

# ¿Pastores y/o agricultores? Aproximación a la movilidad de los primeros grupos neolíticos del centro-norte peninsular a partir del análisis de isótopos estables del azufre sobre colágeno óseo

Artzainak eta/edo nekazariak? Penintsulako erdialde-iparraldeko lehen talde neolitikoen mugikortasunera egindako hurbilketa, hezurretako kolagenoaren gainean egindako sufreaken isotopo egonkorren azterketatik abiatuta

Shepherds and/or farmers? An approach to the mobility of the first Neolithic groups of north-central Iberia from the analysis of sulfur stable isotopes on bone collagen

**PALABRAS CLAVE:** Movilidad, isótopos estables de azufre, centro-norte de Iberia, Neolítico antiguo.

**GAKO-HITZAK:** Mugikortasuna, sufreaken isotopo egonkorak, Iberiar penintsulako erdialdea-iparraldea, antzinako Neolitoa.

**KEY WORDS:** Mobility, stable sulfur isotopes, north-central Iberia, Early Neolithic.

Borja GONZÁLEZ-RABANAL<sup>(1,2)</sup> y Teresa FERNÁNDEZ-CRESPO<sup>(1,3)</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se explora la movilidad de los primeros grupos neolíticos del centro-norte peninsular mediante el análisis de isótopos estables del azufre ( $\delta^{34}\text{S}$ ) sobre colágeno óseo. Los resultados sugieren que dichas comunidades habitaron y explotaron una isozone de interior, siendo sus valores de  $\delta^{34}\text{S}$  compatibles con los de su entorno loco-regional. Los isótopos del  $\delta^{34}\text{S}$  no se correlacionan con los del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  previamente publicados, impidiendo confirmar que la diferencia detectada en el consumo de proteína animal entre miembros se debe a cierta especialización económica intra-grupal. No obstante, la movilidad –al menos de corto/medio alcance y, probablemente, entre zonas altas y bajas– debió jugar un papel importante en la subsistencia, dado que los valores del  $\delta^{34}\text{S}$  de los ovicaprinos son más altos que los de los humanos o bovinos.

## LABURPENA

Lan honetan, penintsulako erdialde-iparraldeko lehen talde neolitikoen mugikortasuna landu dugu, hezurretako kolagenoaren gainean egindako sufreaken ( $\delta^{34}\text{S}$ ) isotopo egonkorren azterketatik abiatuta. Emaitzek iradokitzen dutenez, komunitate haiek barnealdeko isozone batean bizi izan ziren eta ustiatu zuten, eta haien  $\delta^{34}\text{S}$  balioak tokiko-eskualdeko ingurunearekiko bateragarriak dira.  $\delta^{34}\text{S}$ -ren isotopoak ez dira korrelazioan jarri aurretik argitaratutako  $\delta^{13}\text{C}$  eta  $\delta^{15}\text{N}$ -en isotopoekin eta, ondorioz, ezin daiteke baieztatu animalien proteinaren kontsumoan kideen artean hautemandako alde hori talde barruko nolabaiteko espezializazio ekonomikoari lotuta dagoenik. Dena den, mugikortasunak –gutxienez irismen laburrekoak/ertainekoak eta, ziur asko, goiko eta beheko eremuen artekoak– eragin handia izango zuen biziraupenean. Izan ere, ardi-ahuntzen  $\delta^{34}\text{S}$  balioak gizakienak edo abelgorrienak baino altuagoak dira.

## ABSTRACT

This paper explores the mobility of the first Neolithic groups of north-central Iberia by stable sulfur isotopes ( $\delta^{34}\text{S}$ ) on bone collagen. The results suggest that these communities inhabited and exploited an inland isozone, with their  $\delta^{34}\text{S}$  values being compatible with those of their local environment. The  $\delta^{34}\text{S}$  isotopes do not correlate with those of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  previously published, so it cannot be confirmed that the difference detected in animal protein consumption between members was because they practised different economic activities. However, mobility, at least short/medium range and probably between high and low areas, must have played an essential role in subsistence, given the isotopic differences documented in  $\delta^{34}\text{S}$  between ovicaprines and humans or cattle.

<sup>(1,2)</sup> Borja González-Rabanal, Departamento de Prehistoria, Arqueología, Antropología Social y Ciencias y Técnicas Historiográficas, Universidad de Valladolid, España; <sup>(2)</sup> Grupo I+D+i EvoAdapta, (Evolución Humana y Adaptaciones durante la Prehistoria), Departamento de Ciencias Históricas, Universidad de Cantabria, Santander, España, borja.gonzalez@uva.es, <https://orcid.org/0000-0002-1802-994X>

<sup>(1,3)</sup> Teresa Fernández-Crespo, Departamento de Prehistoria, Arqueología, Antropología Social y Ciencias y Técnicas Historiográficas, Universidad de Valladolid, España; <sup>(3)</sup> School of Archaeology, University of Oxford, Reino Unido, <https://orcid.org/0000-0001-5553-8578>

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los isótopos estables han empezado a revelar un panorama diverso en las estrategias dietéticas y en los patrones de movilidad neolíticos del centro-norte de la península ibérica (Alt *et al.*, 2016; Villalba-Mouco *et al.*, 2018; Fernández-Crespo y Schulting, 2017; Fernández-Crespo *et al.*, 2019; 2021; Jones *et al.*, 2019; Sarasketa-Gartzia *et al.*, 2019), señalando la necesidad de acometer nuevos abordajes (Cubas *et al.*, 2019).

En este escenario, los análisis de isótopos estables del carbono y nitrógeno sobre colágeno óseo de yacimientos al aire libre del Neolítico antiguo y medio del centro-norte peninsular han sugerido la existencia de distancias tróficas mayores de las teóricamente esperables entre los valores isotópicos de la fauna terrestre y los de los humanos, lo que se ha interpretado como resultado de una dieta en la que el consumo de carne de herbívoros juveniles o de productos lácteos tendría un peso muy relevante, consistente con una economía eminentemente pastoril (Fernández-Crespo *et al.*, 2019; Fernández-Crespo *et al.*, 2021). Dichos análisis también han identificado una correlación positiva entre los valores isotópicos del carbono y el nitrógeno en los yacimientos de Los Cascajos y Paternanbidea, que sugeriría que no todos los miembros de la misma comunidad consumían la misma cantidad y/o calidad de proteína animal, posiblemente debido a un cierto grado de especialización económica (Fernández-Crespo *et al.*, 2019).

Sin embargo, por el momento, no existen datos isotópicos referentes a la movilidad de estos grupos que validen o refuten esta hipótesis. A este respecto, los isótopos estables del azufre constituyen un buen indicador para identificar patrones de movilidad, particularmente durante la adolescencia y edad adulta (Richards, 2023), y muy especialmente si esta se da entre regiones litorales e interiores (Nehlich, 2015). Otros sistemas isotópicos útiles para abordar la cuestión de la movilidad como el carbono y el oxígeno sobre apatita o el estroncio tienden a utilizar el esmalte como material de estudio –para disminuir el riesgo de contaminación diagenética– y, por tanto, sus inferencias quedan limitadas al paisaje explotado durante la infancia, ya que el esmalte –al contrario que el hueso– no se regenera tras su formación (Fernández-Crespo *et al.*, 2020). Así las cosas, con el objetivo de reconstruir los patrones de movilidad de las primeras comunidades neolíticas del centro-norte peninsular, y de valorar si el consumo diferencial de proteína animal previamente documentado por Fernández-Crespo *et al.* (2019) puede vincularse a la especialización pastoril de ciertos individuos, los cuales –es de suponer– serían especialmente móviles, se analizan los isótopos estables del azufre sobre colágeno óseo de muestras humanas y animales de los principales yacimientos neolíticos antiguos y medios de esta región.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Material

Los materiales estudiados en este trabajo proceden de ocho yacimientos al aire libre localizados en el alto valle del Ebro y la submeseta norte y datados entre el 5300-4500 a.C. (Fig. 1): Los Cascajos (Los Arcos, Navarra) (García-Gazólaz y Sesma-Sesma, 2007), Paternanbidea (Ibero, Navarra) (García-Gazólaz, 2007), Llano del Montico (Monreal-Izco, Navarra) (Rojo-Guerra *et al.*, 2016), El Prado (Pancorbo, Burgos) (Alonso-Fernández, 2017), El Molino de Arriba (Buniel, Burgos) (Palomino *et al.*, 2011), Alto de Rodilla (Monasterio de Rodilla, Burgos) (Alonso-Fernández y Jiménez-Echevarría, 2015), Fuente Celada (Quintanadueñas, Burgos) (Alameda Cuenca-Romero *et al.*, 2011) y La Lámpara (Ambrona, Soria) (Rojo-Guerra *et al.*, 2008). La mayoría fueron excavados en intervenciones preventivas, por lo que en muchos casos desconocemos si formaban parte de poblados más grandes. En las intervenciones se descubrieron sobre todo estructuras negativas, a menudo circulares u ovales, y con una funcionalidad diversa, incluyendo agujeros de postes, silos, cubetas, cabañas, recintos, estructuras de combustión y fosas funerarias (Rojo-Guerra *et al.*, 2018). Estas últimas acogían generalmente adultos de ambos sexos, en su mayoría depositados en fosas individuales y dispuestos en decúbito lateral o supino, mirando preferentemente al SE y acompañados de ajuaros funerarios formados por vasijas de cerámica, herramientas de sílex, molinos, hachas pulimentadas y cuentas de collar (Rojo-Guerra *et al.*, 2016). La presencia en estos asentamientos tanto de fauna doméstica como de granos de cereal confirma su carácter agrícola-ganadero (Altuna y Mariezkurrena, 2009; Peña-Chocarro *et al.*, 2018).

En este trabajo se analizan los valores de isótopos estables del azufre de 31 muestras humanas. Estas proceden de Los Cascajos ( $n=17$ ), Paternanbidea ( $n=6$ ), Llano del Montico ( $n=2$ ), El Prado ( $n=2$ ), Fuente Celada ( $n=1$ ), El Molino de Arriba ( $n=1$ ), Alto de Rodilla ( $n=1$ ) y La Lámpara ( $n=1$ ). Además, el trabajo incluye 26 muestras de fauna de herbívoros terrestres de Los Cascajos ( $n=13$ ), Paternanbidea ( $n=10$ ), El Prado ( $n=2$ ) y La Lámpara ( $n=1$ ) para conocer la variabilidad en las señales isotópicas de referencia en la región. Estos especímenes se encontraban asociados con las fosas funerarias, habiendo sido recuperados en las mismas o en otras estructuras cercanas coetáneas.

### 2.2. Métodos

Los valores de los isótopos estables del azufre sobre colágeno óseo humano y animal derivan esencialmente de la dieta consumida, que a su vez refleja el azufre contenido en las fuentes geológicas e hidrológicas presentes en la biosfera (Nehlich, 2015). Las plantas reflejan valores entre -7‰ y 8‰, mientras que los recursos fluviales fluctúan ampliamente entre -22‰

y 20‰ (Privat *et al.*, 2007) y los marinos tienen valores cercanos a 20‰ (Craig *et al.*, 2006). No obstante, la re-deposición del azufre oceánico mediante el efecto del espray marino sobre regiones costeras puede enriquecer los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de organismos terrestres hasta 20‰, llegando a afectar a territorios hasta 30-50 km al interior (Norman *et al.*, 2006) dependiendo de distintos factores topográficos o climáticos (Wadleigh *et al.*, 1996). Sin embargo, a los territorios de interior se les presuponen por lo general valores del  $\delta^{34}\text{S}$  más bajos, pues rocas como las pizarras, lutitas o areniscas tienen niveles más bajos de azufre –con excepción de aquellas regiones interiores con rocas evaporíticas que conservan la señal isotópica del azufre elevada a consecuencia de haber sido formadas por sulfatos marinos millones de años atrás– (Krouse y Mayer, 2000). Asimismo, las condiciones medioambientales de los suelos pueden influenciar también las señales isotópicas del  $\delta^{34}\text{S}$ , incrementándose en paisajes boscosos con alto contenido orgánico y decreciendo en suelos anaeróbicos, como los permafrost, zonas inundadas y terrazas de ríos (Lamb *et al.*, 2023; Stevens *et al.*, 2023).

La extracción de colágeno se llevó a cabo en muestras de entre 500 y 800 mg siguiendo el método de Longin modificado por Richards y Hedges (Longin, 1971; Richards y Hedges, 1999) en el Research Laboratory for Archaeology and the History of Art de la Universidad de Oxford. Las mediciones de los isótopos estables del azufre se realizaron en el laboratorio Sercon Analytical (Crewe, Reino Unido). Una de cada cinco muestras de colágeno se midió por duplicado en un espectrómetro de masas Sercon HS2022 con una precisión analítica para  $\delta^{34}\text{S}$  de  $\pm 0,2\%$  ( $1\sigma$ ). El material de referencia utilizado para el análisis de isótopos de azufre de sus muestras fue IA-R061 (sulfato de bario,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +20,33\%$ ). Para la calibración y corrección de la contribución del  $^{18}\text{O}$  al haz de iones  $\text{SO}^+$  se utilizaron los estándares IA-R061, IA-R025 (sulfato de bario,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +8,53\%$ ) e IA-R026 (sulfuro de plata,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +3,96\%$ ). IA-R061, IA-R025 e IA-R026 son estándares internos calibrados y trazables a NBS-127 (sulfato de bario,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +20,3\%$ ) e IAEA-S-1 (sulfuro de plata,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = -0,30\%$ ). Como controles de calidad se midieron



**Fig. 1:** Mapa con la ubicación de los yacimientos arqueológicos estudiados en este trabajo en el centro-norte de la península ibérica (arriba). Estructura 341 de Los Cascajos (García-Gazóla y Sesma-Sesma 2007); Estructura 4 de Paternanbidea (García-Gazóla y Sesma-Sesma 2007); y Estructura 2 de El Molino de Arriba (Palomino *et al.* 2011) (abajo, de izquierda a derecha). / Map showing the location of the archaeological sites studied in this work in north-central Iberia (top). Structure 341 at Los Cascajos (García-Gazóla y Sesma-Sesma 2007); Structure 4 at Paternanbidea (García-Gazóla y Sesma-Sesma 2007); and Structure 2 at El Molino de Arriba (Palomino *et al.* 2011). (bottom, from left to right).

muestras de prueba de IA-R061, IAEA-SO-5 (sulfato de bario,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +0,50 \text{ ‰}$ ), IA-R068 (proteína de soja,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +5,25 \text{ ‰}$ ) e IA-R069 (proteína de atún,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}} = +18,91 \text{ ‰}$ ). IA-R068 e IA-R069 son estándares internos calibrados y trazables a NBS-127 y IAEA-SO-5. NBS-127, IAEA-S-1 y IAEA-SO-5 son estándares de comparación entre laboratorios distribuidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con valores de  $\delta^{34}\text{S}$  aceptados internacionalmente. La calidad de los resultados de azufre se evaluó de acuerdo con varios criterios de conservación habituales: %S= 0,15–0,35%, C:S=  $600 \pm 300$ , y N:S=  $200 \pm 100$  (Nehlich y Richards, 2009).

Los análisis estadísticos se realizaron con el software RStudio. Se utilizaron pruebas de Shapiro-Wilk para comprobar si los datos se distribuían normalmente. Se emplearon pruebas *t* de Student para comparar las medias entre dos grupos de muestra cuando los datos no se desviaban significativamente de una distribución normal, y la prueba no paramétrica *U* de Mann-Whitney cuando sí lo hacían. Por último, se utilizaron los coeficientes de correlación  $r^2$  de Pearson y  $\rho$  de Spearman para evaluar las correlaciones, siendo el último más apropiado para relaciones no lineales. Se utilizó un nivel de significación de  $\alpha = 0,05$  para todas las pruebas estadísticas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Preservación del colágeno

Los resultados isotópicos de  $\delta^{34}\text{S}$  y los indicadores de calidad del colágeno de las muestras analizadas pueden ser consultados en la Tabla I. La mayoría de las 57 muestras analizadas proporcionaron unos valores de acuerdo con los criterios de calidad mencionados anteriormente. No obstante, 12 muestras presentaron unos valores de %S, C:S o N:S levemente por debajo o por encima de los límites generalmente aceptados. Diez de ellas pertenecen a Los Cascajos (cuatro humanos, tres bóvidos y tres ovicaprinus), y las restantes provienen de dos humanos de El Molino de Arriba y El Prado. Se ha valorado los efectos de incluir o excluir estas muestras en los análisis subsiguientes. En primer lugar, no se han identificado correlaciones entre las ratios de %S, C:S o N:S y los valores de  $\delta^{34}\text{S}$ , por lo que estos indicadores no determinan los resultados de azufre. Por otro lado, los valores promedio de  $\delta^{34}\text{S}$  de las muestras con indicadores fuera de los márgenes aceptados no resultaron ser significativamente diferentes de aquellas que mostraban unos indicadores considerados como válidos. Y, por último, los resultados derivados de las correlaciones entre  $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$ , así como las comparaciones estadísticas de los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  entre especies, incluyendo o excluyendo dichas muestras, fueron sustancialmente similares. Por estos motivos, se ha decidido mantener estas muestras.

#### 3.2. Valores de isótopos estables del azufre en fauna

Los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  obtenidos en las muestras de fauna muestran un rango relativamente restringido, fluctuando entre 5,9‰ y 9,9‰. En Los Cascajos se analizaron siete bóvidos con un valor medio de  $\delta^{34}\text{S}$  de 7,9‰ ( $\sigma = 1$ ), cinco ovicaprinus con un valor medio de 8,5‰ ( $\sigma = 1,1$ ) y un équido con un valor de 5,9‰. Por su parte, en Paternanbidea se estudiaron cuatro bóvidos con un valor medio de 7,7‰ ( $\sigma = 0,7$ ), cinco ovicaprinus con un valor medio de 8,3‰ ( $\sigma = 1,3$ ) y un suido con un valor de 6‰. Finalmente, de El Prado proceden un cérvido con un valor de 7,9‰ y un suido con un valor de 7,8‰, y de La Lámpara un ovicaprino con un valor de 8,3‰.

A nivel estadístico, no se han identificado correlaciones entre los valores del  $\delta^{13}\text{C}$  o del  $\delta^{15}\text{N}$  (Fernández-Crespo *et al.*, 2019) y los del  $\delta^{34}\text{S}$  de Los Cascajos, ni en bovinos ( $p = 0,32$ ,  $p = 0,88$ ) ni en ovicaprinus ( $p = 0,69$ ,  $p = 0,14$ ), y de Paternanbidea, ni en bovinos ( $p = 0,21$ ,  $p = 0,92$ ) ni en ovicaprinus ( $p = 0,95$ ,  $p = 0,64$ ). Por último, y a pesar de que se observa que los ovicaprinus tienen unos valores de  $\delta^{34}\text{S}$  ligeramente más altos que los bovinos en ambos yacimientos, no se han detectado diferencias estadísticamente significativas entre ellos, ni en Los Cascajos ( $p = 0,32$ ), ni en Paternanbidea ( $p = 0,46$ ).

#### 3.3. Valores de isótopos estables del azufre en humanos

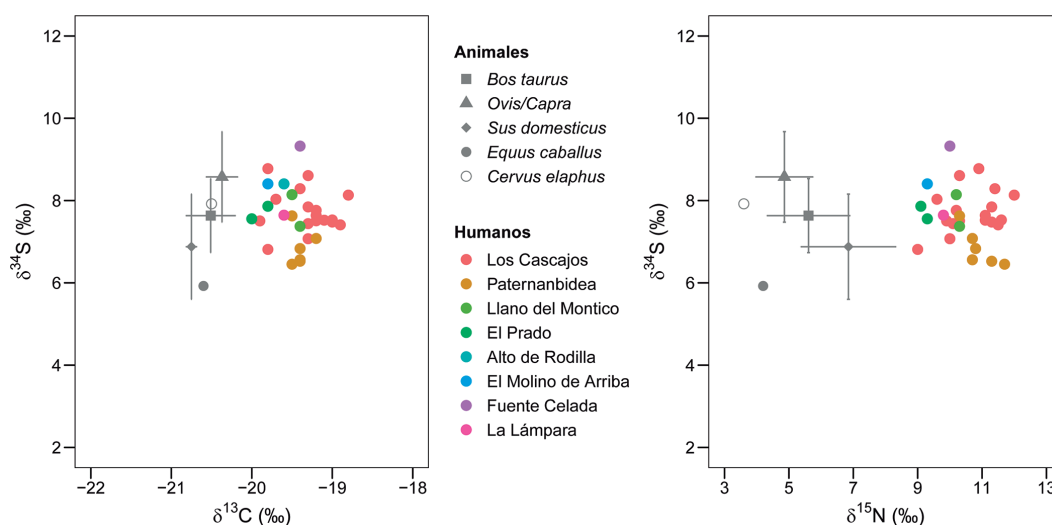
Los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  obtenidos en los humanos muestran también un rango restringido, oscilando entre 6,5‰ y 9,3‰ (Fig. 2). El valor promedio de Los Cascajos se sitúa en 7,7‰ para 17 individuos ( $\sigma = 0,5$ ), el de Paternanbidea en 6,8‰ en para seis individuos ( $\sigma = 0,4$ ), el de Llano del Montico en 7,8‰ para dos individuos ( $\sigma = 0,2$ ) y el de El Prado en 7,7‰ para dos individuos ( $\sigma = 0,5$ ). Igualmente, los individuos aislados de Fuente Celada (9,3‰), El Molino de Arriba (8,4‰), Alto de Rodilla (8,4‰) y La Lámpara (7,3‰), proporcionaron unos valores relativamente homogéneos en el conjunto. No se observan diferencias estadísticamente significativas en función del sexo o la edad de los enterrados ( $p = 0,72$  y  $p = 0,35$ , respectivamente) si se consideran todos los humanos en conjunto. Desafortunadamente, no existe la posibilidad de acometer un análisis intra-site de estas variables dado el pequeño tamaño muestral.

En el caso de los humanos, tampoco se identifica ninguna correlación entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  o  $\delta^{15}\text{N}$  (Fernández-Crespo *et al.*, 2019) y los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  en yacimientos cuyo tamaño muestral permite la aproximación, como Los Cascajos ( $p = 0,73$ ,  $p = 0,19$ ) y Paternanbidea ( $p = 0,95$ ,  $p = 0,06$ ). Por último, se observa que los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de los humanos de Los Cascajos y Paternanbidea no son estadísticamente diferentes de aquellos observados en los bovinos ( $p = 0,73$  y  $p = 0,08$ ) o en los ovicaprinus ( $p = 0,19$  y  $p = 0,05$ ) de cada

Yacimiento	Localización	Código muestra	Estructura	Especie	Edad	SEXO	δ <sup>34</sup> S	%S	C:S	N:S
Los Cascajos	Navarra	CAS3	33	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	7,5	0,24	412,4	126,0
Los Cascajos	Navarra	CAS4	48	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	7,1	0,30	320,9	97,3
Los Cascajos	Navarra	CAS5	48	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	F	7,5	0,35	186,3	53,4
Los Cascajos	Navarra	CAS7	90	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	7,4	0,30	309,3	94,5
Los Cascajos	Navarra	CAS9	179	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	7,4	0,24	488,8	151,5
Los Cascajos	Navarra	CAS10	180	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	7,5	0,24	384,2	117,8
Los Cascajos	Navarra	CAS11	181	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	8,1	0,19	849,3	265,2
Los Cascajos	Navarra	CAS13	183	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	7,5	0,21	535,8	161,6
Los Cascajos	Navarra	CAS15	193	<i>Homo sapiens</i>	Adolescente	M	7,6	0,23	457,1	141,5
Los Cascajos	Navarra	CAS16	193	<i>Homo sapiens</i>	Infantil	Indet.	8,8	0,38	203,1	59,0
Los Cascajos	Navarra	CAS17	194	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	7,8	0,29	372,3	113,2
Los Cascajos	Navarra	CAS18	195	<i>Homo sapiens</i>	Adulto	M	8,0	0,24	441,0	136,2
Los Cascajos	Navarra	CAS22	202	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	8,6	0,26	381,3	125,2
Los Cascajos	Navarra	CAS23	205	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	Indet.	7,8	0,25	397,0	120,8
Los Cascajos	Navarra	CAS27	258	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	F	8,3	0,23	433,1	131,9
Los Cascajos	Navarra	CAS28	262	<i>Homo sapiens</i>	Adulto	Indet.	7,5	0,22	495,9	151,1
Los Cascajos	Navarra	CAS29	263	<i>Homo sapiens</i>	Adulto	Indet.	6,8	0,23	396,0	121,5
Los Cascajos	Navarra	CAS34	25	<i>Bos taurus</i>	Adulto		9,7	0,19	419,4	126,8
Los Cascajos	Navarra	CAS35	150	<i>Bos taurus</i>	Adulto		8,3	0,17	558,4	172,2
Los Cascajos	Navarra	CAS36	96	<i>Bos taurus</i>	Adulto		8,0	0,24	464,0	138,0
Los Cascajos	Navarra	CAS38	166	<i>Equus caballus</i>	Indeterminado		5,9	0,19	530,8	165,6
Los Cascajos	Navarra	AT176	572	<i>Bos taurus</i>	Adulto		6,6	0,34	252,6	75,1
Los Cascajos	Navarra	AT177	572	<i>Bos taurus</i>	Adulto		8,1	0,65	114,5	33,2
Los Cascajos	Navarra	AT178	214	<i>Bos taurus</i>	Adulto		7,0	0,23	349,2	101,1
Los Cascajos	Navarra	AT179	214	<i>Bos taurus</i>	Adulto		7,4	0,22	326,5	93,3
Los Cascajos	Navarra	AT180	572	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		8,9	0,21	502,2	153,5
Los Cascajos	Navarra	AT182	572	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		9,5	0,45	204,9	60,4
Los Cascajos	Navarra	AT185	214	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		9,0	0,18	630,6	186,9
Los Cascajos	Navarra	AT187	572	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Subadulto		6,6	0,35	179,8	53,1
Los Cascajos	Navarra	AT188	572	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		8,6	0,64	82,7	22,9
Paternanbidea	Navarra	PAT3	E1	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	6,6	0,19	513,2	158,5
Paternanbidea	Navarra	PAT4	E1	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	F	6,8	0,19	485,0	149,5
Paternanbidea	Navarra	PAT5	E1	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	F	7,1	0,21	456,8	140,0
Paternanbidea	Navarra	PAT6	E2	<i>Homo sapiens</i>	Adolescente	F	7,6	0,19	360,7	103,5
Paternanbidea	Navarra	PAT8	E3	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	6,5	0,18	553,2	166,0
Paternanbidea	Navarra	PAT9	E4	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	F	6,5	0,20	530,3	161,2
Paternanbidea	Navarra	PAT10	E1	<i>Bos sp</i>	Adulto		7,3	0,17	615,0	190,8
Paternanbidea	Navarra	PAT12	E1	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		6,6	0,17	698,5	216,3
Paternanbidea	Navarra	PAT13	E2	<i>Bos sp</i>	Subadulto		8,6	0,19	590,0	183,3
Paternanbidea	Navarra	PAT14	E2	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		9,2	0,17	634,7	195,9
Paternanbidea	Navarra	PAT15	E2	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Subadulto		9,9	0,18	624,7	193,7
Paternanbidea	Navarra	PAT16	E3	<i>Bos sp</i>	Adulto		7,9	0,21	514,1	158,8
Paternanbidea	Navarra	PAT17	E3	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Subadulto		7,3	0,20	475,8	142,4
Paternanbidea	Navarra	PAT19	E3	<i>Sus sp</i>	Adulto		6,0	0,18	572,7	173,6
Paternanbidea	Navarra	PAT20	E4	<i>Bos sp</i>	Subadulto		7,0	0,24	457,9	139,8
Paternanbidea	Navarra	PAT21	E4	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Subadulto		8,4	0,20	511,3	158,6

Yacimiento	Localización	Código muestra	Estructura	Especie	Edad	SEXO	$\delta^{34}\text{S}$	%S	C:S	N:S
Llano del Montico	Navarra	MON2	6	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	8,1	0,15	511,8	154,3
Llano del Montico	Navarra	MON3	6	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	M	7,4	0,16	621,6	190,3
El Prado	Burgos	PRA2	6	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	F	7,6	0,22	377,1	112,9
El Prado	Burgos	PRA3	14	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	F	7,9	0,34	241,0	72,0
El Prado	Burgos	PRA4	6	<i>Sus sp</i>	Indeterminado		7,8	0,23	381,6	116,2
El Prado	Burgos	PRA5	14	<i>Cervus elaphus</i>	Indeterminado		7,9	0,25	358,7	118,9
Alto de la Rodilla	Burgos	ROD2	2	<i>Homo sapiens</i>	Adulto joven	M	8,4	0,17	588,9	180,2
Molino de Arriba	Burgos	MOL2	S2	<i>Homo sapiens</i>	Adolescente	M	8,4	0,14	466,7	138,8
Fuente Celada	Burgos	FUE2	62	<i>Homo sapiens</i>	Adulto senil	M	9,3	0,17	477,6	143,6
La Lámpara	Soria	LAM2	H1	<i>Homo sapiens</i>	Adulto medio	F	7,6	0,18	510,9	151,2
La Lámpara	Soria	LAM3	H1	<i>Ovis aries/Capra hircus</i>	Adulto		8,3	0,20	582,9	171,9

**Tabl. 1:** Resultados de los isótopos estables de  $\delta^{34}\text{S}$  de muestras humanas y animales por yacimientos. En cursiva, los indicadores de calidad de las muestras fuera de los márgenes aceptados. Rangos de edad: Infantil (3-12), Adolescente (13-19), Adulto joven (20-34), Adulto medio (35-49) y Adulto senil (+50). /  $\delta^{34}\text{S}$  stable isotope results from human and animal samples by site. Sample quality indicators outside the accepted ranges are shown in italics. Age ranges: Childhood (3-12), Adolescent (13-19), Young adult (20-34), Middle adult (35-49), and Old adult (+50).



**Fig. 2:** Biplots con los valores de isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{34}\text{S}$ , y  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  de humanos y animales. Los valores de fauna de los yacimientos se agrupan por especie y se muestran con su desviación estándar. / Biplots showing the stable isotope values of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{34}\text{S}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{34}\text{S}$ , for humans and animals. Faunal values from the sites are grouped by species and shown with their standard deviation.

yacimiento, respectivamente, pese a que los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de los humanos sean más similares a los de los bovinos que a los de los ovicaprinos.

#### 4. DISCUSIÓN

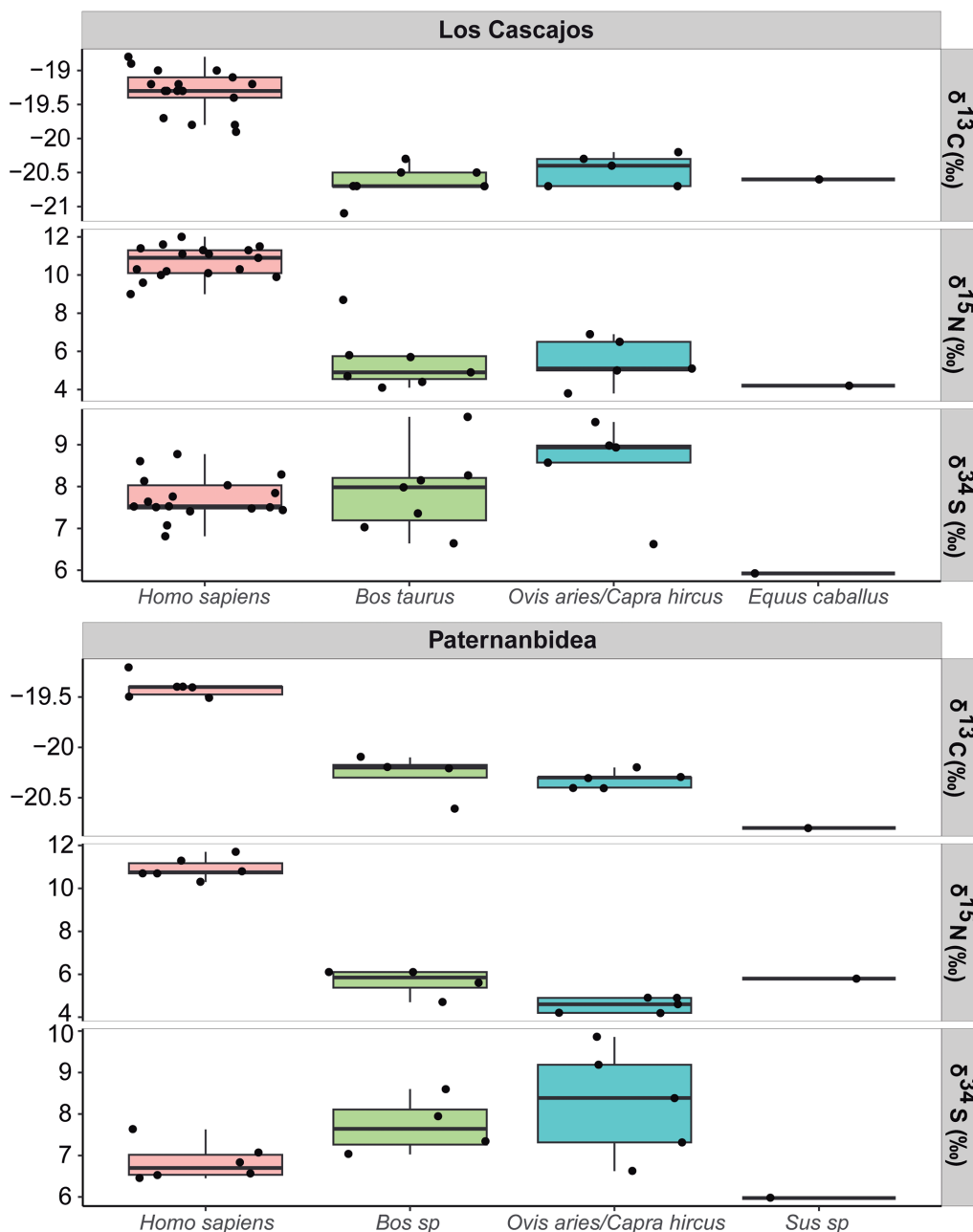
Los valores medios de  $\delta^{34}\text{S}$  de humanos y animales de los yacimientos analizados son considerablemente bajos, con lo que ninguno parece verse afectado por aerosoles marinos, como es el caso de Los Avellanos I y II y El Espinoso, únicos yacimientos de la costa cantábrica con valores de  $\delta^{34}\text{S}$  publicados hasta la fecha (González-Rabanal *et al.*, 2020; 2022). Esto es consistente con la idea de que tanto humanos como animales habitaron y explotaron regiones de interior, siendo el centro-norte peninsular un área empobrecida en azu-

fre. Estos datos son coherentes con los obtenidos en el yacimiento neolítico antiguo del interior mediterráneo de la Cova de la Sarsa (Salazar-García *et al.*, 2023). Los valores  $\delta^{34}\text{S}$  obtenidos son relativamente homogéneos, con unas desviaciones estándares pequeñas y con gran coherencia entre los valores humanos y faunísticos. De tal manera, son consistentes con grupos con una movilidad relativamente reducida o, en cualquier caso, loco-regional y sin explotación de territorios litorales o interiores afectados por espray marino o rocas evaporíticas, y sin migrantes aparentes.

Curiosamente, los valores isotópicos del azufre no se correlacionan con los de carbono y nitrógeno como sería esperable a tenor de la correlación positiva detectada previamente entre los últimos (Fernández-Crespo *et al.*, 2019). Por tanto, *a priori*, parece descartarse

la idea de que aquellos individuos con una dieta más cárnica o rica en productos lácteos habitasen parte del año en isozonas más ricas en azufre, como las litorales, o tuvieran una movilidad que conllevara desplazamientos estacionales en altura vinculados a prácticas pastoriles (Antolín *et al.*, 2018). Sin embargo, ha de recordarse que la señal isotópica del  $\delta^{34}\text{S}$  en colágeno óseo muestra la alimentación promedio (y, por ende, el paisaje explotado) durante la última década de vida (Hedges *et al.*, 2007), quedando atenuada toda posible señal de movimientos temporales a isozonas distintas, e invisibilizada la de aquellos a isozonas con similares valores isotópicos.

A este respecto, quizá sean más elocuentes los valores del  $\delta^{34}\text{S}$  de los ovicaprinos; ligeramente más altos –pero no significativamente diferentes posiblemente por el pequeño tamaño muestral– que los de los humanos y bovinos en Los Cascajos y Paternanbidea (Fig. 3). Esta evidencia sugiere que los ovicaprinos permanecían una buena parte de su vida en una isozona ligeramente más rica en azufre que los humanos y los bovinos. Recientes estudios han señalado que los valores isotópicos altos del  $\delta^{34}\text{S}$  son más habituales en altitudes elevadas, mientras que los más bajos son característicos de zonas endorreicas (Lamb *et al.*, 2023). De esta manera, resulta lógico suponer una explotación



**Fig. 3:** Diagramas de caja con los valores de isótopos estables de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  de humanos y animales en Los Cascajos y Paternanbidea. / Box plots showing the stable isotope values of  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{34}\text{S}$  of humans and animals from Los Cascajos and Paternanbidea.

ganadera diferente para estas especies, en la que los ovicaprinus se alimentarían preferentemente de pastos en altura, mientras que los bovinos lo harían en prados no muy alejados de los poblados. En cualquier caso, vistos los valores humanos coherentes con una explotación prioritaria de recursos de áreas endorreicas, no parece que estemos vislumbrando movimientos ganaderos a larga distancia que impliquen un desplazamiento estacional como el observado en el yacimiento pirenaico neolítico antiguo de Els Trocs (Tejedor-Rodríguez *et al.*, 2021), sino más bien una movilidad a corta/media distancia –posiblemente diaria o muy recurrente– a zonas altas cercanas a los poblados, que posiblemente solo afectase a los rebaños de ovejas y/o cabras y a sus pastores.

En cualquier caso, no hay evidencia de que el acceso diferencial a la proteína animal de herbívoros lactantes o productos lácteos dependiera de la posición social de los inhumados, su sexo o edad, al no existir diferencias significativas entre el tipo de sepulturas o los ajuares funerarios y los valores de isótopos estables del carbono y nitrógeno (Fernández-Crespo *et al.*, 2019), y ahora tampoco del azufre (este trabajo).

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis de isótopos estables del azufre obtenidos en humanos del Neolítico antiguo y medio del centro-norte peninsular son coherentes con los de la fauna local disponible, e indican que eran poblaciones que desarrollaban sus modos de vida preferentemente en regiones de interior. No se han identificado personas migrantes dentro de estas comunidades, lo que parece indicar su carácter eminentemente local y apunta a un tipo de subsistencia con explotación del paisaje relativamente restringida. Tampoco se han observado correlaciones entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  y los de  $\delta^{34}\text{S}$  que permitan apoyar la idea de que las diferencias en el consumo de proteína animal observadas en estudios anteriores en los individuos de Los Cascajos y Paternanbidea se deban a un mayor consumo de carne y/o productos lácteos resultante de la especialización económica pastoril de algunos individuos. Sin embargo, también es cierto que esta hipótesis solo podría confirmarse a través de los análisis de isótopos estables del azufre sobre colágeno óseo en el supuesto de que dicho modelo económico se vinculara a una movilidad estacional de largo alcance, incluyendo importantes movimientos en altura o a zonas costeras con una señal isotópica del azufre sustancialmente diferente, y no parece ser el caso. No obstante, los ovicaprinus muestran valores de  $\delta^{34}\text{S}$  superiores a los de los humanos y bovinos, lo que permite sugerir un modelo dual de explotación ganadera, con los ovicaprinus pastando y ramoneando preferentemente en zonas altas, posiblemente del entorno de los poblados, y los bovinos alimentándose en los valles donde estos se ubican.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este trabajo son parte de la ayuda JDC2022-048798-I, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea «NextGeneration EU»/PRTR al proyecto *ARCANO* (B.G-R.), y de la actuación CNS2022-136080 financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea «NextGeneration EU»/PRTR al proyecto *ISOPRINT* (T.F-C.). Agradecemos a M. Á. Rojo-Guerra, J. Sesma-Sesma, J. García-Gazólaz, C. Alonso-Fernández, J. Jiménez-Echevarría, E. Carmona y A. L. Palomino la facilitación del material bioarqueológico, y, particularmente, a P. Arias y R. J. Schulting el soporte financiero y logístico que posibilitaron los análisis isotópicos originales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alameda Cuenca-Romero, M. del C., Carmona Ballester, E., Pascual Blanco, S., Martínez Díez, G., Díez Pastor, C., 2011. El “campo de hoyos” calcolítico de Fuente Celada (Burgos): datos preliminares y perspectivas. *Complutum* 22, 47-69.
- Alonso-Fernández, C., 2017. Vida y muerte en el asentamiento del Neolítico Antiguo de El Prado (Pancorbo, Burgos) : construyendo el Neolítico en la Península Ibérica. *BAR International Series* 2876.
- Alonso-Fernández, C., Jiménez-Echevarría, J., 2015. El neolítico en el corredor Alto Ebro-Alto Duero: dos hallazgos funerarios del Neolítico Antiguo y Reciente en Monasterio de Rodilla (Burgos). En: 5.º Congreso do Neolítico Peninsular. Actas: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 7-9 abril 2011. Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa: estudos & memórias, 540-546.
- Alt, K. W., Zesch, S., Garrido-Pena, R., Knipper, C., Szécsényi-Nagy, A., Roth, C., Tejedor-Rodríguez, C., Held, P., García-Martínez-de-Lagrán, Í., Navitainuck, D., Arcusa Magallón, H., Rojo-Guerra, M. A., 2016. A Community in Life and Death: The Late Neolithic Megalithic Tomb at Alto de Reinoso (Burgos, Spain). *PloS One* 11(1), 1–32.
- Altuna, J., Mariezkurrena, K., 2009. Tipos de cabañas ganaderas durante el Neolítico del País Vasco y zonas próximas. *Archaeofauna* 18, 137-157.
- Antolín, F., Navarrete, V., Saña, M., Viñerta, A., Gassiot, E., 2018. Herders in the Mountains and Farmers in the Plains? A Comparative Evaluation of the Archaeobiological Record from Neolithic Sites in the Eastern Iberian Pyrenees and the Southern Lower Lands. *Quaternary International* 484, 75-93.
- Craig, O.E., Ross, R., Andersen, S.H., Milner, N., Bailey, G.N., 2006. Focus: sulphur isotope variation in archaeological marine fauna from northern Europe. *Journal of Archaeological Science* 33, 1642-1646.
- Cubas, M., Peyroteo-Stjerna, R., Fontanals-Coll, M., Llorente-Rodríguez, L., Lucquin, A., Craig, O.E., Colonese, A.C., 2019. Long-term dietary change in Atlantic and Mediterranean Iberia with the introduction of agriculture: a stable isotope perspective. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 3825-3836.
- Fernández-Crespo, T., Ordoño, J., Schulting, R.J., 2021. Subsistence shift and socio-economic response to cultural and cli-

- mate changes among north-central Iberian megalithic groups. *Journal of Archaeological Science* 133, 1-12.
- Fernández-Crespo, T., Schulting, R. J., 2017. Living different lives: Early social differentiation identified through linking mortuary and isotopic variability in Late Neolithic/ Early Chalcolithic north-central Spain. *PLoS One* 12(9), 1-19.
- Fernández-Crespo, T., Schulting, R.J., Ordoño, J., Rojo-Guerra, M.A., Sesma-Sesma, J., García-Gazólaz, J., Altuna, J., Mariezkurrena, K., Arias, P., 2019. Isotopic evidence of strong reliance on animal foods and dietary heterogeneity among Early-Middle Neolithic communities of Iberia. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 5463-5481.
- Fernández-Crespo, T., Snoeck, C., Ordoño, J., de Winter, N., Czermak, A., Mattioli, N., Lee-Thorp, J. A., Schulting, R. J., 2020. Multi-isotope evidence for the emergence of cultural alterity in Late Neolithic Europe. *Science Advances* 6 (4), eaay2169.
- García-Gazólaz, J., 2007. Los enterramientos neolíticos del yacimiento de Paternanbidea (Ibero). En: Sesma Sesma, J., Tabar Sarrías, M.I., García-Gazólaz, J. (Eds.), *La tierra te sea leve. Arqueología de la muerte en Navarra*, 59-65. Museo de Navarra.
- García-Gazólaz, J., Sesma-Sesma, J., 2007. Enterramientos en el poblado neolítico de Los Cascajos (Los Arcos). En: Sesma Sesma, J., Tabar Sarrías, M.I., García-Gazólaz, J. (Eds.), *La tierra te sea leve. Arqueología de la muerte en Navarra*, 52-58. Gobierno de Navarra, Pamplona.
- González-Rabanal, B., Marín-Arroyo, A.B., Cristiani, E., Zupančič, A., González Morales, M.R., 2022. The arrival of millets to the Atlantic coast of northern Iberia. *Scientific reports* 12, 18589.
- González-Rabanal, B., Marín-Arroyo, A.B., Jones, J.R., Agudo Pérez, L., Vega-Maeso, C., González Morales, M.R., 2020. Diet, mobility and death of Late Neolithic and Chalcolithic groups of the Cantabrian Region (northern Spain). A multidisciplinary approach towards studying the Los Avellanos I and II burial caves. *Journal of Archaeological Science: Reports* 34, 1-13.
- Hedges, R.E.M., Clement, J.G., Thomas, C.D.L., O'Connell, T.C., 2007. Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. *American Journal of Physical Anthropology* 133, 808-816.
- Jones, J.R., Maeso, C.V., Ballester, E.C., Martín, L.V., Arceo, M.E.D., Marín-Arroyo, A.B., 2019. Investigating prehistoric diet and lifeways of early farmers in central northern Spain (3000–1500 CAL BC) using stable isotope techniques. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 3979-3994.
- Krouse, H.R., Mayer, B., 2000. Sulphur and Oxygen Isotopes in Sulphate. En: Cook, P.G., Herczeg, A.L. (Eds.), *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*, 195-231. Springer, Boston.
- Lamb, A.L., Chenery, C.A., Madgwick, R., Evans, J.A., 2023. Wet feet: developing sulfur isotope provenance methods to identify wetland inhabitants. *Royal Society open science* 10, 230391.
- Longin, R., 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* 230, 241-242.
- Nehlich, O., 2015. The application of sulphur isotope analyses in archaeological research: A review. *Earth Science Reviews* 142, 1-17.
- Nehlich, O., Richards, M.P., 2009. Establishing collagen quality criteria for sulphur isotope analysis of archaeological bone collagen. *Archaeological and Anthropological Sciences* 1, 59-75.
- Norman, A.L., Anlauf, K., Hayden, K., Thompson, B., Brook, J.R., Li, S.M., Bottenheim, J., 2006. Aerosol sulphate and its oxidation on the Pacific NW coast: S and O isotopes in PM2.5. *Atmospheric Environment* 40, 2676-2689.
- Palomino, Á.L., Rojo-Guerra, M.A., Garrido-Pena, R., García Martínez-de-Lagrán, Í., Alday Ruiz, A., García-Gazólaz, J., Sesma-Sesma, J., 2011. El Molino de Arriba (Buniel, Burgos). *Sagvntvm* 12, 113-116.
- Peña-Chocarro, L., Pérez-Jordà, G., Morales, J., 2018. Crops of the first farming communities in the Iberian Peninsula. *Quaternary International: The Journal of the International Union for Quaternary Research* 470, 369–382.
- Privat, K.L., O'Connell, T.C., Hedges, R.E.M., 2007. The distinction between freshwater- and terrestrial-based diets: methodological concerns and archaeological applications of sulphur stable isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* 34, 1197-1204.
- Richards, M.P., 2023. Sulphur Isotope Ratios of Archaeological Human Collagen as a Mobility Indicator. En: Price, T.D. (Ed.), *Isotopic Provenancing and Mobility: The Current State of Research*, 187-197. Springer International Publishing, Cham.
- Richards, M.P., Hedges, R.E.M., 1999. Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites Along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science* 26, 717-722.
- Rojo-Guerra, M.Á., García Martínez de Lagrán, Í., Garrido-Pena, R., Tejedor, C., Subirà, M.E., García-Gazólaz, J., Sesma-Sesma, J., Gibaja, J.F., Unzu, M., Palomino, Á.L., Jiménez, I., Arroyo, E., Arcusa, H., 2016. Enterramientos del Neolítico antiguo en el interior peninsular: nuevos datos para una actualización de la evidencia empírica. En: Bonet Rosado, H. (Ed.), *Del Neolítico a l'Edat de Bronze en el Mediterrani occidental: estudis en homenatge a Bernat Martí Oliver*, 180-210. Museu de Prehistòria de València, València.
- Rojo-Guerra, M.Á., García-Martínez de Lagrán, I., Royo-Guillén, J.I., 2018. The beginning of the Neolithic in the mid-Ebro valley and in Iberia's inland (northern and southern Submeseta), Spain. *Quaternary international* 470, 398-438.
- Rojo-Guerra, M.Á., Kunst, M., Garrido-Pena, R., García-Martínez de Lagrán, I., Morán-Dauchez, G., 2008. Paisajes de la memoria: asentamientos del neolítico antiguo en el Valle de Ambrona (Soria, España). Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.
- Salazar-García, D. C., García-Borja, P., Talamo, S., Richards, M. P., 2023. Rediscovering Cova de la Sarsa (València, Spain): A Multidisciplinary Approach to One of the Key Early Neolithic Sites in the Western Mediterranean. *Heritage* 6(10), 6547-6569.
- Sarasketa-Gartzia, I., Villalba-Mouco, V., Le Roux, P., Arrizabalaga, Á., Salazar-García, D.C., 2019. Anthropogenic resource exploitation and use of the territory at the onset of social complexity in the Neolithic-Chalcolithic Western Pyrenees: a multi-isotope approach. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 3665-3680.
- Stevens, R., Reade, H., Sayle, K., Tripp, J., Frémondeau, D., Lister, A., Barnes, I., Germonpré, M., Street, M., Murton, J., Bottrell, S., Higham, T., 2023. Major excursions in sulfur isotopes linked to permafrost change in Eurasia during the last

50,000 Years. Research Square. [Hhttps://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2556240/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2556240/v1)

Tejedor-Rodríguez, C., Moreno-García, M., Tornero, C., Hoffmann, A., García-Martínez de Lagrán, Í., Arcusa-Magallón, H., Garrido-Pena, R., Royo-Guillén, J.I., Díaz-Navarro, S., Peña-Chocarro, L., Alt, K.W., Rojo-Guerra, M., 2021. Investigating Neolithic caprine husbandry in the Central Pyrenees: Insights from a multi-proxy study at Els Trocs cave (Bisaurri, Spain). *PLoS one* 16, e0244139.

Villalba-Mouco, V., Utrilla, P., Laborda, R., Lorenzo, J.I., Martínez-Labarga, C., Salazar-García, D.C., 2018. Reconstruction of human subsistence and husbandry strategies from the Iberian Early Neolithic: A stable isotope approach. *American Journal of Physical Anthropology* 167, 257-271.

Wadleigh, M.A., Schwarcz, H.P., Kramer, J.R., 1996. Isotopic evidence for the origin of sulphate in coastal rain. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology* 48, 44-59.