrestos como fitolitos, esferolitos y pseudomorfos de calcita no han permitido arrojar luz en torno a las actividades humanas que se desarrollaron en la cueva. Los procesos postdeposicionales que tuvieron lugar durante todo el Paleolítico superior son probablemente la causa de la ausencia de estos microrrestos y que han causado su disolución. Llama también la atención, la ausencia de restos de combustión que normalmente están vinculados con la presencia humana.

En los niveles del Neolítico medio y final, se han podido identificar actividades relacionadas con la ganadería, gracias a la presencia de fitolitos y esferolitos. Sin embargo, las prácticas pecuarias llevadas a cabo en la cueva no han dado lugar a la formación de lo que se conoce como un depósito de *fumier*, ya que los excrementos no fueron quemados ni se observan la sucesión de capas que producen los episodios de estabulación. La ausencia de fitolitos de inflorescencias sugiere que el uso de la cueva tuvo lugar durante el otoño-invierno. Ello podría indicar que el espacio se usa para apartar las hembras embarazadas del resto del rebaño, de tal manera que darían a luz en la cueva. Al mismo tiempo, ya que no se ha podido evidenciar la presencia de cereales cultivados, los fitolitos identificados corresponden a las plantas silvestres que crecen en el entorno de la cueva, y que posiblemente formarían parte de la dieta del ganado. Por último, en el nivel III del Neolítico antiguo no se han detectado indicios de prácticas ganaderas, aunque sí de combustión de plantas leñosas (muestra 25). La presencia de pseudomorfos de calcita en las muestras de los niveles, II y I del período neolítico, evidencian que se ha producido la combustión de plantas leñosas, sin embargo, desconocemos el motivo por el cual encontramos sus cenizas en muestras que no están combustionadas.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Departamento de Euskera y Cultura en la convocatoria de subvenciones destinadas a la realización de actividades arqueológicas y paleontológicas en el Territorio Histórico de Bizkaia para 2017 y se enmarca dentro de las líneas de investigación del grupo de investigación IT622-13.

BIBLIOGRAFÍA

Albert, R.M.,

1999 Study of ash layers through phytolith analyses from the Middel palaeolithic levels of Kebara and Tabun caves. Univ. Barcelona 255. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/jasc.2002.0854>

Albert, R.M.; Lavi, O.; Estroff, L.; Weiner, S.; Tsatskin, A.; Ronen, A.; 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, 1249-1260.

Albert, R.M.; Weiner, S.

2001 "Study of phytoliths in prehistoric ash layers from Kebara and Tabun caves using a quantitative approach", en Meunier, J.D.; Colin, F.; Faure-Denard, L. (eds.): *Phytoliths, Applications in Earth Science and Human History*. Lisse: Balkema 251-266.

Albert, R.M.; Bambord, M.K.; 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, 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, 57-75.

Alonso-Eguíluz, M.

2021 *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, pseudomorfo de calcita, esferolitos y FTIR*, Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.

Alonso-Eguíluz, M.; Fernández-Eraso, J.; Albert, R.M.

2017 "The first herders in the upper Ebro basin at Los Husos II (Álava, Spain): microarchaeology applied to fumier deposits", *Vegetation History and Archaeobotany* 26, 143-157.

Angelucci, D.E.; Boschian G.; Fontanals, M.; Pedrotti, A.; Vergès, J.M.

2009 "Shepherds and karst: the use of caves and rock-shelters in the Mediterranean region during the Neolithic", *World Archaeology* 41, 191-214.

Ball, T.B.; Ehlers, R.; Standing, M.D.

2009 "Review of typologic and morphometric analysis of phytoliths produced by wheat and barley", *Breeding Science* 59, 505-512.

Ball, T.B.; Gardner, J.S.; Anderson, N.

1999 "Identifying inflorescence phytoliths from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccon*, *T. dicocoides*, and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and *H. spontaneum*) (Gramineae)", *American Journal of Botany* 86, 1615-1623.

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.; 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, 358-373.

Blinnikov, M.S.

2005 "Phytoliths in plants and soils of the interior Pacific Northwest, USA", *Review of Palaeobotany and Palynology* 135, 71-98.

Bremond, L.; Alexandre, A.; Woolfer, M.J.; Hély, C.; Williamson, D.; Schäfer, P.A.; Majule, A.; Guiot, J.

2008 "Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains", *Global and Planetary Change* 61, 209-224.

Brochier, J.É.; Thion, M.

2003 "Calcite crystals, starch grains aggregates or...POCC? Comment on 'calcite crystals inside archaeological plant tissues'", *Journal of Archaeological Science* 30, 1211-1214.

Buxó, R.; Piqué, R.

2008 *Arqueobotánica. Los usos de las plantas en la Península Ibérica*, Ariel Prehistoria, Barcelona.

Cabanes, D.; Weiner, S.; Shahack-Gross, R.

2011 "Stability of phytoliths in the archaeological record: a dissolution study of modern and fossil phytoliths", *Journal of Archaeological Science* 38, 2480-2490.

Canti, M.G.

1997 "An Investigation of Microscopic Calcareous Spherulites from Herbivore Dung", *Journal of Archaeological Science* 24, 219-231.

1998 "The Micromorphological Identification of Faecal Spherulites from Archaeological and Modern Materials", *Journal of Archaeological Science* 25, 435-444.

1999 "The Production and Preservation of Faecal Spherulites: animals, environment and taphonomy", *Journal of Archaeological Science* 26, 251-258.

2003 "Aspects of the chemical and microscopic characteristics of plant ashes found in archaeological soils", *Catena* 54, 339-361.

Chauhan, D.K.; Tripathi, D.K.; Kumar, D.; Kumar, Y.

2011 "Diversity, Distribution and Frequency Based Attributes of Phytolith in *Arundo donax* L" *International Journal of Innovations in Biological and Chemical Sciences* 1, 22-27.

Collura, L.V.; Neumann, K.

2017 "Wood and bark phytoliths of West African woody plants", *Quaternary International* 434, 142-159.

- Esteban, I.; De Vynck, J.C.; Singels, E.; Vlok, J.; Marean, C.W.; Cowling, OWLING, R.M.; Fisher, E.C.; Cabanes, D.; 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.
- Fernández-Eraso, J.; 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.; Mujika-Alustiza, J.A.; Zapata-Peña, L.; Iriarte-Chiapusso, M.J.; Polo-Díaz, A.; Castaños, P.; Tarrío-Vinagre, A.; Cardoso, S.; Sesma-Sesma J.; García-Gazolaz, J.**
2015 "Beginnings, settlement and consolidation of the production economy in the Basque region", *Quaternary International* 364, 162-171.
- Fernández-Eraso, J.; Camarero Arribas, C.; Arévalo Muñoz, E.; Echebarría Ramos, A.M.; Ruiz González, D.; Jiménez Juárez, M.; Sánchez, A.; Calvo Martínez de Guereñu, A.; García Rojas, M.**
2018 "Cueva de Arenaza I", *Arkeoikuska* 17, 264-276.
- Francheschi, V.R.; 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.; Meunier, J.D.**
2009 "Surface chemistry and reactivity of plant phytoliths in aqueous solutions", *Chemical Geology* 258, 197-206.
- Fredlund, G.G.; Tieszen, L.T.**
1994 "Modern Phytolith Assemblages from the North American Great Plains", *Journal of Biogeography* 21, 321-335.
- Gur-Arieh, S.; Shahack-Gross, R.; Maeir, A.M.; Lehmann, G.; Hitchcock, L.A.; 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.
- Gur-Arieh, S.; Mintz, E.; Boaretto, E.; 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, 4331-4347.
- Iriarte-Chiapusso, M.J.**
2015 "El paisaje vegetal en la Prehistoria vasca, a través del registro polínico", *Kobie Serie Paleoantropología* 34, 223-238.
- Karkanias, P.; Bar-Yosef, O.; Goldeberg, P.; 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, 915-929.
- Karkanias, P.; Rigaud, J.P.; Simek, J.F.; Albert, R.M.; Weiner, S.**
2002 "Ash bones and guano: a study of the minerals and phytoliths in the sediments of Grotte XVI, Dordogne, France", *Journal of Archaeological Science* 29, 721-732.
- Katz, O.; Cabanes, D.; Weiner, S.; Maeir, A.M.; Boaretto, E.; Shahack-Gross, R.**
2010 "Rapid phytolith extraction for analysis of phytolith concentrations and assemblages during an excavation: an application at Tell es-Safi/Gath, Israel", *Journal of Archaeological Science* 37, 1557-1563.
- Loidi, J.; Biurrun, I.; Campos, J.A.; García-Mijangos, I.; Herrera, M.**
2011 *La vegetación de la Comunidad Autónoma del País Vasco*, Gobierno Vasco.
- Lu, H.; Liu, K.B.**
2003 "Morphological variations of lobate phytoliths from grasses in China and the south-eastern United States", *Diversity and Distributions* 9, 73-87.
- Martín, P.; García-González, R.; Nadal, J.; 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.
- Messenger, E.**
2006 *Apports des études paléobotaniques à la reconstitution paléoenvironnementale du site de Dmanissi et de sa région (Géorgie)*, Tesis doctoral. Muséum national d'histoire naturelle.
- Moreno-Larrazabal, A.; Teira-Brión, A.; Sopelana-Salcedo, I.; Arranz-Otaegui, A.; Zapata, L.**
2015 "Ethnobotany of millet cultivation in the north of the Iberian Peninsula", *Vegetation history and Archaeobotany* 24(4), 541-554.
- Mulholland, S.C.**
1989 "Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns", *Journal of Archaeological Science* 16, 489-511.
- Mulholland, S.C.; Rapp, G.**
1992 "A Morphological Classification of Grass Silica-Bodies", *Phytolith Systematics*, 65-89.
- Neumann, K.; Strömberg, C.A.E.; Ball, T.; Albert, R.M.; Vrydaghs, L.; Cummings, L.S.**
2019 "International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0.", *Annals of Botany* XX, 1-11.
- Ollendorf, A.; Mulholland, S.C.; Rapp, G.**
1988 "Phytolith analysis as a means of plant identification: *Arundo donax* and *Phragmites communis*", *Annals of Botany* 61, 209-214.
- Ordiales, A.; Suárez-Bilbao, A.; García-Ibaibarriaga, N.; Ibarra, J. L.; Murélagu, X.**
2015 "Estudio de los micromamíferos de los lechos de la Edad del Bronce de la Cueva de Arenaza I (Galdames, Bizkaia)", *Geogaceta* 58, 51-54.
- Piperno, D.**
2006 *Phytoliths. A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists*, Altamira Press.

- Polo-Díaz, A.; Martínez-Moreno, J.; Benito-Calvo, A.; Mora, R.**
2014 "Prehistoric herding facilities: site formation processes and archaeological dynamics in Cova Gran de Santa Linya (Southeastern Prepyrenees, Iberia)", *Journal of Archaeological Science* 41, 784-800.
- Polo-Díaz, A.; Alonso-Eguíluz, M.; Ruiz, M.; Pérez, S.; Mújika, J.; Albert, R.M.; Fernández-Eraso, J.**
2016 "Management of residues and natural resources at San Cristóbal rock-shelter: Contribution to the characterization of chalcolithic agropastoral groups in the Iberian Peninsula", *Quaternary International* 414, 202-225.
- Portillo, M., Kadowaki, S., Nishiaki, 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. *J. Archaeol. Sci.* 42, 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.10.038>.
- Portillo, M.; García-Suárez, A.; Matthews, W.**
2020 "Livestock faecal indicators for animal management, penning, foddering and dung use in early agricultural built environments in the Konya Plain, Central Anatolia", *Archaeological and Anthropological Science* 12.
- Regev, L.; Poduska, K.M.; Addadi, L.; Weiner, S.; Boaretto, E.**
2010 "Distinguishing between calcites formed by different mechanisms using infrared spectrometry: archaeological applications", *Journal of Archaeological Science* 37, 3022-3029.
- Rosen, A.M.**
1992 "Preliminary Identification of Silica Skeletons from Near Eastern Archaeological Sites: An Anatomical Approach", en: Rapp, G.; Mulholland, S.C. (eds.): *Phytolith Systematics: Emerging Issues*, Advances in Archaeological and Museum Science, 129-147.
- Shahack-Gross, R.,**
2011 Herbivorous livestock dung: formation, taphonomy, methods for identification, and archaeological significance. *Journal of Archaeological Science*, 38. 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.09.019>
- Shakoor, S.A., Soodan, A.S., Kumar, K.,**
2014 Morphological Diversity and Frequency of Phytolith Types in Giant Reed *Arundo donax* (L.). *World Appl. Sci. J.* 29, 926-932. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.29.07.14>
- Strömberg, C.A.E.**
2002 "The origin and spread of grass-dominated ecosystems in the late Tertiary of North America: Preliminary results concerning the evolution of hypsodonty", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177, 59-75.
2011 "Evolution of Grasses and Grassland Ecosystems", *Annual Review of Earth Plant Science* 39, 517-544.
- Toffolo, M.B.; 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.
- Tsartsidou, G.; Lev-Yadun, S.; Albert, R.M.; Miller-Rosen, A.; Efstratiou, N.; 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.
- Twiss, P.C.**
1992 "Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths", en: Rapp, G.; Mulholland, S. C. (eds): *Phytolith Systematics. Emerging Issues*, Advances in Archaeological and Museum Science 113-128.
- Vergès, J.M.**
2011 "La combustión del estiércol: aproximación experimental a la quema en montón de los residuos de redil", en: Morgado, A.; Baena, J.; García, D. (eds.): *La Investigación Experimental Aplicada a la Arqueología*, Ronda, 325-330.
- Vergès, J.M.; Burguet-Coca, A.; Allué, E.; Expósito, I.; Guardiola, M.; Martín, P.; Morales, J.I.; Burjachs, F.; Cabanes, D.; Carrancho, Á.; Vallverdú, J.**
2016 "The Mas del Pepet experimental programme for the study of prehistoric livestock practices: Preliminary data from dung burning", *Quaternary International* 414, 304-315.
- Weiner, S.**
2008 "Archaeology, archaeological science, and integrative archaeology", *Sciences from Israel* 56, 57-61.
2010 *Microarchaeology. Beyond the visible archaeological record*, Cambridge University Press.
- Weiner, S.; Goldberg, P.; 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.
- Zapata, L.; Peña-Chocarro, L.; Pérez-Jordá, G.; Stika, H.P.**
2004 "Early Neolithic Agriculture in the Iberian Peninsula", *Journal of World Prehistory* 18, 283-325.
- Zohary, D.; Hopf, M.; Weiss, E.**
2012 *Domestication of Plants in the Old World*, 4th edition, Oxford University Press.