

Meteorización de mármoles dolomíticos y su relación con la arena dolomítica de la Cueva de Nerja (Málaga, España)

Weathering processes of dolomitic marbles and its relationship with the dolomitic sand of the Nerja Cave (Malaga, Spain)

Arantza Aranburu^{1,2}, Martin Arriolabengoa^{1,2}, Arantxa Bodego^{2,3}, Irantzu Álvarez⁴, Peru Bilbao-Lasa^{1,2}, Iñaki Yusta¹, Cristina Liñán Baena⁵

¹ Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Barrio Sarriena s/n 48940 Leioa, Bizkaia. arantza.aranburu@ehu.eus, martin.arriolabengoa@ehu.eus, peru.bilbao@ehu.eus, i.yusta@ehu.eus

² Geo-Q Aranzadi, Kortesenabarri Baserría, 48940 Leioa.

³ Departamento de Estratigrafía y Paleontología y Petrología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Barrio Sarriena s/n 48940 Leioa, Bizkaia. arantxa.bodego@ehu.eus

⁴ Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería, Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Paseo Rafael Moreno "Pitxitxi" nº2, 48013 Bilbao, Bizkaia. irantzu.alvarez@ehu.eus

⁵ Fundación Cueva de Nerja, Instituto de Investigación, C/ Carretera de Maro s/n, 29787- Nerja (Málaga). Cbaena@cuevadenerja.es

ABSTRACT

The karstic system of the Nerja Cave is developed in the dolomitic marbles of the Almjara Nappe. These marbles show little edaphic development but abundant weathering features. Weathering processes of dolomitic marbles caused brecciation, disintegration and formation of dolomitic sands, as well as deposits of diverse secondary carbonates: calcretas and speleothems. The Nerja Cave contains detrital deposits, mostly dolomitic sands. The objective of this work is to characterize and relate the edaphic processes of the exokarstic environment with the detrital sediments of the interior of the karst. Thus, the dolomitic sand or regolith can i) become part of the edaphic horizons, as at present; ii) be embedded in the calcrete; or iii) be transported to the interior of the karst by hydrological and gravitational processes.

Key-words: *dolomitic sands, dedolomitization, calcretas, sedimentary petrology, Nerja Cave.*

RESUMEN

El sistema kárstico de la Cueva de Nerja se desarrolla en los mármoles dolomíticos del Manto de Almjara. Estos mármoles se presentan semidesnudos, con escaso desarrollo edáfico y abundantes rasgos de meteorización. Se han constatado procesos de meteorización del mármol dolomítico que provocan la brechificación, disgregación y formación de arena dolomítica, así como la formación de distintos depósitos carbonáticos secundarios: calcretas y espeleotemas. La Cueva de Nerja alberga depósitos detríticos, en su mayoría arenosos, cuya composición es dolomítica. El objetivo de este trabajo ha sido caracterizar y relacionar los procesos edáficos exokársticos con los sedimentos detríticos del interior del karst. Así, la arena dolomítica o regolito puede i) pasar a formar parte de los horizontes edáficos, como en la actualidad; ii) quedar embutida en la calcreta; o iii) ser transportada al interior del karst por procesos hídricos y gravitacionales.

Palabras clave: *arenas dolomíticas, dedolomitización, calcretas, petrología sedimentaria, Cueva de Nerja.*

Geogaceta, 64 (2018), 123-126
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 15 de febrero de 2018
Revisión: 12 de abril de 2018
Aceptación: 25 de abril de 2018

Introducción

La Cueva de Nerja (Málaga) se desarrolla en los mármoles dolomíticos del Manto de Almjara, perteneciente al Complejo Alpujarride.

Rodríguez Vidal y Cáceres (1993) describieron una superficie de erosión sobre estos mármoles que atribuyen al Tortoniense (Mioceno medio). Estos mármoles han estado expuestos a los agentes meteorológicos en los últimos 11 Ma. Resultado de

estos procesos geológicos son los distintos depósitos Plio-Pleistocenos que afloran preferentemente en la zona litoral y la propia generación y relleno del Karst de Nerja.

La Cueva de Nerja presenta un desarrollo en planta de aproximadamente 600 m de longitud en dirección SSO-NNE (Fig. 1), con salas de más de 35 m de altura. Dentro de la cueva, se encuentran acumulaciones de sedimento detrítico de tamaño arena y limo, que entre otros, conforman distintos yacimientos arqueo-

lógicos. En contextos kársticos, donde prima la disolución del carbonato, el modelado exokárstico incluye dolinas y lapiaz. En la vertical de la Cueva de Nerja, sin embargo, apenas hay formas exokársticas.

Los objetivos del estudio han sido caracterizar los depósitos superficiales registrados sobre el mármol dolomítico y los sedimentos de la cueva e inferir la procedencia de estos sedimentos endokársticos.

Contexto geológico

El Manto de Almirajara está compuesto por mármoles Triásicos, dolomíticos a la base (López Sánchez-Vizcaíno y Gómez Pugaire, 1993), y calizos con intercalaciones de calcoesquistos hacia techo (Andreo *et al.*, 1993). Presentan una estratificación tabular decimétrica, con buzamientos entre 15-25° hacia el sur.

Tras su emersión, durante el Mioceno medio, y erosión (Rodríguez Vidal y Cáceres, 1993) en la zona de Maro (próxima a Nerja) se formaron abanicos aluviales y depósitos marinos costeros, de edad pliocena. La secuencia basal de los abanicos aluviales está compuesta mayoritariamente por conglomerados y brechas de mármol, mientras que en la secuencia superior predominan los cantos de esquistos y cuarcita (Guerra-Merchán *et al.* 2004). Por tanto, la roca encajante de la Cueva de Nerja estaba siendo desmantelada durante el Plioceno.

Los depósitos cuaternarios, también de carácter aluvial, se articulan en tres unidades litoestratigráficas. Las dos unidades basales están formadas por cantos redondeados de mármol que flotan en una matriz de calcita (cono aluvial). Dataciones realizadas en la segunda unidad indican una edad de 120 ka (Pleistoceno Superior; Durán *et al.*, 1993). La tercera unidad está formada por un potente depósito de travertinos de 46±7 ka de edad (Durán, 1996).

Muestreo y Metodología

El muestreo ha sido realizado tanto en el exterior como en el interior de la Cueva de Nerja. En el exterior se han recogido 15 muestras, todas ellas localizadas en la vertical de la Cueva de Nerja (Fig. 1): 2 muestras pertenecen a la roca caja (mármoles); 9 muestras a los distintos depósitos carbonáticos observados sobre los mármoles y 3 muestras del sedimento terrígeno superficial (perfiles edáficos). En el interior de la cavidad se han muestreado 6 depósitos detríticos diferentes (Fig. 1).

Las muestras de roca han sido estudiadas en muestras de mano pulidas y láminas delgadas. Las muestras de sedimento y su tamaño de grano han sido estudiadas usando la lupa binocular y un analizador de partículas laser *Coulter LS13320*. La mineralogía ha sido determinada por difracción de rayos-X (DRX), en los laboratorios del Parque Científico y Tecnológico de la Universidad de Burgos y SGIker (UPV/EHU).

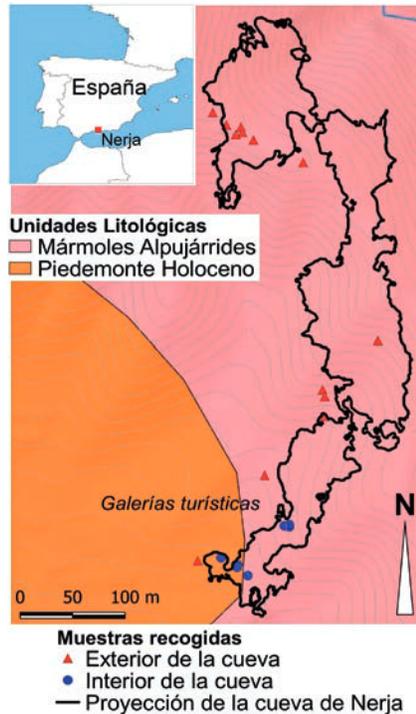


Fig. 1.- Localización de las muestras recogidas en exterior (en rojo) e interior (azul) de la Cueva de Nerja. Modificado de Guerra-Merchán *et al.*, 2004; Arrese González, 2009. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Location of samples collected in the Nerja Cave (blue dots) and its surroundings (red triangles). Modified after Guerra-Merchán *et al.*, 2004; Arrese González 2009. See color figure in the web.

Resultados

Roca de caja: Mármol dolomítico

En la vertical de la Cueva de Nerja la litología predominante es el mármol dolomítico blanco, de textura granoblástica con frecuentes uniones triples a 120° (Fig. 2A). El tamaño de los cristales es equidimensional y unimodal, oscilando entre 0,6-0,8 mm.

El otro litotipo observado es un mármol dolomítico azulado, de tamaño de cristal más fino, homogéneo, con una microtextura anisótropa: los cristales, de tamaño <0,2 x 0,8 mm, muestran una orientación preferencial (Fig. 2B).

Textura de alteración tipo brechoide

El aspecto brechoide es el resultado de la alteración *in situ* del mármol dolomítico blanco, a través de la red de diaclasado. Las diaclasas están rellenas por esparita, microesparita o micrita, con más o menos cristales disgregados de dolomita. Se trata, por tanto, de una autobrecha diagenética, donde los clastos no han sufrido rotación o transporte alguno (Fig. 3A).

En lámina delgada se observa que la brechificación se ve favorecida por un reemplazamiento degradacional y/o corrosión de la dolomita por calcita, a favor de los contactos intercristalinos del mármol (Fig. 3B). En ocasiones, el reemplazamiento es casi total, creando una textura cristalina de calcita con cristales aislados de dolomita flotando en ella.

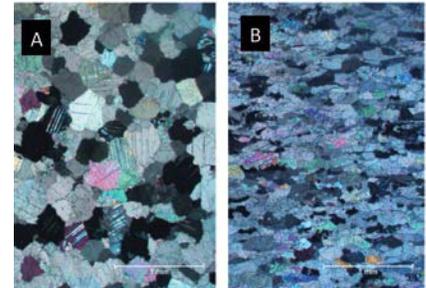


Fig. 2.- Fotografías de láminas delgadas (luz polarizada) de los dos tipos de mármol dolomítico diferenciados en el campo. A) Mármol dolomítico blanco, equigranular. B) Mármol dolomítico azulado, con cristales de dolomita orientados. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Thin section photographs (polarized light) of the two marble types. A) Equigranular white dolomitic marble. B) Blue dolomitic marble, with oriented dolomite crystals. See color figure in the web.

Calcretas y Espeleotemas

En el muestreo de campo se han diferenciado distintos tipos de depósitos carbonáticos en función del tamaño del cristal (micrita o esparita) y del color (rojo y beige).

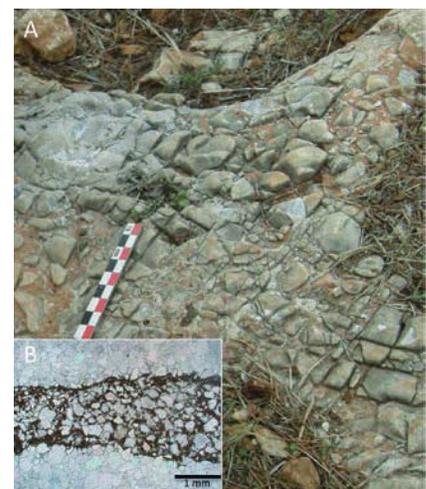


Fig. 3.- A) Mármol brechoide por alteración a partir de la red de diaclasado. B) Fotografía de lámina delgada de la alteración, por procesos de sustitución/corrosión, de la dolomita por calcita (micrita). Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- A) Brecciated marble, altered through joint network. B) Thin section photograph of the alteration, due to substitution/corrosion of dolomite by calcite (micrite). See color figure in the web.

Aparecen rellenando fracturas de distinta anchura o separación (desde centimétricas a métricas), varios metros de extensión, y muestran contactos netos con la roca. Estos depósitos carbonáticos han sido identificados tanto en el exterior como en las paredes de la Cueva de Nerja.

· *Calcretas.*

En el campo han sido diferenciados dos tipos de calcretas utilizando como criterio el color y la microtextura.

Las calcretas rojas (Fig. 4A) están formadas por la alternancia de niveles de micrita (calcita) con estructuras laminares (Fig. 4B), subparalelas a las paredes/fisuras y niveles pisolíticos. Son frecuentes los nódulos incipientes (*glæbules*) con grietas circumgranulares rellenas de esparita (Fig. 4C) y las láminas irregulares con cristales de microesparita. Se observan posibles rasgos biogénicos (raíces), y la presencia de granos con envueltas micríticas se relaciona con calcretas tipo beta (o biogénicas, según Wright, 1990). La presencia de parches o intercalaciones laminadas con cristales de esparita es frecuente y engloban fragmentos de roca de caja (mármol dolomítico) y silicatos (mica moscovita, vermiculita y cuarzo).

Las calcretas de color beige (Figs. 4D y E) son precipitados de micrita laminar y se caracterizan por la ausencia de filosilicatos. En la matriz, de fango carbonatado, flotan cristales o agregados de cristales de dolomita ("mármol dolomítico") de tamaño limo-arena (Fig. 4E). Predomina la textura laminar y son muy escasas las grietas circumdémicas rellenas de esparita. En ocasiones muestra una textura micro-peloidal.

· *Espeleotemas.*

Son cristales de esparita (calcita) en facies laminares de tipo *flowstone* de hasta 33 cm de potencia, con textura columnar y dendrítica abierta (Frisia y Borsato, 2010) (Figs. 4F-G). El crecimiento de esparita puede alternar con facies micro-peloidales de micrita muy pura (idéntica a la micrita color beige descrita anteriormente), y los contactos entre ambas facies (y microfases) son, en ocasiones, de tipo erosivo.

Suelos

Los sedimentos edáficos estudiados son suelos, en general, muy poco evolucionados, formados por fragmentos cristalinos de dolo-

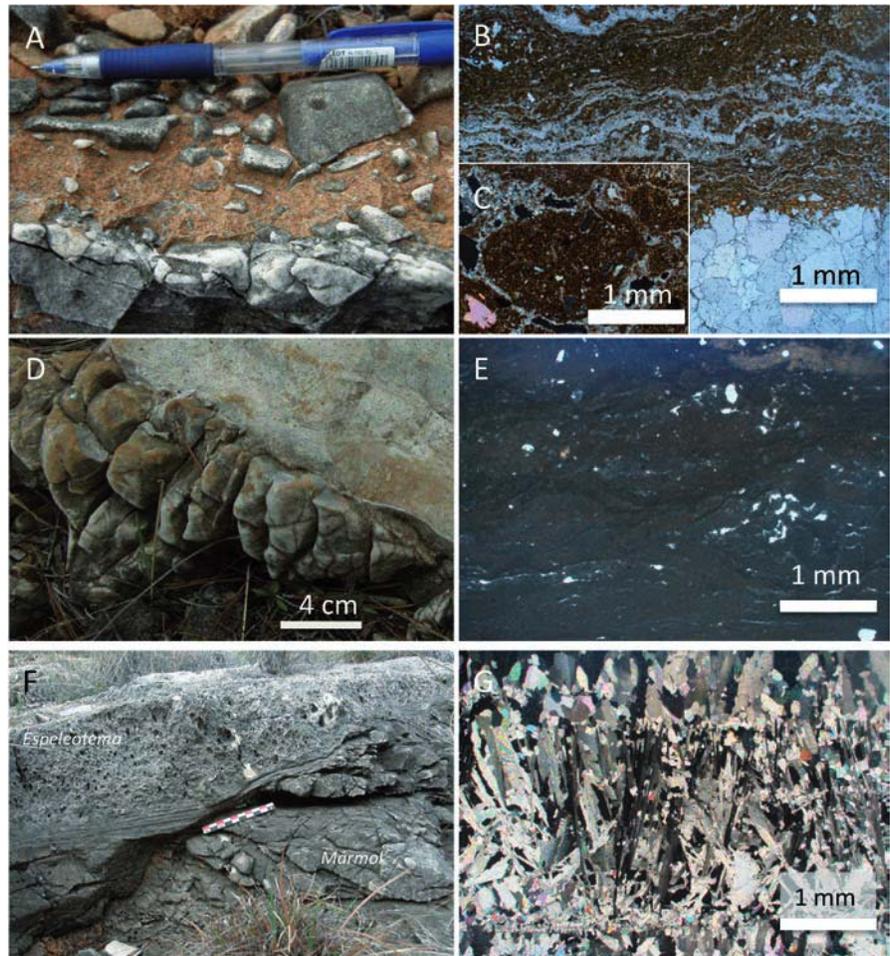


Fig. 4.- Aspecto de campo y en lámina delgada de los distintos precipitados carbonáticos: A, B y C) Calcreta roja; D-E) Calcreta beige; F-G) Espeleotema con micrita laminada a la base y colada a techo. Ver figura en color en la web.

Fig. 4.- Field appearance and thin sections of the different carbonate precipitates: A, B and C) Red calcrete; D-E) Beige calcrete; F-G) Speleothem with laminar micrite at the base and flowstone above. See color figure in the web.

mita, mayoritariamente de tamaño limo-arena fina (alrededor del 80% de los granos son de 0,01-0,6 mm), y arcilla (aproximadamente un 10%) (Fig. 5, color azul). El 10% restante corresponde a arena gruesa/muy gruesa. La composición mineralógica es aproximadamente un 95% de dolomita.

Sedimentos endokársticos de las galerías turísticas

El tamaño de grano de los sedimentos es, principalmente, arena fina formada por partículas equidimensionales y subredondeadas bien seleccionada, ocasionalmente con niveles más arcillosos (arena poco seleccionada; Fig. 5). Los depósitos de arenas presentan estructuras hídras tractivas como laminaciones cruzadas, rellenos de canal y alternancia de arenas y gravas de mármol dolomítico. La composición mineralógica es dolomita (> 97%).

Discusión y conclusiones

El sedimento que forma el escaso suelo sobre los mármoles del Manto de Almjara se compone de granos de dolomita, de tamaño arena-limo y algo de arcilla. Comparando la morfología, mineralogía y tamaño

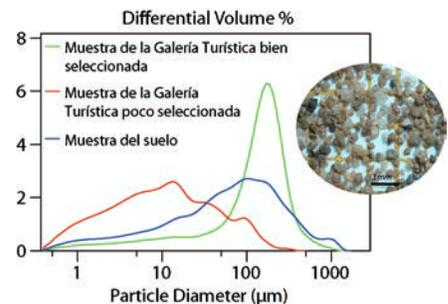


Fig. 5. Características granulométricas de los sedimentos edáficos y endokársticos. Ver figura en color en la web.

Fig. 5. Granulometry of soil and endokarstic sediment samples. See color figure in the web.

de la arena dolomítica del suelo con el mármol dolomítico de la roca subyacente, inferimos que el sedimento edáfico es el regolito formado como resultado de la disgregación meteórica superficial del mármol dolomítico. Este proceso puede ser favorecido por procesos de dedolomitización que se inician en los contactos intercrystalinos, tal y como se observan en la figura 3B. La disolución posterior de la calcita daría lugar a la formación de granos y arena de dolomita que conforma los suelos (actuales) en las inmediaciones de la cueva.

En épocas de precipitaciones intensas y poca vegetación el agua de escorrentía superficial y la que circula por el epikarst serían las responsables de la formación y/o erosión del regolito, así como del transporte de la arena dolomítica al interior del sistema kárstico. Esta hipótesis se ve reforzada por las estructuras hídras tractivas y la buena selección que presentan las arenas dolomíticas en el interior de la cavidad kárstica. No se descarta, sin embargo, que estos mismos procesos (dedolomitización y disolución de la calcita) pudieran tener lugar también en el interior de la cavidad, a favor de la circulación del agua (infiltración) por las fisuras y porosidad intergranular. La ausencia de formas exokársticas típicas de disolución podría deberse a una mayor tasa de erosión, ya sugerida por Benavente y Almécija (1993).

En épocas de aridez y alta tasa de evaporación, el regolito dolomítico quedaría englobado en las fisuras, dentro de los precipitados carbonáticos superficiales de tipo esencialmente micrítico, interpretados en este trabajo como calcretas. Comúnmente, las calcretas se forman dentro de los perfiles edáficos en climas áridos. Sin embargo, el agua subterránea, en la franja capilar del nivel freático o el epikarst, puede inducir también la precipitación de carbonato (Alonso-Zarza, 2003; Stokes *et al.*, 2007; Alonso-Zarza y Wright, 2010), en ocasiones bajo la influencia de plantas freatofíticas (Semeniuk y Meagher, 1981). En el caso de Nerja, la estrecha relación de las facies micríticas con las fisuras desarrolladas en los mármoles y los espeleotemas sugiere que estos depósitos serían formados a partir de las aguas carbonáticas que circulaban preferentemente por el epikarst (fisuras), con o

sin actividad orgánica asociada. La calcreta roja de tipo beta (Wright, 1990), con presencia de filosilicatos y cuarzo, estaría más relacionada con ambientes edáficos superficiales y actividad vegetal. Durante estos eventos áridos de formación de calcretas, se introduciría menos sedimento de arena dolomítica al sistema kárstico.

La formación de calcretas durante los eventos de máxima evapotranspiración se alterna con la formación de espeleotemas, que representan intervalos de mayor humedad. Los espeleotemas observados son mayoritariamente de tipo colada o *flowstone* que, en algunos casos, recubren pequeñas estalagmitas y fístulas (goteo). Estos espeleotemas ocasionalmente están a techo de las calcretas color beige que, por sus rasgos petrográficos, han sido interpretados como calcretas ligadas a zonas más profundas dentro del epikarst.

Los sedimentos carbonáticos descritos se observan tanto en las paredes de la Cueva de Nerja (intersectados por ésta) como en el exterior. Esto permite inferir que: a) su desarrollo afecta a una franja de al menos 15 m de espesor (epikarst) y b) al menos en parte, su formación es anterior a la formación de la cavidad. Teniendo en cuenta que en el relleno vadoso de la Cueva de Nerja han sido descritos espeleotemas de más de 800 ka (Durán, 1996), al menos parte de los precipitados carbonáticos pueden remontarse al Pleistoceno inferior o Plioceno, quizás durante la formación de los abanicos aluviales cementados por carbonato.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Cueva de Nerja a través del proyecto *Estudio Geológico de la Cueva de Nerja* (anualidad 2017) y el proyecto IT1029-16-GBV6 del Gobierno Vasco. Queremos agradecer la labor de los técnicos de laboratorio del SGIker y UBU. Una mención especial a los revisores, Ana Alonso Zarza y Daniel Ballesteros, por sus aportaciones; a Luis Efrén Fernández, Conservador Arqueólogo de la Cueva de Nerja, por facilitarnos todas las tareas en Nerja; y a Eneko Iriarte, sin cuya colaboración, este trabajo no hubiera sido posible.

Referencias

- Alonso-Zarza, A.M. (2003). *Earth-Science Reviews* 60, 261-298.
- Alonso-Zarza, A.M. y Wright, V.P. (2010). En: *Carbonates in Continental Settings* A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, Eds. *Developments in Sedimentology* 61, 225-267.
- Andreo, B., Carrasco, F. y Sanz de Galdeano, C. (1993). En: *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco, Coord.). Trabajos sobre la Cueva de Nerja 3, 25-50., 25-50.
- Arrese González, B. (2009). *Geomorfología, evolución geológica y condiciones ambientales actuales de la Cueva de Nerja, Málaga*. Tesis doctoral, Univ. Autónoma de Madrid, 368 p.
- Benavente, J. y Almécija, C. (1993). En: *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco, Coord.). Trabajos sobre la Cueva de Nerja 3, 119-158.
- 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, Univ. Complutense de Madrid, 409 p.
- Durán, J.J., Grün, R. y Ford, D.C. (1993). En: *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco, Coord.). Trabajos sobre la Cueva de Nerja 3, 223-248.
- Frisia, S. y Borsato, A. (2010). En: *Carbonates in Continental Settings* (A.M. Alonso-Zarza y L.H. Tanner, Eds.). *Developments in Sedimentology* 61, 269-319.
- Guerra-Merchán, A., Serrano, F. y Ramallo, D. (2004). *Geomorphology* 60, 89-105.
- López Sánchez-Vizcaíno, V. y Gómez Pugnaire, M.T. (1993). En: *Geología de la Cueva de Nerja* (F. Carrasco, Coord.). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja* 3, 191-229.
- Rodríguez Vidal, J. y Cáceres, L.M. (1993). *Geogaceta* 14, 49-51.
- Semeniuk, V. y Meagher, T.D. (1981). *Journal Royal Society of Western Australia* 64, 33-51.
- Stokes, M., Nash, D.J. y Harvey, A.M. (2007). *Geomorphology* 85, 63-84.
- Wright, V.P. (1990). En: *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science* (L. A. Douglas, Ed.), *Developments in Soil Science* 19. 401-407.