

# takurunna

NÚMEROS 10/11 • AÑOS 2020/21 • ISSN 2253-6191

[ ANUARIO DE ESTUDIOS SOBRE  
RONDA Y LA SERRANÍA ]

ESTUDIOS EN HOMENAJE AL ARQUEÓLOGO  
PEDRO CANTALEJO DUARTE

José Ramos Muñoz  
Virgilio Martínez Enamorado  
Francisco Siles Guerrero  
(EDITORES)



# takurunna

NÚMEROS 10/11 • AÑOS 2020/21 • ISSN 2253-6191

## CONSEJO CIENTÍFICO

FATIHA BENLABBAH (Instituto Hispano-Luso de Rabat)  
ROSARIO CAMACHO MARTÍNEZ (Universidad de Málaga)  
JUAN ANTONIO CHAVARRÍA VARGAS (Universidad Complutense de Madrid)  
MERCEDES GAMERO ROJAS (Universidad Sevilla)  
EDUARDO GARCÍA ALFONSO (Consejería de Cultura, Junta de Andalucía)  
MARÍA LUISA GÓMEZ MORENO (Universidad de Málaga)  
JOSÉ GÓMEZ ZOTANO (Universidad de Granada)  
JUAN ANTONIO MARTÍN RUIZ (Academia Andaluza de la Historia)  
DIRCE MARZOLI (Instituto Arqueológico Alemán)  
MANUEL MORENO ALONSO (Universidad de Sevilla)  
JOSÉ RAMOS MUÑOZ (Universidad de Cádiz)  
FÉLIX RETAMERO SERRALVO (Universitat Autònoma de Barcelona)  
SALVADOR RODRÍGUEZ BECERRA (Universidad de Sevilla)  
JUAN ANTONIO SÁNCHEZ LÓPEZ (Universidad de Málaga)

## CONSEJO DE REDACCIÓN

ÁNGEL IGNACIO AGUILAR CUESTA - PEDRO CANTALEJO DUARTE  
JOSÉ ANTONIO CASTILLO RODRÍGUEZ  
JOSÉ MARÍA GUTIÉRREZ LÓPEZ - IGNACIO HERRERA DE LA MUELA  
LUIS IGLESIAS GARCÍA - MANUEL JIMÉNEZ PULIDO  
RAFAEL VALENTÍN LÓPEZ FLORES - ESTEBAN LÓPEZ GARCÍA  
ALFONSO PRADO ARTIACH - EULOGIO RODRÍGUEZ BECERRA  
JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ CALVENTE - MARÍA ANTONIA SALAS ORGANVÍDEZ  
PEDRO SIERRA DE CÓZAR - MARÍA DE LA PAZ TENORIO GONZÁLEZ

## EDITORES

JOSÉ MANUEL DORADO RUEDA (Editorial La Serranía)  
JOSÉ ANTONIO CASTILLO RODRÍGUEZ (Instituto de Estudios de Ronda y la Serranía)

## DIRECTOR

FRANCISCO SILES GUERRERO

## VICEDIRECTOR

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO

## SECRETARIO

SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ



# ÍNDICE

---

## TESTIMONIOS DE AFECTO Y AMISTAD

<i>Homenaje y reconocimiento al amigo y compañero Pedro Cantalejo Duarte con motivo de su jubilación. Reflexiones sobre investigación de base, gestión, conservación y socialización del Patrimonio Histórico.</i> JOSÉ RAMOS MUÑOZ .....	13
<i>El hombre que leía las cuevas.</i> VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO .....	99
<i>Amigo y colega Pedro Cantalejo.</i> EUDALD CARBONELL .....	103
<i>¿Tienes un bolígrafo para mí? Encuentros con Pedro Cantalejo.</i> GERD-CHRISTIAN WENIGER .....	105
<i>¿Para qué va a ser? Las hicieron para que nosotros las viéramos.</i> MANUEL PIMENTEL SILES .....	107
<i>El maestro del laberinto.</i> MANUEL ALONSO NAVARRO ESPINOSA .....	111
<i>Laudatio a Pedro Cantalejo 2022.</i> JOSÉ ENRIQUE MÁRQUEZ ROMERO, JOSÉ SUÁREZ PADILLA Y VÍCTOR JIMÉNEZ JÁIMEZ .....	115
<i>Dedicatoria personal.</i> LIDIA CABELLO LIGERO .....	117
<i>Testimonio de afecto a Pedro Cantalejo.</i> EDUARDO VIJANDE VILA .....	119
<i>Testimonio de afecto y amistad a Pedro Cantalejo.</i> ADOLFO MORENO MÁRQUEZ .....	121

<i>Notas de reconocimiento a Pedro Cantalejo por la amistad profesada y aportación científica a la arqueología malagueña.</i> ÁNGEL RECIO RUIZ .....	123
<i>Un bonito Camino.</i> CARLOS VASSEROT ANTÓN .....	127
<i>A Pedro Cantalejo, maestro y guía en la oscuridad de los inicios.</i> SERAFÍN BECERRA MARTÍN .....	133
<i>Homenaje a Pedro Cantalejo.</i> ALEJANDRO MUÑOZ MUÑOZ .....	143
<i>Testimonio de gratitud a Pedro Cantalejo Duarte.</i> IKER LAISEKA URÍA .....	147
<i>Amigo y colega Pedro Cantalejo.</i> MANUEL BECERRA PARRA .....	149
<i>Testimonio de agradecimiento a Pedro Cantalejo de sus compañeros del Museo y Cueva de Ardales.</i> GERARDO ANAYA PAZ ET ALII.....	153
<i>A Pedro Cantalejo Duarte.</i> TONI CIFUENTES ET ALII .....	163

## ARTÍCULOS

<i>Evolución del asentamiento humano en la región de Aïn Beni Mathar-Guefaït (Jerada, Marruecos Oriental). Investigaciones recientes y cartografía del poblamiento humano al norte del Sáhara.</i> ROBERT SALA-RAMOS ET ALII .....	179
<i>Sobre el origen hipogenético de la Cueva de Ardales y otras cavidades de la Serrezuela y su relación con las aguas sulfurosas de los Baños de Carratraca (Málaga).</i> JUAN JOSÉ DURÁN VALSERO ET ALII .....	205
<i>Cueva de Ardales: un caso de estudio para comprender el papel simbólico de las cuevas en el Paleolítico medio.</i> AFRICA PITARCH MARTÍ, FRANCESCO D'ERRICO Y JOÃO ZILHÃO .....	219

<i>La divulgación de la Cueva de Ardales y la prensa escrita local.</i> JUAN CARLOS DÍEZ FERNÁNDEZ-LOMANA .....	243
<i>Las manos positivas del arte rupestre paleolítico en la Península Ibérica.</i> HIPÓLITO COLLADO GIRALDO .....	255
<i>A vueltas con la Cueva de Atlánterra (Zahara de los Atunes, Cádiz, Andalucía): Una propuesta cronológica de su registro gráfico paleolítico desde el reestudio parietal y los enclaves arqueológicos circundantes.</i> DIEGO SALVADOR FERNÁNDEZ SÁNCHEZ .....	315
<i>La Cueva del Haza (Ramales de la Victoria, Santander).</i> JOAQUÍN EGUIZABAL TORRE Y JOSÉ M. <sup>a</sup> CEBALLOS DEL MORAL .....	361
<i>Reconstructing social networks through Palaeolithic art: graphic interactions in the Later Magdalenian.</i> MARCOS GARCÍA-DÍEZ ET ALII .....	367
<i>La conservación de la Cueva de Nerja desde la perspectiva de la investigación interdisciplinar en el marco de su proyecto general de investigación.</i> LUIS-EFRÉN FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, YOLANDA DEL ROSAL PADIAL Y CRISTINA LIÑÁN BAENA .....	387
<i>La convención de patas paralelas divergentes de la cabra M-4 de la Cova de les Meravelles. Una aproximación a su significación estilística y al papel de las representaciones de cabras en el arte Pre-magdalenense.</i> ANA CANTÓ Y VALENTÍN VILLAVERDE .....	419
<i>Agujas de hueso del extremo occidental de Eurasia: los datos del Paleolítico de Andalucía (España).</i> J. EMILI AURA TORTOSA, VANESSA EXTREM MEMBRADO Y JESÚS F. JORDÁ PARDO ...	449
<i>Aproximación al estudio de las materias primas líticas del Paleolítico de la comarca del río Guadalteba (Málaga).</i> LIDIA CABELLO LIGERO ET ALII .....	465
<i>El papel de los moluscos marinos y de agua dulce en las sociedades prehistóricas de la comarca del Guadalteba (provincia de Málaga). Una visión en proceso histórico.</i> JUAN JESÚS CANTILLO DUARTE Y SERAFÍN BECERRA MARTÍN .....	485
<i>La ocupación del ámbito de la bahía de Málaga entre el VI y el III milenio a. n. e.: Estado de la cuestión.</i> SERAFÍN BECERRA MARTÍN, JOSÉ SUÁREZ PADILLA Y JOSÉ ANTONIO SANTAMARÍA GARCÍA .....	519

¿Por qué hacemos lo que hacemos?

ASSUMPCIÓ VILA MITJÀ Y JORDI ESTÉVEZ ESCALERA ..... 553

\* \* \*

CRÓNICA DE AL-ÁNDALUS EN LA SERRANÍA.

DE LOS NOMBRES DE SUS GENTES Y SUS LUGARES (V) ..... 575

1. *Otro hidrónimo más con etimología desentrañada para la nómima fluvial de al-Andalus: el río Guadarrín de Faraján.*

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO Y JUAN ANTONIO CHAVARRÍA VARGAS .... 577

2. *Dos nuevos topónimos andalusíes de la Algarbía malagueña.*

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO ..... 584

3. *Testimonio de los Gelidassen en la Algarbía malagueña: el caso de Casarabonela.*

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO Y ESTEBAN LÓPEZ GARCÍA..... 595

4. *Sobre el campo semántico de al-Ŷazīra aplicado a ‘vega’: el caso de la villa de Garciago (Ubrique, Cádiz).*

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO, FRANCISCO SILES GUERRERO  
Y LUIS IGLESIAS GARCÍA ..... 611

5. *Evidencias de los imaziguen Miknāsa en la Algarbía malagueña.*

VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO, ANTONIO ORDÓÑEZ FRÍAS  
Y ESTEBAN LÓPEZ GARCÍA..... 622





ESTUDIOS EN HOMENAJE  
A PEDRO CANTALEJO DUARTE

JOSÉ RAMOS MUÑOZ  
VIRGILIO MARTÍNEZ ENAMORADO  
FRANCISCO SILES GUERRERO

(EDITORES)





# SOBRE EL ORIGEN HIPOGÉNICO DE LA CUEVA DE ARDALES Y OTRAS CAVIDADES DE LA SERREZUELA Y SU RELACIÓN CON LAS AGUAS SULFUROSAS DE LOS BAÑOS DE CARRATRACA (MÁLAGA)

JUAN JOSÉ DURÁN VALSERO,<sup>a</sup> SERGIO R. DURÁN LAFORET, RAQUEL MORALES GARCÍA<sup>b</sup> Y PEDRO AGUSTÍN ROBLEDO ARDILA  
(INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, IGME-CSIC)

(<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-6965-2280>; <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-0807-9449>)

**RESUMEN:** La Cueva de Ardales es una de las cavidades kársticas presentes en la Serrezuela de Carratraca (Málaga), un pequeño macizo carbonático de algo más de dos km<sup>2</sup> de extensión superficial, que constituye el extremo oriental de una unidad geológica de mayor desarrollo, constituida por mármoles dolomíticos y calizas, de edad Triásica, pertenecientes al Complejo Alpujárride de la cordillera Bética. Este pequeño macizo está drenado por una surgencia de aguas sulfurosas, utilizadas desde hace siglos como balneario, los Baños de Carratraca, cuyas aguas presentan cierto carácter termal, además de una composición química diferente a las aguas habituales en los acuíferos carbonáticos alpujárrides. En este trabajo se discute el posible origen profundo de la espeleogénesis de las cavidades de la Serrezuela, incluida la cueva de Ardales, con argumentos relacionados con la estructura geológica local, el quimismo de las aguas surgentes en los Baños, la presencia de cantidades importantes de pirita transformada en oxi-hidróxidos de hierro en las rocas triásicas encajantes, la existencia de cavidades verticales que alcanzan el nivel freático con cantidades importantes de gases de origen profundo en la atmósfera subterránea y la localización de endofomas en la cueva de Ardales y otros enclaves, características de la hipogénesis por fluidos ascendentes con gran poder de disolución.

**PALABRAS CLAVE:** ácido sulfúrico, balneario de Carratraca, cueva de Ardales, hipogénesis, morfología endokárstica, pirita, provincia de Málaga.

**SUMMARY:** The Ardales Cave is one of the karst cavities present in the Serrezuela de Carratraca (Málaga), a small carbonate massif of two km<sup>2</sup> of surface extension, which constitutes the eastern end of a geological unit of greater development, made up of marbles, dolomitic and limestone, of Triassic age, belonging to the Alpujárride Complex of the Betic mountain range. This small massif is drained by a spring of sulphurous water, used for centuries as a spa, the Baths of Carratraca, whose waters have a certain thermal character, in addition to a different chemical composition from the common waters of the Alpujárride carbonate aquifers. This paper discusses the possible deep origin of the speleogenesis of the Serrezuela cavities, including the Ardales cave, with arguments related to the local geological structure, the chemistry of the emerging waters in the Carratraca Baths, the presence of significant amounts of pyrite transformed into iron oxy-hydroxides in the Triassic rocks, the existence of vertical cavities that reach the water table with significant amounts of gases of deep origin in the subterranean atmosphere and the location of endofoms in the Ardales cave and other places, characteristics of hypogenesis by ascending fluids with important dissolving power.

**KEY WORDS:** Ardales cave, Carratraca spa, hypogenesis, endokarstic morphology, Malaga province, pyrite, sulfuric acid.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cueva de Ardales es una cavidad de 1577 metros de desarrollo horizontal y 34 metros de desnivel absoluto, cuya boca está situada a 565 m s. n. m. en la falda oeste del cerro de la Calinoria, en el extremo NW de la Serrezuela de Carratraca, a caballo entre los términos municipales de Ardales y Carratraca, en la provincia de Málaga (figura 1).

Fue descubierta en el año 1821, como consecuencia de la movilización de los sedimentos que taponaban una de sus bocas por la acción de un terremoto (Madoz, 1845), posibilitando su acceso al interior. Desde entonces, su interés ha ido en aumento, debido a los sucesivos descubrimientos de un importante conjunto de grabados y pinturas rupestres paleolíticos (Breuil, 1921; Giménez Reyna, 1963). Posteriormente, sucesivos trabajos espeleológicos (Ramírez y Sánchez, 1974) y de recuperación de la cavidad y su contenido patrimonial (Ramos *et al.*, 1992) han puesto de relieve la existencia de una de las cavidades más importantes de España por su arte rupestre, con varios ciclos de pintura representados, incluyendo el más antiguo, relacionado con la presencia de neandertales en la cavidad (Hoffmann *et al.*, 2018; Pitarch, 2021).

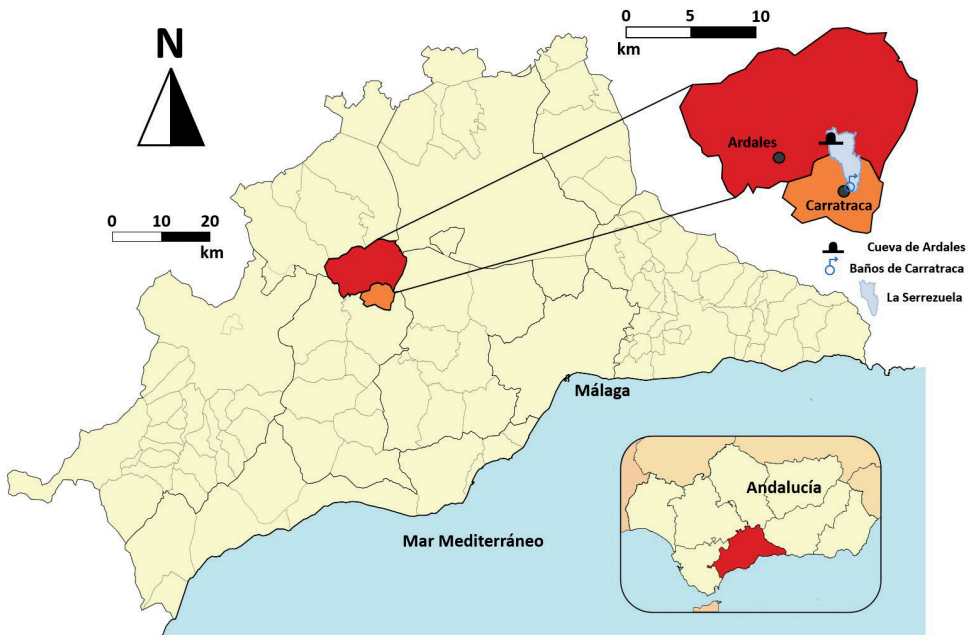


Figura 1: Localización de los términos municipales de Ardales (rojo) y Carratraca (naranja), y de la Serrezuela de Carratraca, la Cueva de Ardales y los Baños de Carratraca

También fue la primera cueva abierta a su visita turística en España, vinculada a la explotación de los cercanos baños de Carratraca (Vallejo y Durán, 1999). Desde el punto de vista geológico, ha sido estudiada por Durán (1992), Durán *et al.* (1992), Durán y López (1995), López *et al.* (1995) y Durán (1996), que han establecido la posición vadosa en el acuífero, aunque cercana al nivel freático actual, la relación con la estructura geológica local (planos de estratificación buzando hacia el NE-ENE y fracturación subvertical N10-20°E), y la existencia de sedimentos detríticos con fauna del Pleistoceno medio y tres generaciones de espeleotemas desde el inicio del Pleistoceno superior hasta la actualidad. Estos autores han sugerido, igualmente, la relación existente entre la endokarstificación de la Serrezuela y la presencia de las aguas sulfurosas de los Baños de Carratraca, manantial situado al sur del macizo kárstico y que drena la práctica totalidad de las aguas del mismo, cuya temperatura de emergencia es superior a la media atmosférica local y que presenta unas características hidroquímicas vinculadas a la presencia de mineralizaciones de sulfuros diseminados en los mármoles dolo-míticos triásicos que conforman gran parte del acuífero de la Serrezuela.

El objetivo de este trabajo es aportar nuevas evidencias y discutir la posible génesis de las cavidades kársticas de la Serrezuela, integrando estas en su contexto geológico e hidrogeológico local y regional y teniendo en cuenta los avances en el conocimiento en la última década en relación con la existencia de numerosas cavidades originadas por procesos hipogénicos y sus características morfológicas (Klimchouk, 2009; 2012). Recientemente, Gonzalez Ramón *et al.* (2018; 2021), han descrito por primera vez una serie de cavidades de origen hipogénico en el norte de la provincia de Málaga, en las calizas jurásicas de la Sierra de la Camorra (Mollina), abogando por una génesis vinculada a procesos de hiperkarstificación por ácido sulfúrico generado por reducción de sulfatos triásicos.

## 2. ENTORNO GEOLÓGICO DE LA SERREZUELA DE CARRATRACA

La región de Ardales es un enclave geológicamente complejo, situada en el límite de las zonas Externa e Interna de la cordillera Bética, donde afloran formaciones de diversas procedencias paleogeográficas, pertenecientes a distintas unidades y complejos geológicos (Martín Algarra *et al.*, 2009 a y b).

La Serrezuela de Carratraca es un pequeño afloramiento carbonático aislado, con algo más de 2 km<sup>2</sup> de superficie. Desde el punto de vista tectónico es el extremo nororiental de una gran estructura sinforme de orientación SW-NE constituida por las Sierras de las Nieves, Prieta y Alcaparaín, en las que se encuentran implicados materiales de la

Dorsal Bética (Unidad de la Nieves) y del complejo Alpujárride (Unidad de Yunquera). Ésta última se encuentra tectónicamente superpuesta a la anterior y aparece cobijada en los bloques hundidos, separados por fallas NW-SE. El extremo E de la sierra de Alcaparaín y la propia Serrezuela de Carratraca constituyen el último de los bloques hundidos de dicha estructura, en el que se apilan materiales pertenecientes a los complejos Alpujárride y Maláguide, y al Flysch del Campo de Gibraltar, como puede observarse en el mapa geológico de la figura 2. Los materiales aflorantes en la Serrezuela y su entorno inmediato corresponden a las tres formaciones definidas por Martín Algarra (1987) en la Unidad de Yunquera del complejo Alpujárride: metapelitas paleozoicas en la base, mármoles blancos masivos dolomíticos de edad triásica, y calizas grises azuladas tableadas, con algunas intercalaciones de mármoles, de edad triásica.

La estructura de la Serrezuela consiste hacia el E en un pliegue sinclinal tumbado, con el flanco oriental muy verticalizado, donde afloran extensamente los mármoles blancos dolomíticos; hacia el oeste, separadas por una importante zona de falla de carácter inverso, afloran mayoritariamente las calizas grises azuladas y tableadas, correspondientes al flanco normal del pliegue, replegadas a su vez en varios anticlinales secundarios y fuertemente fracturadas (figura 4).

Los límites de los materiales carbonáticos permeables del acuífero kárstico de la Serrezuela están constituidos por las metapelitas alpujárrides aflorantes al este y las arcillas, margas y areniscas del Flysch que rellenan el corredor de Ardales hacia el oeste. En el extremo meridional de la Serrezuela aflora un pequeño edificio travertínico no recogido en la cartografía geológica escala 1/50.000 del ITGE (1990), de edad Cuaternaria, cuyo origen está relacionado con las aguas subterráneas drenadas de manera natural por el manantial de los Baños de Carratraca, surgencia principal de dicho acuífero.

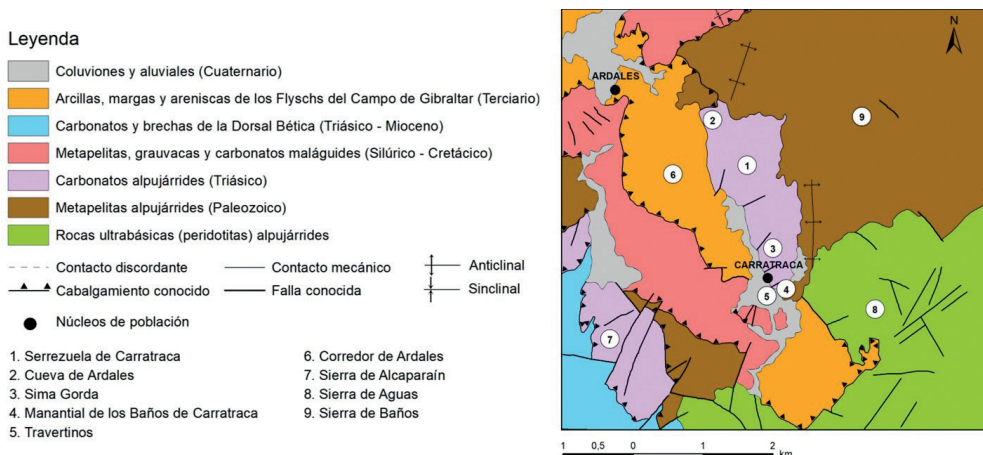


Figura 2: Mapa geológico de la Serrezuela de Carratraca y su entorno (Modificado de ITGE, 1990)

### 3. LA CUEVA DE ARDALES

La Serrezuela de Carratraca se caracteriza por presentar escasas morfologías exokársticas. Los Llanos de los Arenalejos, al NW de la misma, constituyen la única depresión asimilable a una gran dolina, actualmente capturada por la red de drenaje superficial. Existen también algunas zonas de lapiares bien desarrollados en las partes somitales del cerro de la Calinoria y en el entorno del pico Serrezuela. Por el contrario, existen algunas formas endokársticas bien desarrolladas, las más importantes de las cuales son la cueva de Ardales (también llamada de Doña Trinidad o de la Calinoria), situado en el extremo norte de la Serrezuela y la sima Gorda (conocida igualmente como sima Cadete, de la Ermita o de Carratraca), ubicada en el extremo Sur.

La cueva de Ardales es la mayor de las cavidades, con un trazado básicamente horizontal, distribuido en dos niveles y con un desarrollo topografiado de 1577 m y un desnivel de  $\pm 34$  m respecto a la boca actual. Sus galerías y salas, de morfología laberíntica, se encuentran orientadas espacialmente siguiendo dos patrones fundamentales: los planos de estratificación, buzantes hacia el NE, y las fracturas, de dirección N10-20°E. La tipología de las salas y galerías es de tres tipos: grandes salas con estructuras de colapso y presencia de chimeneas en los techos; galerías con trazado

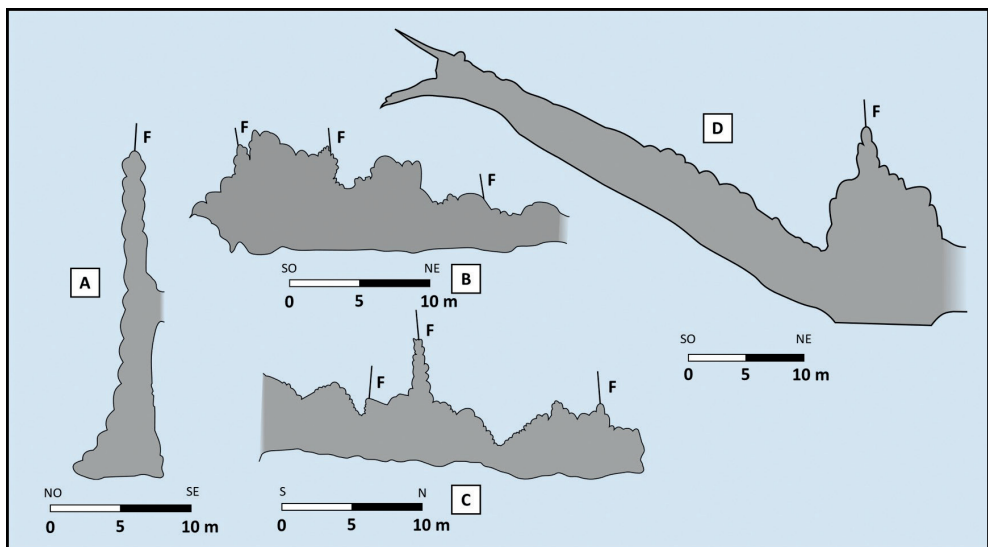


Figura 3: Secciones transversales representativas de algunas de las salas y galerías de la Cueva de Ardales, donde se observan morfologías típicas de la espeleogénesis hipogénica. A: Subida a las Galerías Altas. B: Sala del Lago. C: Sala de la Olla (Galerías Altas). D: Galería del Calvario. En todas las secciones se observa el control de las fracturas (F), la tendencia del suelo subhorizontal de las galerías y salas, correspondiente al paleonivel freático (A, B y D) y en algún caso (D), se observa la presencia de cúpulas de corrosión en las superficies de estratificación

rectilíneo siguiendo el patrón de la fracturación; y galerías inclinadas desarrolladas a favor de los planos de estratificación.

Durante los años 2014 y 2015 se realizó una cartografía geomorfológica de la cueva y una serie de cortes geomorfológicos representativos de las salas y galerías principales de la cavidad. Con excepción de la presencia de importantes volúmenes de espeleotemas (sobre todo en las salas de mayor tamaño) y de conos de materiales detríticos relacionados con colapsos y con el relleno de paleobocas, el rasgo más llamativo y más extendido son las morfologías de tipo erosivo que modelan una parte importante de los techos y paredes de las diferentes salas y galerías. En la figura 3 pueden observarse unos ejemplos representativos de este tipo de morfologías. Son *cúpulas de diversos tamaños (menos de 1 m)*, frecuentemente vinculadas a la presencia de fracturas y que condicionan el desarrollo en la vertical del vacío subterráneo, terminando, por lo general, abruptamente, sin solución de continuidad. En ocasiones, esas formas se encuentran también en las paredes de conductos lineales (figura 3a) y en los techos de algunas galerías labradas siguiendo los planos de estratificación (figura 3d).

#### 4. DISCUSIÓN DE LA POSIBLE HIPOGÉNESIS DE LAS CAVIDADES DE LA SERREZUELA

Klimchouk (2009) establece que los criterios principales para identificar cuevas hipogénicas son los de tipo morfológico y los hidrogeológicos. Entre los primeros destacan los relativos a los patrones espaciales de las cavidades (*maze caves, spogework mazes, irregular chambers, isolated passages, crude cluster of passages, inclined passages, collapsed shafts and rising shafts*) y las mesomorfologías, en particular las denominadas MSRF, (*Morphologic Suits of Rising Flow*), Conjunto de Morfologías de Flujo Ascendente, entre los que se encuentran los *feeders, master passages, rising wall channels*, cúpulas parietales, arcos o puentes de roca, *dome pits*, canales de bóveda, *dead ends* y cúpulas de techo, entre otros.

En relación con los criterios diagnósticos hidrogeológicos, los principales son los que indican la presencia de disolución en condiciones confinadas y en relación con zonas de descarga de sistemas de flujo de carácter intermedio o regional.

También, el mismo autor indica que con frecuencia en cavidades con una dilatada historia geológica pueden coexistir rasgos de origen hipogénico junto con otros epigénicos posteriores. Éstos últimos enmascaran muchas veces la presencia de los anteriores, añadiendo así una dificultad adicional a la ya existente por la presencia de espeleotemas y sedimentos detríticos que tapizan paredes, suelos y techos.

En el caso de las cavidades kársticas de la Serrezuela de Carratraca se pueden identificar ambos tipos de criterios diagnósticos que evidencian el origen hipogénico. Por un lado, el patrón espacial de las dos cavidades más importantes se corresponde con una cueva de tipo laberíntico o *maze cave* (Cueva de Ardales) y un pozo ascendente o *rising shaft* (Sima Gorda). Además, en el caso de la Cueva de Ardales, las mesoformas erosivas más abundantes en las paredes y techos de la cavidad son las cúpulas. Osborne (2004) apunta a que este tipo de morfologías son las más características de las cuevas de origen hidrotermal y las generadas por la acción del ácido sulfúrico. Por otro lado, la Serrezuela de Carratraca presenta una disposición estructural vinculada a un pequeño horst o pilar tectónico, que levanta el extremo nororiental de la estructura que desde la Sierra de las Nieves se prolonga por las Sierras Prieta y de Alcaparaín, lo que condiciona su funcionamiento hidrogeológico como zona de descarga de un sistema de flujo profundo de tipo regional.

Los estudios llevados a cabo sobre las aguas del Balneario de Carratraca (ITGE, 1998) indican la existencia de una mezcla de aguas procedentes de flujos profundos cuya recarga se ha producido a cotas más altas que las de la Serrezuela (Alcaparaín) y con un tiempo de tránsito elevado (miles de años), mezcladas con aguas más modernas procedentes de la recarga autóctona.

En otros lugares de la Serrezuela se han encontrado también morfologías susceptibles de estar vinculadas con un origen hipogénico, como las presentes en las cercanías de la zona de fractura del pico Serrezuela, visibles en los taludes de los accesos a los aerogeneradores allí existentes (figura 4 y 5E). Son conductos verticales, sinuosos, de diámetros decimétricos y longitudes métricas (visibles), que en ocasiones llegan hasta la superficie y que presentan diversas evidencias de flujos profundos (pequeñas cúpulas, cierres ciegos, mineralizaciones asociadas, cristales de calcita esparítica, etc). En la figura 4 puede observarse la situación de las principales cavidades y de estas otras morfologías de menor tamaño, vinculadas espacialmente a las zonas de fractura de la Serrezuela.

Por otro lado, las aguas del Balneario de Carratraca son conocidas desde antiguo por sus especiales características hidroquímicas (Salgado y Guillermo, 1860; de Prado y Valle; 1861 Prolongo, 1873). Presentan una notable proporción de sulfato en disolución (210 mg/L de media) y una notable cantidad de  $HS_2$ . También se detectan en ellas cantidades significativas de sulfuro, fluoruro, arsénico, cianuro, boro e hierro. La concentración de sulfuro más frecuente ronda los 10 mg/L (Vallejo y Durán, 2001).

La presencia de estos elementos es compatible con la existencia en los mármoles dolomíticos triásicos de frecuentes mineralizaciones de pirita, tanto diseminadas en forma de cristales cúbicos de diversos tamaños, desde milímetros a más de 10

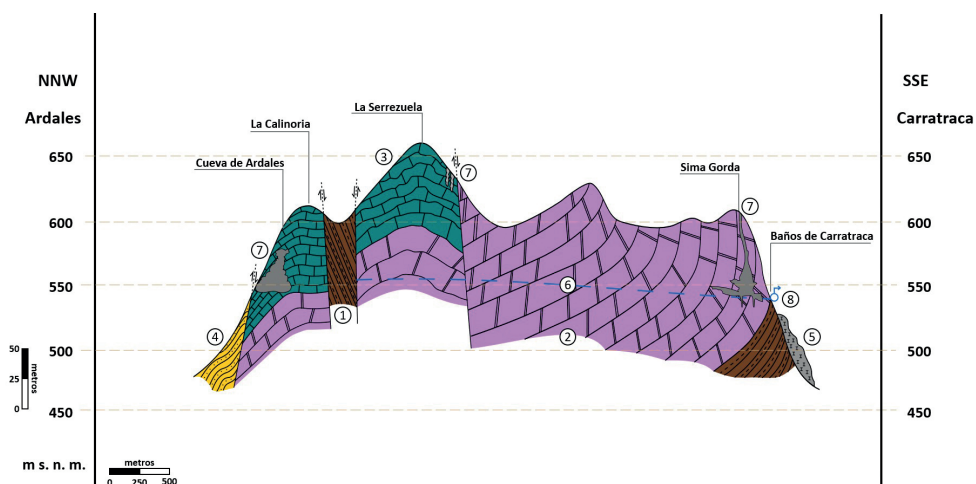


Figura 4: Corte hidrogeológico esquemático de la Serrezuela de Carratraca, indicando las posiciones de la Cueva de Ardales, Sima Gorda y el manantial de los Baños de Carratraca. Leyenda: 1: Micaesquistos paleozoicos; 2: Mármoles blancos masivos triásicos; 3: Calizas grises tableadas triásicas; 4: Arcillas, margas y areniscas terciarias (Flysch); 5: Travertinos cuaternarios; 6: Posición aproximada del nivel freático; 7: cavidades kársticas con indicios de hipogénesis; 8: manantial de los Baños de Carratraca

centímetros, como en masas irregulares y rellenando fracturas; la mayor parte de la pirita aflorante se encuentra transformada en oxi-hidróxidos de hierro, aunque en ocasiones es posible encontrar restos de la mineralización primaria (figura 5 C y D).

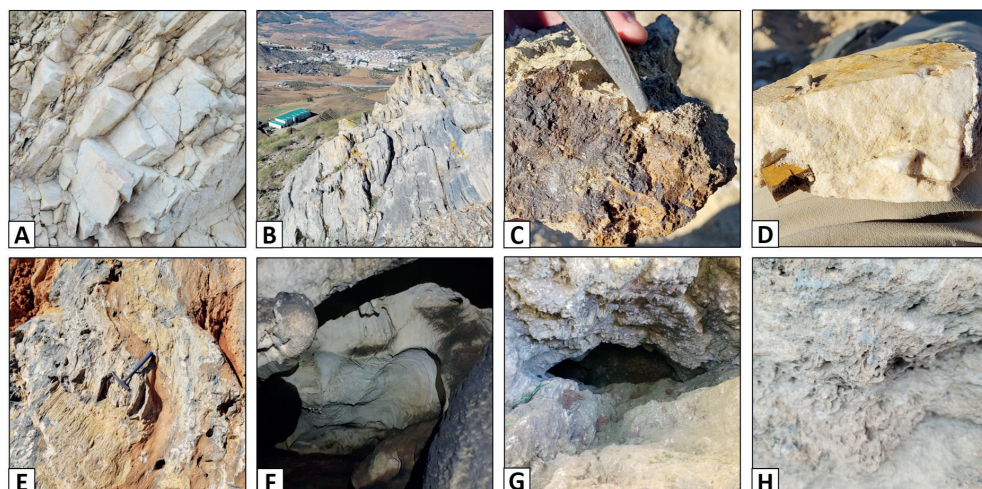
En ocasiones se han podido observar fracturas rellenas de yeso (sulfato cálcico,  $\text{CaSO}_4$ ) procedente de la transformación de la pirita (figura 5 D).

Todas estas evidencias apuntan claramente a una espeleogénesis de tipo artesiánico (Klimchouk, 2012), vinculada a la existencia de flujos profundos ascendentes, enriquecidos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{HS}_2$ , procedentes de la transformación del sulfuro de hierro primario de las mineralizaciones del entorno. Estos gases se han detectado en la actualidad en la atmósfera subterránea de Sima Gorda, en particular en la zona más profunda, cercana al nivel freático.

La interpretación de este tipo de evidencias como fruto de fenómenos hipogénicos es frecuente en el ámbito de las cadenas alpinas perimediterráneas, bien en relación con estructuras tectónicas similares a la descrita en este trabajo, a la presencia de aguas termales o a la acción del ácido sulfúrico proveniente de mineralizaciones en la espeleogénesis (Audra, 2008; Frumkin y Fischhendler, 2005; Goldscheider *et al.*, 2010; de Waele *et al.*, 2016), hasta tal punto que Klimchouk (2015) habla ya de un nuevo paradigma en relación con el origen de muchas cavidades kársticas.

En el caso de la Serrezuela, tras una etapa hipogénica probablemente dilatada en el tiempo, vinculada a los momentos tardíos de la orogenia alpina (Plioceno?), en





*Figura 5: Fotografías de algunos de los aspectos geológicos, georfológicos e hidrogeológicos más significativos de la Serrezuela de Carratraca. A: Mármoles blancos triásicos aflorantes. B: Calizas grises triásicas aflorantes. C: Masa de pirita limonitizada con el centro sin alterar. D: Cristal de pirita limonitizada incluida en el mármol triásico, con una fractura rellena de yeso (alterada). E: Chimeneas hipogénicas aflorantes en un talud. F: Detalle de las cúpulas de corrosión presentes en la Cueva de Ardales. G: Boca de Sima Gorda. H: Detalle de los travertinos aflorantes en Carratraca*

un momento posterior (posiblemente a partir del Pleistoceno medio, dada la edad de los rellenos detríticos presentes en la sala del Lago de la Cueva de Ardales), la evolución de la cavidad pasó a una fase epigénica, dejando de estar conectada con el nivel freático vinculado a los flujos hidrogeológicos ascendentes. Comenzaron a actuar entonces los procesos superficiales, como hundimientos de algunos conductos cercanos a la superficie y creación de bocas de acceso, entrada de sedimentos detríticos alóctonos, crecimiento de diversas generaciones de espeleotemas en función de los estadios climáticos del Pleistoceno superior (únicos datados hasta el momento), etc. Mientras tanto, en la actualidad continua como eje de drenaje principal del acuífero de la Serrezuela, el manantial de los baños de Carratraca, que ha dejado su rastro sedimentario reciente en un pequeño edificio travertínico existente en la parte baja de la localidad, que había pasado desapercibido hasta la actualidad en las cartografías y estudios geológicos llevados a cabo hasta el momento y que permanece sin datar.

## CONCLUSIONES

La Cueva de Ardales es la cavidad más importante de la Serrezuela de Carratraca (Málaga), con un desarrollo horizontal de más de 1500 metros, repartidos en una red laberíntica multinivel. La Serrezuela es un pequeño macizo carbonático que

constituye el extremo oriental de una estructura geológica de orientación suroeste-noreste que se hunde hacia el norte, constituida por mármoles dolomíticos y calizas, de edad Triásica, pertenecientes al Complejo Alpujarride de la cordillera Bética. Este macizo está drenado por una surgencia de aguas sulfurosas, los Baños de Carratraca, cuyas aguas presentan cierto carácter termal y una composición química singular, rica en sulfatos y gases disueltos ( $\text{CO}_2$ , metano y sulfhídrico). La estructura geológica, el quimismo de las aguas surgentes en los Baños, la presencia de cantidades importantes de pirita transformada en oxi-hidróxidos de hierro en las rocas triásicas, la existencia de cavidades verticales que alcanzan el nivel freático (Sima Gorda) con cantidades importantes de gases de origen profundo en la atmósfera subterránea y la presencia de ciertas endoformas (en particular la gran cantidad de cúpulas) en las galerías y salas de la cueva de Ardales y otros enclaves del macizo karstico, llevan a establecer el origen hipogénico del conjunto de endoformas kársticas existentes en la Serrezuela (y en especial la Cueva de Ardales), generadas por fluidos ascendentes con gran poder de disolución. Las aguas surgentes en los Baños de Carratraca representan una mezcla de estos fluidos regionales y la recarga autóctona local.

## A G R A D E C I M I E N T O S

Este trabajo es una contribución al homenaje a Pedro Cantalejo Duarte, por toda una vida dedicada al estudio, la conservación y la divulgación de la cueva de Ardales, su contenido y su entorno.

## R E F E R E N C I A S

- AUDRA, P. (2008), "The sulfuric hypogene speleogenesis: processes, cave pattern, and cave features", *Berliner Höhlenkundliche Berichte*, 26, pp. 5-30.
- BREUIL, H. (1921), "Nouvelles cavernes ornées paleolithiques dans la province de Málaga", *L'Antropologie*, XXXI, 3-4, pp. 239-250.
- DE PRADO y VALLE, C. (1861), "Aguas de Carratraca", *Revista Minera*, XII, pp. 449-466.
- DE WAELE, J. AUDRA, PH., MADONIA, G., VATTANO, M., PLAN, L., D'ANGELI, I. M., BIGOT, J. Y. y NOBÉCOURT, J. C. (2016), "Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: examples from southern France, Austria, and Sicily", *Geomorphology*, 253, pp. 452-467.

- DURÁN, J. J. (1992), “La Cueva de Ardales. Geología”, en J. Ramos Muñoz, M. Espejo Herrerías, P. Cantalejo Duarte, E. Martín Córdoba, J. A. Molina Muñoz, J. J. Durán Valsero, J. Alcázar Godoy, F. Ramírez Trillo, A. Vela Torres, R. Grün y D. C. Ford (eds.), *Cueva de Ardales. Su recuperación y estudio*, Málaga, Ayuntamiento de la Villa de Ardales, pp. 46-56.
- DURÁN, J. J., BAEZA, J., VALLEJO, M. y ANGLADA, R. (1998), *Estudio hidrogeológico de los Baños de Carratraca*, Madrid, ITGE-Banesto, informe inédito.
- DURÁN, J. J., GRÜN, R. y FORD, D. C. (1992), “Cueva de Ardales. Geocronología evolutiva desde el Pleistoceno Superior hasta la actualidad y su relación con los cambios paleoclimáticos”, en J. Ramos Muñoz, M. Espejo Herrerías, P. Cantalejo Duarte, E. Martín Córdoba, J. A. Molina Muñoz, J. J. Durán Valsero, J. Alcázar Godoy, F. Ramírez Trillo, A. Vela Torres, R. Grün y D. C. Ford (eds.), *Cueva de Ardales. Su recuperación y estudio*, Málaga, Ayuntamiento de la Villa de Ardales, pp. 57-66.
- DURÁN, J. J. y LÓPEZ, J. (1995), *El karst de la Serrezuela y la Cueva de Ardales: aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos*, en AA. VV., *Geología y Arqueología prehistórica de Ardales*, Málaga, Ayuntamiento de Ardales-Grupo Andaluz del Cuaternario (AEQUA), pp. 47-53.
- DURÁN, J. J. (1996), *Los sistemas kársticos de la provincia de Málaga y su evolución: Contribución al conocimiento paleoclimático del Cuaternario en el Mediterráneo occidental*, tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- FRUMKIN, A. y FISCHHENDLER, I. (2005), “Morphometry and distribution of isolated caves as a guide for phreatic and confined paleohydrological conditions”, *Geomorphology*, 67, pp. 457-471.
- GIMÉNEZ REYNA, S. (1963), *La Cueva de Doña Trinidad en Ardales*, Málaga, Publicaciones de la Caja de Ahorros Provincial de Málaga.
- GOLDSCHIEDER, N., MÁDL-SZÖNYI, J., ERŐSS, A. y SCHILL, E. (2010), “Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers”. *Hydrogeology Journal*, 18, pp. 1303-1318.
- GONZÁLEZ RAMÓN, A., PEDRERA PARIAS, A., MARTOS ROSILLO, S., JIMÉNEZ DE CISNEROS-VENCELÁ, C. y RUIZ CONSTÁN, A. (2018), “Espeleogénesis de las cavidades de la Sierra de Mollina (Málaga, sur de España): implicaciones hidrogeológicas y geomorfológicas”, en P. A. Robledo y J. J. Durán (eds.), *Cuevas: la flecha del tiempo, de la prehistoria a la actualidad*, Madrid, ACTE, pp. 15-28.

- GONZÁLEZ-RAMÓN, A., PEDRERA, A., MARTOS-ROSILLO, S., JIMÉNEZ DE CISNEROS, C., RUIZ-CONSTÁN, A. y GÁZQUEZ, F. (2021), “Constraints on the evolution of sulfuric acid speleogenesis within carbonate rocks partially covered by evaporites (Sierra de Mollina, southern Spain)”, *Geomorphology*, 390.
- HOFFMANN, D. L., STANDISH, C. D., GARCÍA-DÍEZ, M., PETTITT, P. B., MILTON, J. A., ZILHÃO, J., ALCOLEA-GONZÁLEZ, J. J., CANTALEJO-DUARTE, P., COLLADO, H., DE BALBÍN, R., LORBLANCHET, M., RAMOS-MUÑOZ, J., WENIGER, G. CH. y PIKE A.W.G. (2018), “U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art”, *Science*, 359, pp. 912-915.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1990), *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*, 2.ª Serie (MAGNA), Hoja 1038-ARDALES, Madrid, Mapa y memoria.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1998), *Estudio hidrogeológico de los Baños de Carratraca (Málaga)*, informe.
- KLIMCHOUK, A. (2009), “Morphogenesis of hypogenic caves”, *Geomorphology*, 106, pp. 100-117.
- KLIMCHOUK, A. (2012), “Speleogenesis, hypogenic”, *Encyclopedia of caves*, pp. 748-765.
- KLIMCHOUK, A. (2015), “The karst paradigm: changes, trends and perspectives”, *Acta Carsologica*, 44/3, pp. 289-313.
- LÓPEZ, J., DURÁN, J. J. y ARRIBAS, A. (1995), “Génesis, evolución y geocronología de la Cueva de Ardales”, en P. Cantalejo Duarte, J. J. Durán Valsero, M.ª M. Espejo Herrerías, J. López Martínez, E. Martín Córdoba, F. Ramírez Trillo, J. Ramos y A. Recio Ruiz (coords./eds.), *Geología y Arqueología Prehistórica de Ardales*, Málaga, Ayuntamiento de Ardales y Grupo Andaluz del Cuaternario, AEQUA, pp. 55-70.
- MADOZ, P. (1845), *Diccionario geográfico y estadístico de España y sus posesiones de ultramar*, Madrid.
- MARTÍN ALGARRA, A. (1987), *Evolución geológica alpina del contacto entre las zonas internas y las zonas externas de las cordilleras béticas*, tesis doctoral, Universidad de Granada.
- MARTÍN ALGARRA, A., MAZZOLI, S., PERRONE, V., RODRÍGUEZ-CAÑERO, R. and NAVAS-PAREJO, P. (2009 a), “Variscan Tectonics in the Malaguide Complex (Betic Cordillera, Southern Spain): Stratigraphic and Structural Alpine versus Pre-Alpine Constraints from the Ardales Area (Province of Málaga). I. Stratigraphy”, *The Journal of Geology*, 117 (3), pp. 241-262.

- MARTÍN ALGARRA, A., MAZZOLI, S., PERRONE, V. and RODRÍGUEZ-CAÑERO, R. (2009 b), “Variscan Tectonics in the Malaguide Complex (Betic Cordillera, Southern Spain): Stratigraphic and Structural Alpine versus Pre-Alpine Constraints from the Ardales Area (Province of Málaga). II. Structure”, *The Journal of Geology*, 117 (3), pp. 263-284.
- MOLINA, J. A., RAMÍREZ, F. y VELA, A. (1992), “Cueva de Ardales: Nueva representación gráfica”, en J. Ramos Muñoz, M.<sup>a</sup> M. Espejo Herreras, P. Cantalejo Duarte, E. Martín Córdoba, J. A. Molina Muñoz, J. J. Durán Valsero, J. Alcázar Godoy, F. Ramírez Trillo, A. Vela Torres, R. Grün y D. C. Ford (eds.), *Cueva de Ardales. Su recuperación y estudio*, Málaga, Ayuntamiento de la Villa de Ardales, pp. 38-46.
- OSBORNE, R. A. L. (2004), “The troubles with cupolas”, *Acta Carsologica*, 33/2, pp. 9-36.
- PITARCH, A., ZILHÃO, J., D’ERRICO, F., CANTALEJO-DUARTE, P., DOMÍNGUEZ-BELLA, S., FULLOLA, J. M., WENIGER, G. C. and RAMOS-MUÑOZ, J. (2021), “The symbolic role of the underground world among Middle Paleolithic Neanderthals”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021; 118 (33).
- PROLONGO, P. (1873), *La historia de los copos de azufre que salen mezclados con las aguas del manantial de los baños de Carratraca: Sulfuraria carracatrensis*. Memoria de la Sociedad Malagueña de Ciencias Físicas y Naturales. 27 páginas manuscritas.
- RAMÍREZ-TRILLO, F. (1995), “Grandes cavidades en la provincia de Málaga”, *Espeleotemas*, 5, pp. 71-94.
- RAMÍREZ, J. y SÁNCHEZ, J. E. (1974), “La Cueva de Doña Trinidad”, *Jábega*, 8, pp. 64-68.
- RAMOS, J., ESPEJO, M.<sup>a</sup> M., CANTALEJO, P., MARTÍN, E., MOLINA, J. A., DURÁN, J. J., ALCÁZAR, J., RAMÍREZ, F., VELA, A., GRÜN, R. y FORD, D. C. (1992), *Cueva de Ardales. Su recuperación y estudio*, Málaga, Ayuntamiento de la Villa de Ardales.
- SALGADO Y GUILLERMO, J. (1860), *Monografía de las aguas sulfo, selénido hídricas, arseniadas, bicarbonatadas alcalino-térreas, metálicas, de Carratraca*. Imprenta de Manuel Minuesa.
- VALLEJO, M. y DURÁN, J. J. (1999), “Serrezuela de Carratraca (Málaga, Southern Spain): An small spot with a diverse Geological Heritage”, *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the new Millenium*, D. Baretino, M. Vallejo and E. Gallego (eds.), Madrid, Sociedad Geológica de España/Instituto Tecnológico Geominero de España/ProGEO, pp. 374-377.

VALLEJO, M. y DURÁN, J. J. (2001), "Mixture of deep and meteoric waters in a karst spring: an analytical study using hydrochemical, isotopic and radioactive techniques", *Present State and Future Trends of Karst Studies. International Hydrological Programme, Technical Documents in Hydrology*, n.º 49, vol. 1, pp. 197-204.

