







Insights on the climatic evolution at the pre-Jaramillo to Jaramillo transition in Europe using mineralogical analysis of the Quibas palaeontological site (Early Pleistocene, southern Iberian Peninsula)

Claves de la evolución climática durante la transición pre-Jaramillo a Jaramillo en Europa a partir del análisis mineralógico del yacimiento paleontológico de Quibas (Pleistoceno Inferior, sureste ibérico)

Elia DEL CASTILLO, María Asunción ALÍAS LINARES , Casto LABORDA-LÓPEZ , Claudia IANNICELLI , Shubham PAL , Jordi AGUSTÍ  & Pedro PIÑERO 

Abstract: The palaeontological site of Quibas is a karst outcrop with an age between 1.1 and 0.9 Ma (late Early Pleistocene). It represents the unique continuous sequence of terrestrial vertebrates of pre-Jaramillo to Jaramillo age in Europe. It is formed by two main structures: Quibas-Sima (divided into units QS-1 to QS-7) and Quibas-Cueva (QC-1–QC-6). In this work, we analyse the mineralogical composition of the sediments that form the stratigraphic units of Quibas-Sima using X-ray diffraction analysis, electrical conductivity, ion chromatography and optical emission spectrometry, to evaluate climatic trends in the sequence. Preliminary results indicate that there is an increase in the proportions of carbonates, gypsum and halite from QS-2 towards QS-4 and QS-5 (1.07–0.99 Ma), suggesting a progressive decrease in precipitation in south-eastern Iberian Peninsula a million years ago. Our data are consistent with the onset of a glacial phase, which is supported by the progressive disappearance of taxa related to forests and water bodies in Quibas-Sima, such as the flying squirrel *Hylopetes* sp. and the semiaquatic shrew *Neomys* sp., in favour of the appearance of taxa linked to open areas such as the Montpellier snake (*Malpolon monspessulanus*) and the snub-nosed viper (*Vipera latastei*).

Resumen: El yacimiento paleontológico de Quibas es un afloramiento kárstico con una edad comprendida entre 1,1 y 0,9 Ma (Pleistoceno Inferior tardío). Representa la única secuencia continua de vertebrados terrestres de edad pre-Jaramillo a Jaramillo de Europa. Está formado por dos estructuras principales: Quibas-Sima (dividida en las unidades QS-1 a QS-7) y Quibas-Cueva (QC-1 a QC-6). En este trabajo se estudia la composición mineralógica de los sedimentos que conforman las unidades estratigráficas de Quibas-Sima, a través de análisis de difracción de rayos X, conductividad eléctrica, cromatografía iónica y espectrometría de emisión óptica por plasma de argón, con el objetivo de evaluar tendencias paleoclimáticas en la secuencia. Los resultados preliminares indican que hay un aumento en las proporciones de carbonatos, yesos y halita desde QS-2 hacia QS-4 y QS-5 (1,07–0,99 Ma), lo que sugiere una progresiva disminución de las precipitaciones en el sureste peninsular hace un millón de años. Los datos son consistentes con el inicio de una fase glacial, lo cual viene apoyado por la desaparición progresiva en Quibas-Sima de taxones afines a bosques y cursos de agua estables como la ardilla voladora *Hylopetes* sp. y el musgano *Neomys* sp., en favor de la aparición de taxones ligados a espacios abiertos como la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) y la víbora hocicuda (*Vipera latastei*).

Received: 11 September 2023

Accepted: 23 October 2023

Published: 30 October 2023

Corresponding author:

Pedro Piñero

ppinero@iphes.cat

Keywords:

Jaramillo subchron

Southern Spain

Mineralogical composition

Palaeoclimatology

X-ray diffraction

Palabras-clave:

Subcrón Jaramillo

Sureste de España

Composición mineralógica

Paleoclimatología

Difracción de rayos X

INTRODUCCIÓN

La transición del Pleistoceno Inferior–Medio tuvo lugar entre hace 1,2 y 0,5 Ma (millones de años), y se caracterizó por un cambio fundamental en la ciclicidad climática de la Tierra, con una fuerte intensificación de los periodos glaciares (Head & Gibbard, 2005). Al comienzo del Pleistoceno Medio se establecieron intensos ciclos glaciares muy duraderos que contrastaban

con los cortos pulsos interglaciares. De esta forma se pasó de ciclos de 41 ma (miles de años) a ciclos de 100 ma (Head & Gibbard, 2005; Lisiecki & Raymo, 2005). En este contexto, la información obtenida a través del estudio del yacimiento paleontológico de Quibas, ubicado en el sureste de España (Abanilla, Región de Murcia; Fig. 1), supone una importante contribución

para la comprensión de los acontecimientos climáticos y faunísticos que tuvieron lugar hace un millón de años en el sureste ibérico (Piñero *et al.*, 2020, 2022). Con una edad comprendida entre 1,1 y 0,9 Ma, este particular enclave representa la única secuencia continua de vertebrados terrestres de edad pre-Jaramillo a Jaramillo de Europa (Piñero *et al.*, 2020, 2022). Aunque en otras secciones como Gran Dolina (Atapuerca) se han detectado niveles de edad pre-Jaramillo y Jaramillo, se trata de niveles sin registro de vertebrados continentales (Parés *et al.*, 2018). El yacimiento de Quibas, cuya cronología cubre el espacio de tiempo que discurre entre los yacimientos de Fuente Nueva 3 en Orce (~1,2 Ma; Duval *et al.*, 2012) y Sima del Elefante 9 en Atapuerca (~1,2 Ma; Carbonell *et al.*, 2008; Cuenca-Bescós *et al.*, 2013), y los yacimientos de Cueva Victoria en Cartagena (~0,9 Ma; Gibert *et al.*, 2016) y Gran Dolina TD4 en Atapuerca (~0,9 Ma; Cuenca-Bescós *et al.*, 2015), nos ofrece una oportunidad única para mejorar el conocimiento sobre los efectos de la transición del Pleistoceno Inferior al Medio al sur de España. Precisamente, este es el

momento en el que se asentaron los primeros humanos en la parte más occidental del continente europeo (Carbonell *et al.*, 2008; Toro-Moyano *et al.*, 2013; Lozano-Fernández *et al.*, 2019). Hasta el momento no se han hallado evidencias de ocupación humana en el yacimiento de Quibas, lo cual podría estar relacionado con un enfriamiento ocurrido entre hace 1,15 y 1,12 Ma. Las extremas condiciones que tuvieron lugar al final de esta fase fría presumiblemente habrían despoblado Europa durante varios de los sucesivos ciclos glaciares-interglaciares (Margari *et al.*, 2023). No obstante, desde su descubrimiento en 1994, este afloramiento kárstico ha ofrecido restos fósiles de más de 90 especies de vertebrados, entre los que se incluyen grandes y pequeños mamíferos, aves, reptiles y anfibios (Montoya *et al.*, 1999, 2001; Carlos-Calero *et al.*, 2006; Made *et al.*, 2008; Alba *et al.*, 2011; Blain *et al.*, 2014; Sevilla *et al.*, 2014; Pérez-García *et al.*, 2015; Piñero & Alberdi, 2015; Piñero *et al.*, 2015, 2016, 2020, 2022; Rosas *et al.*, 2022, 2023; entre otros). Destaca la presencia del nuevo género y especie de topillo *Manchenomys orcensis*, y de la nueva especie de



Figura 1. Contexto geográfico del yacimiento de Quibas. **A**, Localización geográfica del complejo kárstico de Quibas (Fuente: Google Earth Pro); **B**, imagen de campo del yacimiento de Quibas durante la campaña de excavación de 2022.

Figure 1. Geographic context of the Quibas site. **A**, Geographic location of the Quibas karstic complex (source Google Earth Pro); **B**, field image of the Quibas site during the 2022 excavation campaign.

lagarto de cristal *Ophisaurus manchenioi* (ver Agustí *et al.*, 2022; Blain & Bailon, 2019).

El yacimiento está formado por un complejo de galerías kársticas que en la actualidad aparecen colmatadas, principalmente de materiales detríticos cuaternarios del Pleistoceno Inferior (Rodríguez Estrella *et al.*, 2004; Piñero *et al.*, 2015, 2020). Dichos materiales constituyen un importante relleno formado a lo largo de sucesivas fases. El afloramiento está ubicado en las inmediaciones de la pedanía de Cañada de la Leña, en la vertiente SE de la Sierra de Quibas (Abanilla; Fig. 1A). El conjunto fue exhumado por la construcción de una cantera para la extracción de falsa ágata, que en la actualidad se encuentra abandonada (Fig. 1B). Esto permite observar una importante sección de las cavidades, así como las características de los depósitos presentes en ellas. El complejo kárstico está formado por dos estructuras principales que forman parte de la misma galería (Piñero *et al.*, 2022): Quibas-Sima y Quibas-Cueva (Fig. 2A). Quibas-Sima comprende siete unidades detríticas distintas (QS-1 a QS-7), QS-1 dividiéndose a su vez en QS-1.1,

QS-1.2 y QS-1.3 (Fig. 2B). De acuerdo a correlaciones magnetobioestratigráficas, QS-1 tiene una edad de entre 1,1 y 1,07 Ma, QS-2 a QS-5 abarcan una cronología de entre 1,07 y 0,99 Ma (subcrón Jaramillo), y QS-6 y QS-7 tienen una edad de entre 0,99 y 0,9 Ma (Piñero *et al.*, 2020, 2022). Los niveles que han ofrecido restos de grandes y pequeños vertebrados han sido los más bajos (QS-1 a QS-4) (Piñero *et al.*, 2020, 2022). En Quibas-Cueva se han distinguido seis niveles distintos (QC-1 a QC-6). Las unidades más basales de Quibas-Cueva son equivalentes en edad a QS-1 (1,1–1,07 Ma). Observaciones estratigráficas indican que el nivel más alto de Quibas-Cueva (QC-6) representa una extensión del nivel QS-2/QS-3 de la Sima (Fig. 2A).

En este trabajo se estudia la composición mineralógica de los sedimentos que conforman las unidades estratigráficas de la sección de Quibas-Sima, a través de análisis de difracción de rayos X, conductividad eléctrica, cromatografía iónica y espectrometría de emisión óptica por plasma de argón, con el objetivo de analizar posibles tendencias paleoclimáticas a lo largo de la citada secuencia.



Figura 2. Perfiles estratigráficos del yacimiento de Quibas. **A**, Fotografía del yacimiento de Quibas durante la campaña de excavación de 2019 donde se puede observar la correlación entre Quibas-Cueva y Quibas-Sima; **B**, perfil estratigráfico de Quibas-Sima en 2014.

Figure 2. Stratigraphic profiles of the Quibas site. **A**, Field image of the Quibas site in 2019 showing the correlation between Quibas-Cueva and Quibas-Sima; **B**, stratigraphic profile of Quibas-Sima in 2014.

MATERIAL Y MÉTODOS

A principios de 2022 se llevó a cabo una recogida de muestras del yacimiento de Quibas para la realización de análisis de la composición mineralógica. Se extrajeron un total de 14 muestras procedentes de las distintas unidades que conforman Quibas-Sima, excepto de QS-7. Las muestras 8–14 se tomaron del perfil original (Fig. 3A). Las muestras 1–5 se tomaron del perfil testigo del yacimiento (Fig. 3B), dado que los paquetes originales de QS-6 a QS-4 se dismantelaron a medida que avanzaron las excavaciones en las distintas campañas desde 2014. Las muestras 6 y 7 se obtuvieron de la superficie de excavación, actualmente en los niveles QS-3 y QS-2/3 (Fig. 3C). Cada una de las muestras se sometió a distintos análisis para determinar su composición mineralógica:

análisis de difracción de rayos X, conductividad eléctrica, cromatografía iónica y espectrometría de emisión óptica por plasma de argón.

La difracción de rayos X (**DRX**) es una técnica analítica versátil que permite la caracterización de materiales que cumplen con la condición de tener una estructura cristalina, ofreciendo el análisis e identificación de los sólidos cristalinos de estos. La difracción se produce en un conjunto de átomos de arreglo ordenado, a través de la interacción de los rayos X con los sólidos cristalinos y es, ante todo, una dispersión coherente. En este caso, para realizar el análisis de DRX, se utilizó el Difractómetro de rayos X de polvo «Bruker D8 advance» proporcionado por el Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (**SAIT**) de la Universidad Politécnica de Cartagena

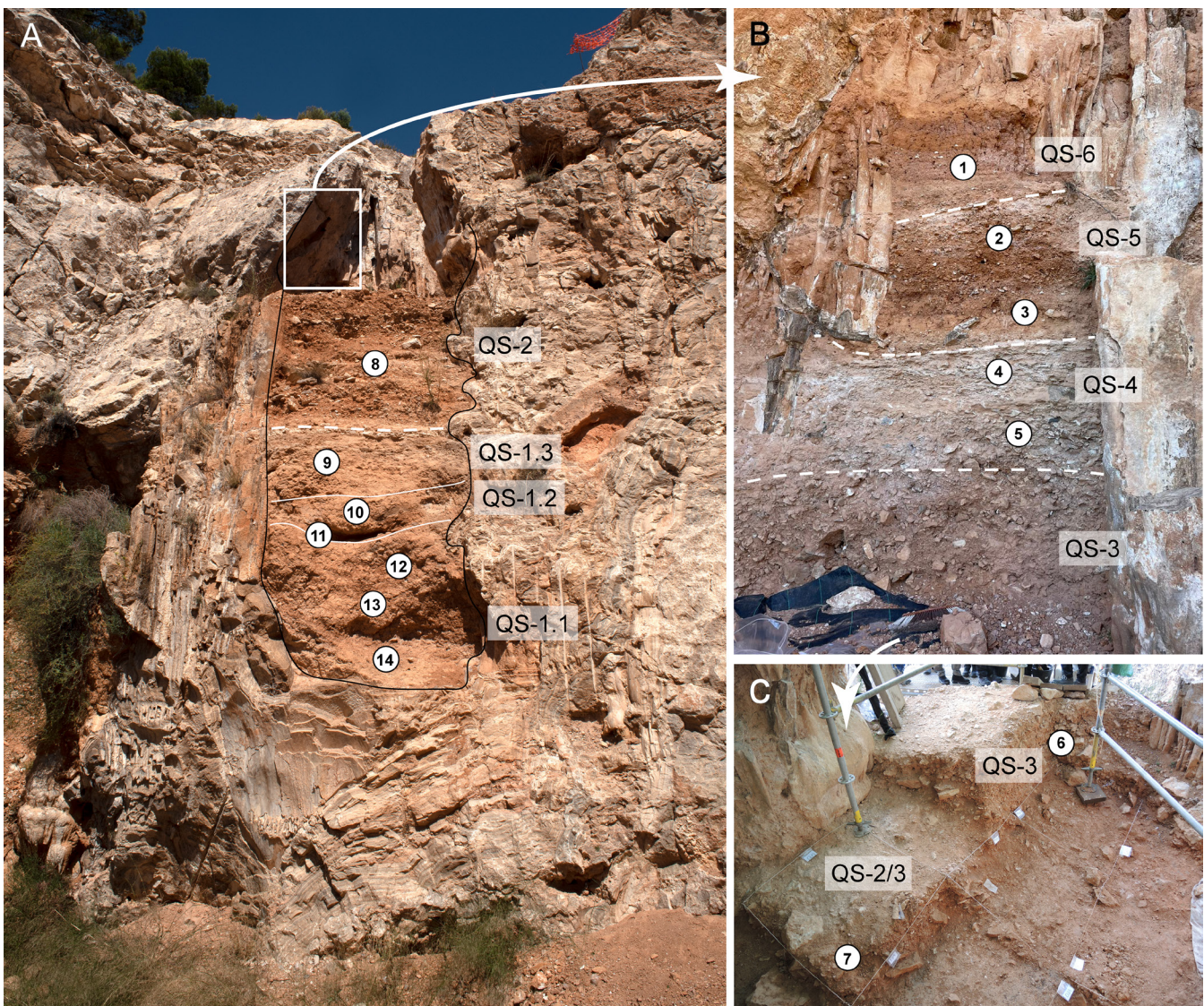


Figura 3. Puntos de muestreo en la sección de Quibas-Sima. **A**, Muestras 8–14 del perfil estratigráfico original (unidades QS-1 y QS-2); **B**, muestras 1–5 del perfil testigo de la sección (unidades QS-6 a QS-4); **C**, muestras 6 y 7 de la superficie de excavación (unidades QS-3 y QS-2/3).

Figure 3. Sampling points in the Quibas-Sima section. **A**, Samples 8–14 from the original stratigraphic profile (units QS-1 and QS-2); **B**, samples 1–5 from the core profile of the section (units QS-6 to QS-4); **C**, samples 6 and 7 from the excavation surface (units QS-3 and QS-2/3).

(UPCT). Las muestras para el análisis de la DRX deben estar presentadas en forma de polvo (tamaño de partícula $<50 \mu\text{m}$). Para ello se tomaron 20 g de muestra molida fina. Esta muestra se molió con un mortero de ágata y se tamizó con un tamiz de $50 \mu\text{m}$ de luz de malla, hasta conseguir una cantidad de 1,5 g. Por último, los difractogramas obtenidos se trabajaron con el Software X Powder 2004_04_70 PRO (Martin, 2004) con el que se identificaron las fases cristalinas presentes en las muestras a través de su comparación con los difractogramas de minerales de la base de datos.

La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta basada en que la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina es proporcional a la concentración de sales en solución (Soriano Soto, 2018). Para el análisis de CE, se preparó una suspensión de cada muestra con relación 1:5 (20 g de muestra molida fina y 100 mL de agua destilada). Tras pasar 2 horas, la muestra se filtró para eliminar cualquier contenido de materia orgánica y otros sólidos en suspensión utilizando los filtros «Standarfilterpaper.Plane.Ø 90 mm». Una vez terminado el proceso de filtración, se colocaron las soluciones finales en duquesas esterilizadas y se midieron en el conductímetro GLPA 31*. A aquellas muestras que superaron un valor de 4 dSm^{-1} se les sometió a análisis para determinar sus cationes y aniones, ya que un alto valor de CE es indicativo de un gran contenido en sales.

La cromatografía iónica (CI) se basa en la separación de sustancias por su diferente migración en una columna de intercambio iónico o a través de una lámina impregnada con un intercambiador iónico (Fritz, 1987). La técnica de CI se utilizó para determinar el contenido de aniones de aquellas muestras con una CE superior o igual a 4 dSm^{-1} (en este caso fueron las muestras QS-5 Techo, QS-5 Base, QS-4 Techo, QS-4 Base y QS-1.2 Nivel oscuro). Se hizo uso del cromatógrafo iónico Dionex modelo ICS-2100, disponible en el Servicio Universitario de Instrumentación Científica (SUIC) del SACE (Universidad de Murcia). Para el análisis de CI se utilizaron las disoluciones preparadas para el análisis de conductividad eléctrica.

La espectrometría de emisión óptica por plasma de argón (ICP-OES) es una técnica basada en un plasma altamente energético y eléctricamente neutro conformado por iones, electrones y partícula neutra, normalmente argón, que adquiere la energía de un campo electromagnético de alta frecuencia o de corriente continua, pudiendo alcanzar una temperatura de hasta $8000 \text{ }^\circ\text{K}$ ($7726,85 \text{ }^\circ\text{C}$) (Tyler, 1992). La técnica ICP-OES se utilizó para la cuantificación de los cationes en aquellas muestras con una CE superior o igual a 4 dSm^{-1} . Dicho instrumento se encuentra también en el SUIC (Universidad de Murcia).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La DRX indica el contenido de minerales de las distintas muestras de Quibas-Sima (Tab. 1). Esta técnica presenta un valor de error de $\pm 5\%$. Los valores inferiores al 5% corresponden a trazas. Es probable que los minerales de yeso y halita no sean muy cristalinos, lo que dificultaría su detección por DRX.

Tabla 1. Resultados DRX (difracción de rayos X) de las muestras de Quibas-Sima. Abreviaciones: **CA**, calcita; **Q**, cuarzo; **DO**, dolomita; **MU**, moscovita; **CL**, clinocloro; **AR**, aragonito; **Y**, yeso; **HA**, halita.

Table 1. XRD (X-ray diffraction) results of the Quibas-Sima samples. Abbreviations: **CA**, calcite; **Q**, quartz; **DO**, dolomite; **MU**, muscovite; **CL**, clinocllore; **AR**, aragonite; **Y**, gypsum; **HA**, halite.

Nº	Muestra	CA %	Q %	DO %	MU %	CL %	AR %	Y %	HA %
1	QS-6	31,4	37,8	12,3	3,7	4,7	10,6	-	-
2	QS-5 Techo	62,3	15,3	17,8	1,3	2,0	-	0,7	0,6
3	QS-5 Base	36,0	20,3	36,9	3,3	2,3	0,8	0,8	0,5
4	QS-4 Techo	69,0	8,7	18,0	1,4	-	-	0,8	1,9
5	QS-4 Base	70,0	8,7	17,0	0,5	1,4	1,4	0,5	0,8
6	QS-3	47,5	7,5	43,1	1,0	-	1,0	-	-
7	QS-2/3	57,5	11,8	30,3	1,1	2,2	-	-	-
8	QS-2	45,1	8,8	44,2	0,9	-	0,9	-	-
9	QS-1.3	56,6	14,4	24,5	1,9	1,6	0,9	-	-
10	QS-1.2	46,1	15,1	34,9	1,0	1,9	1,0	-	-
11	QS-1.2 Oscuro	27,0	17,1	49,2	1,0	2,0	0,9	2,0	0,8
12	QS-1.1 Techo	64,0	19,0	11,8	1,3	2,6	1,3	-	-
13	QS-1.1 Oscuro	20,4	29,2	44,1	2,1	3,1	1,0	-	-
14	QS-1.1 Base	48,1	11,7	36,0	1,0	1,0	2,2	-	-

La conductividad eléctrica ha permitido indicar el grado de salinidad que contienen los niveles estudiados (Tab. 2). Se ha considerado que las muestras que superan el valor de 4 dSm^{-1} comienzan a presentar un contenido en sales notable. Los resultados indican que los niveles QS-5 Techo, QS-5 Base, QS-4 Techo, QS-4 Base y QS-1.2 Nivel oscuro presentan valores muy altos de salinidad, por lo que se procedió a determinar su contenido de aniones y cationes.

Tabla 2. Resultados de conductividad eléctrica (CE) de las muestras de Quibas-Sima.

Table 2. Electrical conductivity (CE) results of the Quibas-Sima samples.

Nº	Muestra	CE (dS m^{-1})
1	QS-6	3,44
2	QS-5 Techo	4,40
3	QS-5 Base	5,76
4	QS-4 Techo	8,39
5	QS-4 Base	5,92
6	QS-3	0,20
7	QS-2/3	0,25
8	QS-2	0,94
9	QS-1.3	1,53
10	QS-1.2	3,46
11	QS-1.2 Nivel oscuro	6,70
12	QS-1.1 Techo	1,20
13	QS-1.1 Nivel oscuro	3,18
14	QS-1.1 Base	0,83

La técnica de cromatografía iónica ha permitido obtener los valores de cloruro, nitrato y sulfato presentes en los niveles seleccionados. Por su parte, la técnica de ICP-OES muestra el contenido de cationes presentes en estos mismos niveles (Tab. 3).

Tabla 3. Resultados de aniones y cationes de las muestras de Quibas-Sima con un valor de conductividad eléctrica ≥ 4 dS m^{-1} .

Table 3. Anion and cation results of the Quibas-Sima samples with an electrical conductivity value ≥ 4 dS m^{-1} .

Nº	Muestra	Aniones			Cationes	
		Cloruro (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Calcio (mg/L)	Sodio (mg/L)
2	QS-5 Techo	1384,62	26,13	210,49	119,79	402,27
3	QS-5 Base	1749,71	30,49	385,56	118,02	668,04
4	QS-4 Techo	69,99	946,80	15,42	143,04	974,51
5	QS-4 Base	1922,50	42,13	221,82	112,70	650,05
11	QS-1.1 Oscuro	212,75	242,50	166,39	226,61	554,98

Los resultados mostraron que los aniones más abundantes en estas muestras son el cloruro y sulfato, mientras que los cationes más abundantes son el calcio y el sodio. Esto es un claro indicativo de la presencia de cloruro sódico y sulfato cálcico, es decir, de halita y yeso, respectivamente. Los altos valores de estas sales en QS-4 y QS-5 muestran una menor precipitación con respecto al resto de unidades, y esto puede estar asociado a momentos de aridez. Los valores de solubilidad de halita y yeso son, respectivamente, 360 g/L y 2,5 g/L, por lo que la presencia de estas sales corrobora regiones áridas con climas cálidos y muy escasa precipitación. De esta manera se evidencia un incremento de la aridez desde los niveles más bajos de la sección de Quibas-Sima hacia QS-5.

Esta tendencia climática registrada a lo largo de la secuencia de Quibas-Sima es también coherente con los resultados de los análisis de difracción de rayos X, ya que desde QS-2 hacia QS-4 y 5 se observa un aumento de los carbonatos, básicamente de calcita. De forma general, se considera que las capas carbonatadas como los caliches se originan tras largos períodos de evaporación, lo cual es muy común en momentos de aridez (Wright & Tucker, 1991). Precisamente, tanto en la parte alta de QS-4 como en la de QS-5, se ha constatado la presencia de un caliche. Además del aumento de sales, este incremento en la concentración de carbonatos a lo largo de la secuencia es compatible con una progresiva disminución de las precipitaciones en el momento de depósito de los niveles. De acuerdo a estos resultados, se puede inferir que entre hace 1,1 y 1 Ma se produjo un cambio climático en el sureste peninsular que tuvo repercusión en el régimen de precipitaciones (Fig. 4).

En nuestras latitudes, los episodios glaciares del Pleistoceno Inferior no implicaban tanto una disminución de las temperaturas generales como un aumento

de la aridez con extensión de espacios abiertos. Al contrario ocurría durante las fases interglaciares, en las que aumentaban las precipitaciones y con ellas el desarrollo de masas forestales (Leroy et al., 2011). Según los resultados de la composición mineralógica de las distintas unidades de Quibas-Sima existen evidencias de una transición desde condiciones interglaciares húmedas hacia condiciones glaciares áridas. Estos resultados son acordes a los ofrecidos por la sucesión de pequeños vertebrados identificada en Quibas-Sima, de QS-1 a QS-4 (Piñero et al., 2020, 2022). El más antiguo de los niveles (QS-1) ha proporcionado fósiles de una ardilla voladora del género *Hylopetes*, un tipo de roedor que actualmente está vinculado a ambientes boscosos (e.g., Lee, 2016). Este primer nivel también incluye restos del musgano *Neomys* sp., un insectívoro de hábitos semiacuáticos cuya presencia implica necesariamente el desarrollo de cursos de agua estables en los alrededores del yacimiento en el momento del depósito de este estrato (Palomo & Gisbert, 2002). Además, QS-1 está correlacionado con QC-4/5 (Quibas-Cueva), nivel que registra el lagarto sin patas *Ophisaurus manchenioi*, un reptil cuyos parientes actuales habitan en zonas tropicales y subtropicales (Blain & Bailon, 2019). Su aparición en Quibas certifica que el sureste peninsular actuó como el último refugio de especies subtropicales de Europa. La presencia de estas especies en los niveles más antiguos del yacimiento indica que durante su formación se desarrollaron masas forestales bajo condiciones relativamente húmedas (Fig. 4).

Sin embargo, *Neomys* sp. y *Ophisaurus manchenioi* desaparecen a partir de la unidad QS-2, e *Hylopetes* sp. a partir de la unidad QS-3. Esto es coherente con la pérdida del hábitat propicio para la supervivencia de estas especies durante el depósito de estos niveles. En cambio, QS-3 y QS-4 han ofrecido fósiles de reptiles vinculados a ambientes abiertos y de matorral, como son la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) y la víbora hocicuda (*Vipera latastei*) (Pleguezuelos, 1997; Pleguezuelos & Santos, 2004), unos taxones ausentes en QS-1 (Piñero et al., 2020). Al igual que la composición mineralógica, las afinidades ecológicas de los pequeños vertebrados de Quibas-Sima evidencian el registro de un cambio climático que va desde condiciones boscosas y húmedas en su parte más antigua (QS-1) hacia condiciones más áridas, con un mayor desarrollo de espacios abiertos de matorral hacia los niveles más recientes (QS-2 a QS-4) (Fig. 4). Existe por tanto la constatación de una progresiva reducción de masa boscosa en el sureste ibérico hace un millón de años debido a una disminución de las precipitaciones.

Por último, se ha comprobado que el nivel QS-6 tiene más aragonito, más minerales de la arcilla (moscovita, clinocloro) y más cuarzo que el resto de niveles. Sin embargo, contiene menos carbonatos (calcita y dolomita). Esto podría estar indicando una vuelta al aumento de las precipitaciones tras la

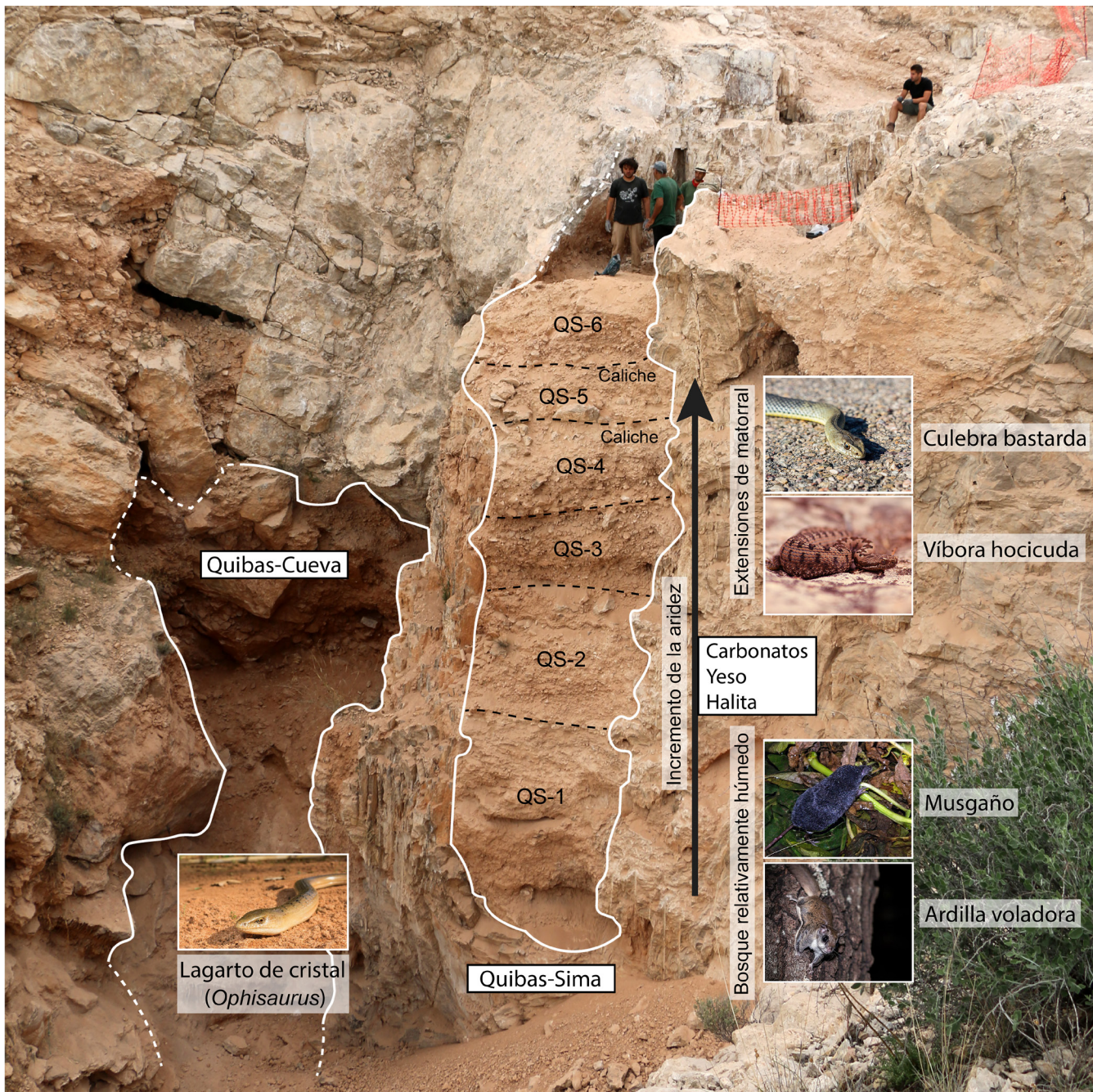


Figura 4. Vista de las dos estructuras principales del yacimiento de Quibas en 2015. A lo largo de la secuencia de Quibas-Sima se observa un aumento de los carbonatos, yesos y halita, lo que sugiere una disminución progresiva de las precipitaciones. Esto viene apoyado por la desaparición desde QS-1 hacia QS-4 de especies afines a bosques como la ardilla voladora *Hylopetes* sp. y medios acuáticos como el musgaño (*Neomys* sp.), en favor de la aparición de especies relacionadas con ambientes más secos y abiertos como la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*) y la víbora hocicuda (*Vipera latastei*).

Figure 4. View of the two main structures of the Quibas site in 2015. Along the Quibas-Sima sequence, an increase in carbonates, gypsum and halite is observed, suggesting a progressive decrease in precipitation. This is supported by the disappearance from QS-1 to QS-4 of forest-related species such as the flying squirrel *Hylopetes* sp. and aquatic environments such as the water shrew *Neomys* sp., in favour of the appearance of species linked to drier and more open environments such as the Montpellier snake (*Malpolon monspessulanus*) and the snub-nosed viper (*Vipera latastei*).

fase árida que representan los depósitos inferiores, es decir, es consistente con el inicio de un nuevo episodio interglaciar. Las proporciones de cuarzo y arcilla aumentan al disolverse los carbonatos. Desafortunadamente, el nivel QS-6 no registra fósiles de vertebrados que puedan apoyar esta interpretación.

La observación de las características texturales de QS-6 permiten interpretarlo como facies de *terra rossa*, típicos suelos de zonas calcáreas (Williams, 1983), lo que junto al alto contenido en aragonito nos indica que dicha unidad representa un paleosuelo (Quigley & Dreimanis, 1966).

CONCLUSIONES

El análisis de la composición mineralógica de los distintos niveles de Quibas-Sima ha permitido constatar un incremento en las proporciones de carbonatos desde QS-2 hacia QS-5, así como un aumento de yeso y halita. Esto sugiere que hubo un progresivo aumento de la aridez en el sureste de la península ibérica a lo largo del lapso de tiempo comprendido entre 1,1 y 1 millón de años. En el sur de Europa, durante el Pleistoceno Inferior, las húmedas condiciones interglaciares favorecían la extensión de bosques, mientras que las fases glaciares, más áridas, implicaban la reducción de la cubierta arbórea y la expansión de matorrales y/o pastizales. La sucesión de pequeños vertebrados de Quibas-Sima apunta precisamente hacia una reducción de masa forestal en favor de una expansión del matorral desde QS-1 a QS-4. Los datos obtenidos son por tanto consistentes con el inicio de una fase glacial que implicó un aumento de la aridez y, consecuentemente, una reducción de la cobertura arbórea hace un millón de años en el sureste ibérico. Este cambio ambiental acaecido al inicio del subcrón Jaramillo (1,07–0,99 Ma) coincide con la transición del estado isotópico interglacial MIS-31 (1,081–1,062 Ma) al estado isotópico glacial MIS-30. Con esto, el yacimiento de Quibas se convierte en una localidad clave a la hora de comprender los eventos climáticos que ocurrieron hace alrededor de un millón de años en el sur de Europa.

Información suplementaria. Este artículo no tiene información suplementaria.

Contribución de los autores. EC, muestreo, análisis, adquisición de datos, investigación, redacción del texto original. AAL, conceptualización, análisis, adquisición de datos, investigación, revisión del texto; CLL, muestreo, investigación, revisión del texto; CI, muestreo, edición, revisión del texto; SP, muestreo, revisión del texto; JA, conceptualización, administrador del proyecto; PP, conceptualización, edición, investigación, revisión del texto, administrador del proyecto.

Conflicto de intereses. Los autores no tienen ningún conflicto de interés.

Financiación. Este trabajo ha sido posible en el marco de la Subvención ARQ115/2018 para la Investigación e Intervención en el Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de la Región de Murcia (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia). El trabajo es también parte de los proyectos PID2021-123092NB-C21 (Ministerio de Ciencia e Innovación; MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER 'Una manera de hacer Europa') y 2021SGR-1238 (AGAUR-Generalitat de Catalunya). El IPHES-CERCA ha recibido apoyo financiero del Ministerio de Ciencia e Innovación a través del programa para Unidades de Excelencia "María de Maeztu" (CEX2019-000945-M). Pedro Piñero está sujeto a un contrato "Juan de la Cierva-Incorporación" (IJC2020-044108-I) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y "European Union NextGenerationEU/PRTR".

Información sobre los autores. Elia Del Castillo¹, María Asunción Aliás Linares¹, Casto Laborda-López², Claudia Iannicelli², Shubham Pal^{3,4}, Jordi Agustí^{2,5}, &

Pedro Piñero^{2,6}. ¹Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología, Universidad de Murcia, Facultad de Química, Campus Espinardo, 30100 Murcia, España; eliadelcastillosobrinos@gmail.com, aalias@um.es; ²IPHES-CERCA, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, Zona Educacional 4, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, España; ureligrat@gmail.com, claudiaianicelli@gmail.com, jordi.agusti@icrea.cat, ppinero@iphes.cat; ³Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España; ⁴ICP-CERCA, Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici ICTA-ICP, Carrer de les Columnes s/n, Campus de la UAB, 08193 Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España; shubham.pal@icp.cat; ⁵ICREA, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats, Pg. Lluís Companys 23, 08010 Barcelona, España; ⁶Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avinguda de Catalunya 35, 43002 Tarragona, España.

Agradecimientos. Nos gustaría dar nuestro más sincero agradecimiento al Ayuntamiento de Abanilla por el apoyo económico y logístico que ha dado al equipo de trabajo del yacimiento de Quibas durante las distintas campañas de campo. Queremos dar las gracias también al Dr. Gregorio Romero y al Servicio de Patrimonio Histórico de la Dirección General de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia por su apoyo para la realización de esta investigación. Por último, nos gustaría dar las gracias a los revisores Juan Manuel López y Purificación Marín, y a los editores Carlos Martínez, Samuel Zamora y Sonia Ros por sus comentarios, que han contribuido a mejorar notablemente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Agustí, J., Piñero, P., Lozano-Fernández, I., & Jiménez-Arenas, J. M. (2022). A new genus and species of arvicolid rodent (Mammalia) from the Early Pleistocene of Spain. *Comptes Rendus Palevol*, 21(39), 847–858. doi: [10.5852/cr-palevol2022v21a39](https://doi.org/10.5852/cr-palevol2022v21a39)
- Alba, D. M., Carlos-Calero, J. A., Mancheño, M. A., Montoya, P., Morales, J., & Rook, L. (2011). Fossil remains of *Macaca sylvanus florentina* (Cocchi, 1872) (Primates, Cercopithecidae) from the Early Pleistocene of Quibas (Murcia, Spain). *Journal of Human Evolution*, 61(6), 703–718. doi: [10.1016/j.jhevol.2011.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.09.003)
- Blain, H.-A., & Bailon, S. (2019). Extirpation of *Ophisaurus* (Anguimorpha, Anguidae) in Western Europe in the context of the disappearance of subtropical ecosystems at the Early-Middle Pleistocene transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 520, 96–13. doi: [10.1016/j.palaeo.2019.01.023](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.01.023)
- Blain, H.-A., Bailon, S., Agustí, J., Piñero-García, P., Lozano-Fernández, I., Sevilla, P., López-García, J. M., Romero, G., & Mancheño, M. A. (2014). Youngest agamid lizards from Western Europe (Sierra de Quibas, Spain, late Early Pleistocene). *Acta Palaeontologica Polonica*, 59(4), 873–878. doi: [10.4202/app.2012.0141](https://doi.org/10.4202/app.2012.0141)
- Carbonell, E., Bermúdez de Castro, J. M., Parés, J. M., Pérez-González, A., Cuenca-Bescós, G., Ollé, A., Mosquera, M., Huguet, R., van der Made, J., Rosas, A., Sala, R., Vallverdú, J., García, N., Granger, D. E., Martínón-Torres, M., Rodríguez, X. P., Stock, G. M., Vergès, J. M., Allué, E., Burjachs, F., Cáceres, I., Canals, A., Benito, A., Díez, C., Lozano, M., Mateos, A., Navazo, M., Rodríguez, J., Rosell, J., & Arsuaga, J. L. (2008). The first hominin of

- Europe. *Nature*, 452(7186), 465–469. doi: [10.1038/nature06815](https://doi.org/10.1038/nature06815)
- Carlos-Calero, J. A., Montoya, P., Mancheño, M. A., & Morales, J. (2006). Presencia de *Vulpes praeglacialis* (Kormos, 1932) en el yacimiento pleistoceno de la Sierra de Quibas (Abanilla, Murcia). *Estudios Geológicos*, 62(1), 395–400. doi: [10.3989/egool.0662134](https://doi.org/10.3989/egool.0662134)
- Cuenca-Bescós, G., Rofes, J., López-García, J. M., Blain, H.-A., Rabal-Garcés, R., Sauqué, V., Arsuaga, J. L., Bermúdez de Castro, J. M., & Carbonell, E. (2013). The small mammals of Sima del Elefante (Atapuerca, Spain) and the first entrance of Homo in Western Europe. *Quaternary International*, 295, 28–35. doi: [10.1016/j.quaint.2011.12.012](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.12.012)
- Cuenca-Bescós, G., Blain, H.-A., Rofes, J., Lozano-Fernández, I., López-García, J. M., Duval, M., Galán, J., & Núñez-Lahuerta, C. (2015). Comparing two different Early Pleistocene microfaunal sequences from the caves of Atapuerca, Sima del Elefante and Gran Dolina (Spain): biochronological implications and significance of the Jaramillo subchron. *Quaternary International*, 389, 148–158. doi: [10.1016/j.quaint.2014.12.059](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.059)
- Duval, M., Falguères, C., Bahain, J.-J., Grün, R., Shao, Q., Aubert, M., Dolo, J.-M., Agustí, J., Martínez-Navarro, B., Palmqvist, P., & Toro-Moyano, I. (2012). On the limits of using combined U-series/ESR method to date fossil teeth from two Early Pleistocene archaeological sites of the Orce area (Guadix-Baza basin, Spain). *Quaternary Research*, 77(3), 482–491. doi: [10.1016/j.yqres.2012.01.003](https://doi.org/10.1016/j.yqres.2012.01.003)
- Fritz, J. S. (1987). Ion chromatography. *Analytical Chemistry*, 59(4), 335A–344A.
- Gibert, L., Scott, G. R., Scholz, D., Budsky, A., Ferrández, C., Ribot, F., Martin, R. A., & Lería, M. (2016). Chronology for the Cueva Victoria fossil site (SE Spain): Evidence for Early Pleistocene Afro-Iberian dispersals. *Journal of Human Evolution*, 90, 183–197. doi: [10.1016/j.jhevol.2015.08.002](https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.08.002)
- Head, M. J., & Gibbard, P. L. (2005). Early-Middle Pleistocene transitions: an overview and recommendation for the defining boundary. *Geological Society, London, Special Publications*, 247(1), 1–18. doi: [10.1144/GSL.SP.2005.247.01.01](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.247.01.01)
- Lee, B. (2016). *Hylopetes sipora*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T10606A22243951. doi: [10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T10606A22243951.en](https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T10606A22243951.en) [Sep 2015].
- Leroy, S. A., Arpe, K., & Mikolajewicz, U. (2011). Vegetation context and climatic limits of the Early Pleistocene hominin dispersal in Europe. *Quaternary Science Reviews*, 30(11–12), 1448–1463. doi: [10.1016/j.quascirev.2010.01.017](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.01.017)
- Lisiecki, L. E., & Raymo, M. E. (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*, 20(1), PA1003. doi: [10.1029/2004PA001071](https://doi.org/10.1029/2004PA001071)
- Lozano-Fernández, I., Blain, H.-A., Agustí, J., Piñero, P., Barsky, D., Ivorra, J., & Bourguignon, L. (2019). New clues about the late Early Pleistocene peopling of western Europe: Small vertebrates from The Bois-de-Riquet archeo-paleontological site (Lézignan-La-Cèbe, southern France). *Quaternary Science Reviews*, 219, 187–203. doi: [10.1016/j.quascirev.2019.07.015](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.07.015)
- Made, J., Carlos-Calero, J. A., & Mancheño, M. A. (2008). New material of the goat *Capra? alba* from the Lower Pleistocene of Quibas (Spain); notes on sexual dimorphism, stratigraphic distribution and systematics. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 47(1), 13–23.
- Margari, V., Hodell, D. A., Parfitt, S. A., Ashton, N. M., Grimalt, J. O., Kim, H., Yun, K.-S., Gibbard, P. L., Stringer, C. B., & Tzedakis, P. C. (2023). Extreme glacial cooling likely led to hominin depopulation of Europe in the Early Pleistocene. *Science*, 381(6658), 693–699. doi: [10.1126/science.adf4445](https://doi.org/10.1126/science.adf4445)
- Martin, J. D. (2004). Using X Powder: A software package for Powder X-Ray diffraction analysis. *DL GR*, 1001(04), 105.
- Montoya, P., Alberdi, M. T., Blázquez, A. M., Barbadillo, L. J., Fumanal, M. P., van der Made, J., Marín, J. M., Molina, A., Morales, J., Murelaga, X., Peñalver, E., Robles, F., Ruiz Bustos, A., Sánchez, A., Sanchiz, B., Soria, D., & Szyndlar, Z. (1999). La fauna del Pleistoceno inferior de la Sierra de Quibas (Abanilla, Murcia). *Estudios Geológicos*, 55(3–4), 127–161. doi: [10.3989/egool.99553-4171](https://doi.org/10.3989/egool.99553-4171)
- Montoya, P., Alberdi, M. T., Barbadillo, L. J., van der Made, J., Morales, J., Murelaga, X., Peñalver, E., Robles, F., Bustos, A. R., Sánchez, A., Sanchiz, B., Soria, D., & Szyndlar, Z. (2001). Une faune très diversifiée du Pléistocène inférieur de la Sierra de Quibas (province de Murcia, Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 332(6), 387–393. doi: [10.1016/S1251-8050\(01\)01544-0](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(01)01544-0)
- Palomo, L. J., & Gisbert, J. (2002). *Atlas de los mamíferos terrestres de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza*. SECEM-SECEMU.
- Parés, J. M., Álvarez, C., Sier, M., Moreno, D., Duval, M., Woodhead, J. D., Ortega, A. I., Campaña, I., Rosell, J., Bermúdez de Castro, J. M., & Carbonell, E. (2018). Chronology of the cave interior sediments at Gran Dolina archaeological site, Atapuerca (Spain). *Quaternary Science Reviews*, 186, 1–16. doi: [10.1016/j.quascirev.2018.02.004](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.02.004)
- Pérez-García, A., Murelaga, X., Mancheño, M. Á., Rodríguez, A. A., & Romero, G. (2015). The tortoises from the Lower Pleistocene palaeontological site of Quibas (Region de Murcia, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 14(6–7), 589–603. doi: [10.1016/j.crpv.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.01.002)
- Piñero, P., & Alberdi, M. T. (2015). Estudio de los caballos del yacimiento de Quibas, Pleistoceno Inferior final (Abanilla, Murcia, España). *Estudios Geológicos*, 71(2), e034. doi: [10.3989/egool.41863.348](https://doi.org/10.3989/egool.41863.348)
- Piñero, P., Agustí, J., Blain, H.-A., Furió, M., & Laplana, C. (2015). Biochronological data for the Early Pleistocene site of Quibas (SE Spain) inferred from rodent assemblage. *Geologica Acta*, 13(3), 229–241. doi: [10.1344/GeologicaActa2015.13.3.5](https://doi.org/10.1344/GeologicaActa2015.13.3.5)
- Piñero, P., Agustí, J., Blain, H.-A., & Laplana, C. (2016). Paleoenvironmental reconstruction of the Early Pleistocene site of Quibas (SE Spain) using a rodent assemblage. *Comptes Rendus Palevol*, 15(6), 659–668. doi: [10.1016/j.crpv.2015.06.009](https://doi.org/10.1016/j.crpv.2015.06.009)
- Piñero, P., Agustí, J., Oms, O., Blain, H.-A., Furió, M., Laplana, C., Sevilla, P., Rosas, A., & Vallverdú, J. (2020). First continuous pre-Jaramillo to Jaramillo terrestrial vertebrate succession from Europe. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. doi: [10.1038/s41598-020-58404-w](https://doi.org/10.1038/s41598-020-58404-w)
- Piñero, P., Agustí, J., Laborda, C., Duval, M., Zhao, J. X., Blain, H.-A., Furió, M., Laplana, C., Rosas, A., & Sevilla,

- P. (2022). Quibas-Sima: A unique 1 ma-old vertebrate succession in the southern Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 283, 107469. doi: [10.1016/j.quascirev.2022.107469](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107469)
- Pleguezuelos, J. M. (1997). *Malpolon monspessulanus* (Hermann, 1804). In A. Salvador (Ed.), *Fauna Ibérica*, 10 (pp. 408–427). Museo Nacional de Ciencias Naturales.
- Pleguezuelos, J. M., & Santos, X. (2004). *Vipera latasti*. In J. M. Pleguezuelos, M. Márquez, & M. Lizanam (Eds.), *Atlas y libro rojo de los Anfibios y Reptiles de España* (pp. 298–300). Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Asociación Herpetológica Española.
- Quigley, R. M., & Dreimanis, A. (1966). Secondary aragonite in a soil profile. *Earth and Planetary Science Letters*, 1(5), 348–350.
- Rodríguez Estrella, T., Mancheño, M. A., Romero, G., & Hernández, J. M. (2004). Características geológicas de la Sierra de Quibas (Abanilla, Murcia). Su relación con un yacimiento paleontológico Pleistoceno. *Geogaceta*, 35, 115–118.
- Rosas, A., Soler-Fajardo, A., García-Taberner, A., Huguet, R., Vallverdú, J., Fidalgo, D., Galli, E., Piñero, P., Agustí, J., Valenciano, A., & García-Martínez, D. (2023). 2D Geometric morphometrics of the first lower molar of the genus *Meles* including new badger evidence from the Lower Pleistocene Quibas site (Murcia, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 22(7), 91–107. doi: [10.5852/cr-palevol2023v22a7](https://doi.org/10.5852/cr-palevol2023v22a7)
- Rosas, A., Galli, E., Fidalgo, D., García-Taberner, A., Huguet, R., García-Martínez, D., Piñero, P., Agustí, J., Rico-Barrio, A., & Vallverdú, J. (2022). The Quibas site (Murcia, Spain): new herbivores from the Early-Middle Pleistocene transition. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 128(3), 745–772. doi: [10.54103/2039-4942/16707](https://doi.org/10.54103/2039-4942/16707)
- Sevilla, P., Agustí, J., Blain, H.-A., Laplana, C., Romero, G., & Mancheño, M. A. (2014). Los murciélagos del Pleistoceno inferior de Quibas (Abanilla, Murcia, España). *¡Fundamental!*, 24, 229–231.
- Soriano Soto, M. D. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://bit.ly/3tovKmx>
- Toro-Moyano, I., Martínez-Navarro, B., Agustí, J., Souday, C., Bermúdez de Castro, J. M., Martínón-Torres, M., Fajardo, B., Duval, M., Falgueres, C., Oms, O., Parés, J. M., Anadón, P., Julià, R., García-Aguilar, J. M., Moigne A.-M., Espigares, M. P., Ros-Montoya, S., & Palmqvist, P. (2013). The oldest human fossil in Europe, from Orce (Spain). *Journal of Human Evolution*, 65(1), 1–9. doi: [10.1016/j.jhevol.2013.01.012](https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.01.012)
- Tyler, G. (1992). AA or ICP-which do you choose? *Chemistry in Australia*, 59(4), 150–152.
- Williams, P. W. (1983). The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. *Journal of Hydrology*, 61(1–3), 45–67.
- Wright, V. P., & Tucker, M. E. (1991). *Calcretes*. The International Association of Sedimentologists in Association with Blackwell Scientific Publications.