

Condiciones áridas en torno al evento 8,2 ka registradas por los isótopos estables del yeso en Laguna de Medina (Cádiz)

Arid conditions around the 8.2 ka event recorded by stable isotopes of gypsum in Laguna de Medina (Cádiz)

Lucía Martegani¹, Fernando Gázquez¹, Martin Melles², Tabea Schröder³ y Klaus Reicherter⁴

¹Grupo de Recursos Hídricos y Geología Ambiental. Departamento de Biología y Geología. Universidad de Almería. Crta de Sacramento sn. La Cañada de San Urbano. 04120. Almería. España. lm263@ual.es; f.gazquez@ual.es

²Institute of Geology and Mineralogy, University of Cologne, Alemania mmelles@uni-koeln.de

³Institute of Geology and Paleontology, Aachen University, Alemania tabea.schroeder@rwth-aachen.de

⁴Institute of Neotectonics and Natural Hazards, RWTH Aachen University, Alemania k.reicherter@nug.rwth-aachen.de

ABSTRACT

The southern Iberian Peninsula has been especially sensitive to climate changes during the Holocene, which were recorded by the sedimentary sequences in the numerous lakes of the Guadalquivir Basin. In this study, we investigate the oxygen and hydrogen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and d -excess) of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hydration water from the sedimentary sequence of Laguna de Medina (Cádiz) to reconstruct the isotopic composition of the lake water in the past, in connection to climate changes. We focus on sediments retrieved from 24 to 18 m deep, which ages range from ~9.0 to ~7.0 cal. ky BP. The sediments of the lake recorded an intense aridity episode around ~7.7 cal. ky BP, evidenced by the presence of gypsum. The elevated $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of the paleo-lake water (up to 7.4‰ and 26.1‰, respectively) indicate that the solution from which gypsum formed was highly evaporated. Such arid conditions could be attributed to the 8.2 ka event, a global cold climatic episode. Research in progress aims to quantify climatic parameters (humidity and temperature) during the 8.2 ka event from the Laguna de Medina sedimentary sequence and to improve the chronology of this episode.

Key-words: gypsum, stable isotopes, 8.2 ka event, paleoclimate, lakes.

Geogaceta, 73 (2023), 43–46

<https://doi.org/10.55407/geogaceta95513>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

El clima de la zona meridional de la Península Ibérica se caracteriza por sus veranos secos y cálidos y sus inviernos templados y con precipitaciones moderadas. Debido a su ubicación en un área de transición entre latitudes templadas y subtropicales y a sus contrastes climáticos anuales, el sur peninsular resulta particularmente sensible a cambios ambientales a escala global (Lionello *et al.*, 2006). Como consecuencia de esta alta sensibilidad climática, Andalucía ha sido el escenario de diversos estudios paleoclimáticos llevados a cabo en las últimas décadas. Estas investigaciones han utilizado espeleotemas, sedimentos ma-

rinós y fundamentalmente sedimentos de lagos (Reed *et al.*, 2001; Nieto-Moreno *et al.*, 2011; Gázquez *et al.*, 2020, entre otros) con el fin de reconstruir cambios en las temperaturas y las precipitaciones durante las distintas fases del Holoceno. La Laguna de Medina (Cádiz; Fig.1) es uno de los lagos que mayor interés ha despertado desde el punto de vista de los estudios paleoclimáticos debido su carácter semi-permanente y a su tamaño, siendo uno de los cuerpos de agua naturales de mayor volumen de Andalucía. Los estudios preliminares sobre los sedimentos de Laguna de Medina detectaron la presencia de niveles de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), un mineral evaporítico que suele precipitar en algunos lagos durante

RESUMEN

Las variaciones climáticas acontecidas durante el Holoceno en el sur de la Península Ibérica quedaron registradas en las secuencias sedimentarias de las numerosas lagunas que ocupan la depresión del Guadalquivir. En el presente trabajo se ha analizado la composición isotópica del oxígeno y el hidrógeno ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ y d -exceso) del agua de hidratación del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) de sedimentos de la Laguna de Medina (Cádiz), extraídos de entre 24 y 18 m de profundidad y con edades comprendidas entre ~9,0 y ~7,0 cal. ky BP (kiloaños calibrados antes del presente), con el fin de reconstruir los valores isotópicos del agua del lago durante este periodo. Los sedimentos de la laguna registraron un periodo especialmente seco en torno a ~7,7 cal. ky BP, evidenciado por la presencia de yeso. Los valores elevados de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ del agua del lago (hasta 7,4‰ y 26,1‰, respectivamente) sugieren que la solución a partir de la cual precipitó el yeso estaba extremadamente evaporada. Esta etapa árida podría corresponder al evento 8,2 ka, un episodio climático frío que tuvo extensión global. Investigaciones en progreso permitirán cuantificar las condiciones climáticas (humedad y temperatura) durante este periodo y perfeccionar su cronología.

Palabras clave: yeso, isótopos estables, evento 8,2 ka, paleoclima, lagos.

Fecha de recepción: 10/07/2022

Fecha de revisión: 28/10/2022

Fecha de aceptación: 02/12/2022

periodos relativamente secos (p.ej. Evans *et al.*, 2018). Estos niveles, que predominan en las profundidades de entre ~24 y 18 m, y son menos abundantes entre ~4 y 2,5 m, se corresponden con edades de entre ~9,0 y ~7,0 cal. ky BP y ~2,6 y ~1,7 cal. ky BP, respectivamente. Debido a la presencia de dos moléculas de agua en su estructura cristalina, las cuales son incorporadas a partir de la solución acuosa presente en el momento de su cristalización, el yeso es capaz de reflejar la composición isotópica del agua de la que proviene. En consecuencia, los isótopos estables del agua de hidratación del yeso pueden utilizarse para reconstruir rasgos paleoclimáticos e hidrogeológicos, por ejemplo, el grado de

evaporación durante la formación en sedimentos lacustres de depósitos yesíferos (Evans *et al.*, 2018).

Dentro del Holoceno temprano se reconoce un período comprendido entre 8,2-7,8 *cal. ky BP* que fue especialmente frío en la mayor parte del hemisferio norte, conocido como evento 8,2 ka. Su origen estuvo relacionado con el proceso de deshielo en el Ártico, que habría provocado el rápido enfriamiento de las aguas del Atlántico Norte, alterado sus condiciones de circulación (Alley y Agústsdóttir, 2005). Este evento fue definido inicialmente a partir de la composición isotópica del oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) de testigos de hielo de Groenlandia (Alley *et al.*, 1997). El evento 8,2 ka tuvo magnitud global y ha sido documentado también a partir registros sedimentarios en diversas partes del mundo, incluyendo el Atlántico Norte y Europa occidental (Alley *et al.*, 1997, entre otros), Norteamérica (Kurek *et al.*, 2002), Asia occidental y el norte de África (Gasse y Van Campo, 1994). Si bien en general las temperaturas globales se tornaron más frías, en Europa occidental el patrón hidrológico no fue homogéneo y las condiciones de humedad variaron desde húmedas a secas dependiendo de la región (López Sáez *et al.*, 2008), siendo la zona mediterránea un ejemplo de éstas últimas (p.ej. Dean *et al.*, 2015 y Zielhofer *et al.*, 2017).

El presente estudio se centra en el análisis de isótopos estables de oxígeno e hidrógeno en el agua de hidratación del yeso de sedimentos de Laguna de Medina, obtenidos de las profundidades de entre 24 y 18 m, con edades comprendidas entre ~9,0 y ~7,0 *cal. ky BP*. El objetivo es reconstruir la composición isotópica del agua del lago durante este periodo, dentro del cual se encuentra el evento 8,2 ka.

Estudios previos en Laguna de Medina

Reed *et al.* (2001), en base a un testigo de sedimentos de ~10 m obtenido del centro de Laguna de Medina, realizaron una reconstrucción paleoclimática de salinidad y cambios del nivel del lago a partir de indicadores biológicos. Este trabajo presentó el primer conjunto detallado de datos paleoclimáticos de Andalucía durante los últimos 9.500 años.

Más recientemente, van't Hoff

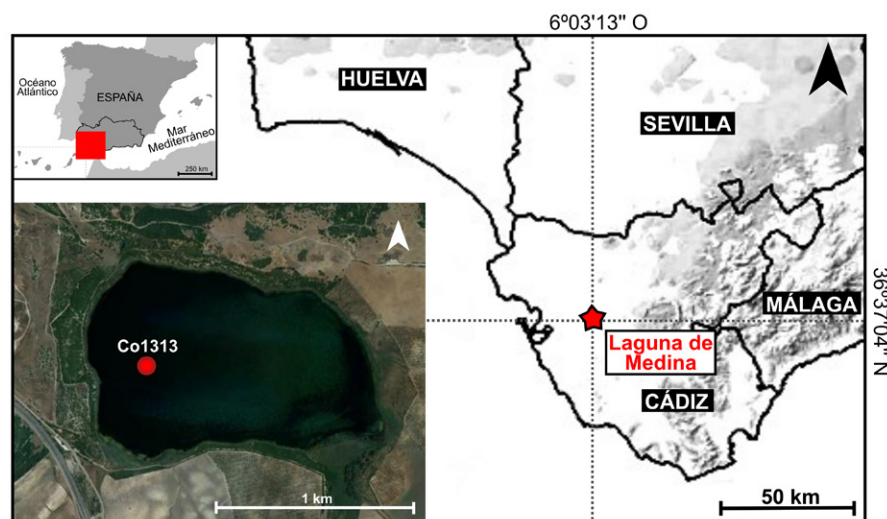


Fig. 1. Ubicación de Laguna de Medina y localización del testigo Co1313.

Fig. 1. Location of Laguna de Medina and sampling site of core Co1313.

(2017), Schröder *et al.* (2018) y Schröder *et al.* (2020) llevaron a cabo nuevos estudios paleoclimáticos multi-indicadores de alta resolución en Laguna de Medina a partir de un testigo compuesto de 25,7 m (Co1313; Fig.1). Los análisis de facies sedimentarias, composición elemental, mineralogía, palinología y macro-paleontología, apoyados en un modelo de edades basado en dataciones de ^{14}C , permitieron reconstruir la respuesta limnológica a los cambios climáticos y la dinámica de la cuenca durante los últimos 9.500 años. Del modelo de edades se dedujo que en los últimos 2.800 años (4,5 m superiores), la tasa de sedimentación fue relativamente constante, con valores de ~1,1 mm/año. Por debajo de esta profundidad, la velocidad de acumulación de sedimentos fue considerablemente más elevada, del orden de 3,8 mm/año.

Materiales y Métodos

Para este estudio se utilizaron muestras de sedimento obtenidas del testigo compuesto Co1313 utilizado por van't Hoff (2017) y posteriormente por Schröder *et al.* (2018) y Schröder *et al.* (2020). Se analizaron 13 muestras, seleccionadas en base a la presencia de yeso, tomadas a profundidades de entre 24 y 18 m, con edades comprendidas entre ~9,0 y ~7,0 *cal. ky BP*. En general, el yeso en las muestras aparece en forma de masas pulverulentas de grano muy fino con colores grisáceos y frecuentemente se observa laminación. Las muestras seleccionadas fueron analizadas para determinar la composición isotópica del

oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) y el hidrógeno ($\delta^2\text{H}$) en el agua de hidratación del yeso. Para ello se empleó un módulo de inducción térmica (IM-CRDS, Picarro®) ensamblado a un espectrómetro láser basado en la tecnología *Cavity Ringdown Spectroscopy* (CRDS), modelo Picarro® L2140i en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Almería. En este proceso, la muestra (~15 mg) se deshidrata a una temperatura final de 200°C y el vapor generado se analiza "en línea" mediante el analizador isotópico Picarro. La calibración de los valores isotópicos con respecto al patrón internacional V-SMOW (*Vienna-Standard Mean Ocean Water*), se llevó a cabo mediante el análisis de tres patrones internos de yeso. Se realizaron 5 repeticiones de cada muestra y la precisión fue de <0,2‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y <1‰ para $\delta^2\text{H}$, siendo similar para muestras y patrones. La composición isotópica del agua inicial a partir de la cual se produjo la precipitación del yeso se calculó aplicando los coeficientes de fraccionamiento isotópico entre el yeso y el agua a 25°C ($1,0034 \pm 0,0001$ y $0,981 \pm 0,001$ para $\alpha^{18}\text{O}_{\text{yeso-agua}}$ y $\alpha^2\text{H}_{\text{yeso-agua}}$ respectivamente), que son prácticamente independientes de la temperatura en el rango térmico de la mayoría de los lagos (Gázquez *et al.*, 2017).

Resultados

Los resultados isotópicos del agua de hidratación del yeso (Fig.2) fluctuaron entre 6,5 y 10,8‰, con un valor medio de $8,2 \pm 0,2$ ‰, para el $\delta^{18}\text{O}_{\text{yeso}}$ y entre -10,3 y 5,6‰, con una media de $-3,9 \pm 1,3$ ‰,

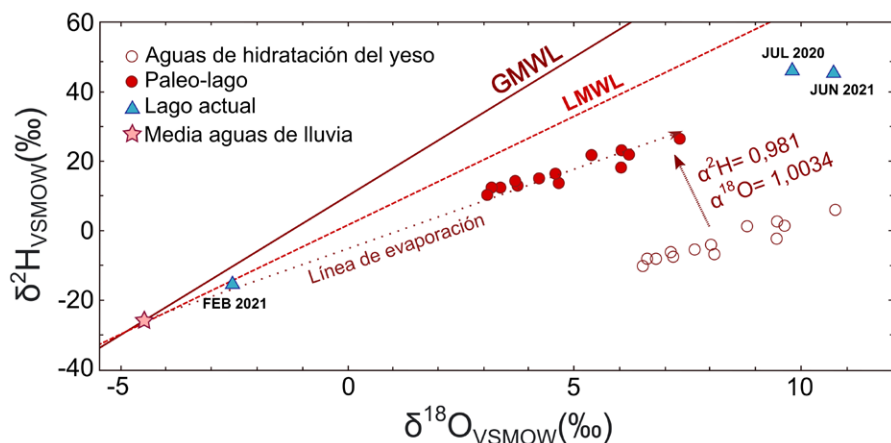


Fig. 2. Composición isotópica del agua original (paleo-lago) obtenida a partir de las muestras de yeso de Laguna de Medina. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ se alinean a lo largo de una línea de evaporación que corta a la LMWL (línea meteórica del agua local) en valores similares a los de la media ponderada de las aguas de lluvia (~-5‰ y -30‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, respectivamente). A modo de comparación, se representa la composición isotópica del agua del lago actual, tomada en distintos periodos de la year.

Fig. 2. Isotopic composition of Laguna de Medina paleo-lake water reconstructed from gypsum samples. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values are aligned along an evaporation line that intersects the LMWL (local meteoric water line) at values similar to those of the weighted mean of rainwater (~-5‰ and -30‰ for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$, respectively). For comparison, the isotopic composition of the current lake water, taken in different periods of the year, is represented.

en el caso del $\delta^2\text{H}_{\text{yeso}}$. Una vez aplicados los coeficientes de fraccionamiento propuestos por Gázquez *et al.* (2017), se pudo reconstruir la composición isotópica del agua original del lago a partir de la cual precipitó el yeso analizado. En este caso, los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{lago}}$ variaron entre 3,1 y 7,4 ‰, con una media de $4,8 \pm 0,2\%$, mientras que los de $\delta^2\text{H}_{\text{lago}}$ lo hicieron entre 9,9 y 26,1‰, con una media de $16,4 \pm 1,3\%$. El d-exceso, por su parte, presentó valores entre -13,7 y -33‰, con una media de -21,6‰. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y de $\delta^2\text{H}$ se alinean formando una recta con una pendiente de 3,4.

Discusión

En Laguna de Medina, el clima relativamente árido en torno al evento 8,2 ka dio lugar a un aumento en la tasa de precipitación de yeso y a valores elevados de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ del agua del paleo-lago en el periodo comprendido entre 7,8 y 7,4 cal. ky BP. En otras áreas de la Península Ibérica, el Mediterráneo y Europa central, también se ha identificado este fenómeno climático hiperárido. No obstante, cabe destacar que algunos estudios de secuencias sedimentarias del sur peninsular no sugieren la presencia de un evento climático árido estricto alrededor de 8,2 cal. ky BP, sino un periodo seco más prolongado en torno a 7,5 cal. ky BP (Ramos-Román *et al.*, 2018).

En la Figura 3 se han representado

algunos ejemplos de registros paleoclimáticos del evento 8,2 ka que incluyen los lagos endorreicos Nar (Capadocia, Turquía; Dean *et al.*, 2015) y Sidi Ali (Atlas Medio, Marruecos; Zielhofer *et al.*, 2017), una sección del testigo de hielo GISP2 extraído en Groenlandia por el *Greenland Ice Sheet Project II* (Grootes *et al.*, 1993) y espeleotemas de la Cueva de la Garma (Cantabria, España; Baldini *et al.*, 2019) y Galería das Lâminas (Torres Novas, Portugal; Benson *et al.*, 2021).

Tal y como se observa en la Figura 3, existe un desfase temporal de aproximadamente 500 años en la cronología del evento 8,2 ka en Laguna de Medina con respecto a otros registros paleoclimáticos. El origen de esta incongruencia podría residir en el modelo de edades del testigo Co1313, debido a que las únicas edades obtenidas por ^{14}C en profundidades cercanas del evento 8,2 ka corresponden a 7,14 y 8,83 cal. ky BP (Schröder *et al.*, 2018).

Trabajos previos en Laguna de Medina (Reed *et al.*, 2001) interpretaron la existencia de un evento de elevada salinidad en torno a 7,99 cal. ky BP en esta laguna, en base a un pico de abundancia de *Hydrobia sp.* y polen de la familia de las *Chenopodiaceae*.

Dichos autores, correlacionaron este episodio con una fase de inestabilidad registrada en lagos tropicales africanos hacia los 8,5-7,8 cal. ky BP, la cual se ha relacionado con las fluctuaciones climáticas propias del evento 8,2 ka.

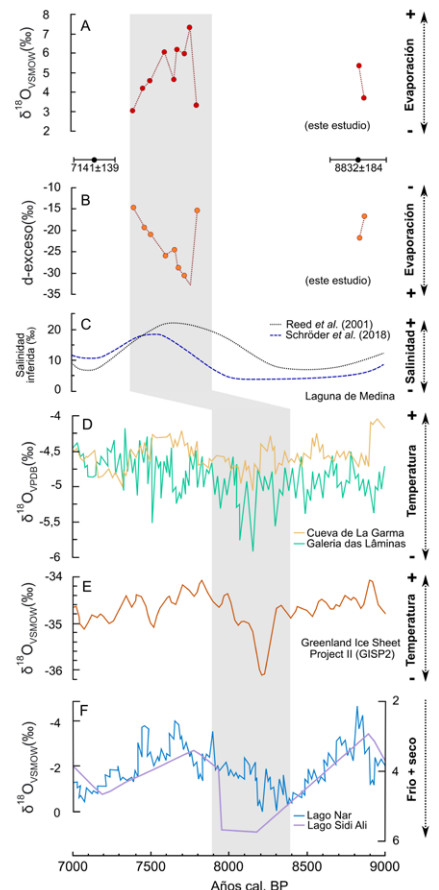


Fig. 3. Correlación del evento 8,2 ka (sombra gris). (A y B) Laguna de Medina (este estudio). (C) Laguna de Medina (Reed *et al.*, 2001; Schröder *et al.*, 2018). (D) Cueva de la Garma, España (Baldini *et al.*, 2019) y Galería das Lâminas, Portugal (Benson *et al.*, 2021). (E) Testigo de hielo GISP2, Groenlandia (Grootes *et al.*, 1993) y (F) Lago Nar, Turquía (Dean *et al.*, 2015) y Lago Sidi Ali, Marruecos (Zielhofer *et al.*, 2017).

*Fig. 3. Correlation of the 8.2 ka event (gray shadow). (A and B) Laguna de Medina (this study). (C) Laguna de Medina (Reed *et al.*, 2001; Schröder *et al.*, 2018). (D) Cueva de la Garma, Spain (Baldini *et al.*, 2019) and Galería das Lâminas, Portugal (Benson *et al.*, 2021). (E) Ice core GISP2, Greenland (Grootes *et al.*, 1993) and (F) Lake Nar, Turkey (Dean *et al.*, 2015) and Lake Sidi Ali, Morocco (Zielhofer *et al.*, 2017).*

En consecuencia, la edad de 7,99 cal. ky BP podría resultar más apropiada para situar cronológicamente el pico de aridez del evento 8,2 ka en Laguna de Medina, que además coincide con otros registros de este episodio seco (Fig. 3).

En cualquier caso, resulta necesario perfeccionar la cronología del registro sedimentario de Laguna de Medina, aumentando el número de dataciones con ^{14}C en esta sección del testigo, para poder ubicar de forma más precisa el evento 8,2 ka.

Conclusiones

Los resultados expuestos en este trabajo ponen de manifiesto el potencial de los isótopos estables en agua de hidratación del yeso en lagos andaluces para estudiar las condiciones climáticas y la historia ambiental del Holoceno en la Península Ibérica. En Laguna de Medina, la aplicación de esta técnica ha permitido detectar la presencia de un periodo de intensa evaporación registrado por los sedimentos de la laguna en torno a 7,7 cal. ky BP, el cual podría estar relacionado con el evento climático 8,2 ka. Mejorar la cronología del testigo en torno a las láminas de yeso permitirá datarlo de forma más precisa y así poder correlacionarlo con registros climáticos de este episodio en otras áreas de la zona mediterránea oriental y occidental y del resto de Europa.

Contribución de los autores

L.M analizó las muestras de yeso y escribió la versión preliminar del manuscrito. F.G participó en la conceptualización del estudio y desarrolló el método analítico. M.M, T.S y K.R extrajeron los testigos de la laguna y participaron en la preparación de las muestras. Todos los autores participaron en la escritura del manuscrito.

Agradecimientos

Este estudio estuvo financiado por el proyecto PALEOQUANT (P18-RT-871) de la Junta de Andalucía y Fondos FEDER de Desarrollo Regional y el proyecto GYP-CLIMATE (PID2021-123980OA-I00) del

Ministerio de Economía y Competitividad de España cofinanciado con Fondos Europeos FEDER de Desarrollo Regional. Lucía Martegani agradece el contrato de Formación de Profesorado Universitario FPU21/06924. Fernando Gázquez agradece el contrato Ramón y Cajal (RYC2020-029811-I) y la ayuda PPIT-UAL de la Junta de Andalucía-FEDER 2022-2026 (RyC-PPI2021-01).

Referencias

- Alley, R.B., Mayewski, P.A., Sowers, T., Stuiver, M., Taylor, K.C. y Clark, P.U. (1997). *Geology*, 25, 483-486. <https://doi.org/cc64df>
- Alley, R.B. y Agústsdóttir, A.M. (2005). *Quaternary Science Reviews*, 24, 1123-1149. <https://doi.org/b5qrcr>
- Baldini, L.M., Baldini, J.U.L., McDermott, F., Arias, P., Cueto, M., et al. (2019). *Quaternary Science Reviews* 226: 105998. <https://doi.org/gqknfn>
- Benson, A., Hoffmann, D. L., Daura, J., Sanz, M., Rodrigues, F., Souto, P. y Zilhão, J. (2021). *The Holocene* (31), 8, 1339-1350. <https://doi.org/gk8h59>
- Dean, J.R., Jones, M.D., Leng, M.J., Noble, S.R., Metcalfe, S.E., Sloane, H.J. et al. (2015). *Quaternary Science Reviews*, 124, 162-174. <https://doi.org/f7r4k6>
- Evans, N.P., Bauska, T. K., Gázquez, F., Curtis, J.H., Brenner, M. y Hodell, D.A. (2018). *Science*, 361, 6401, 498-501. <https://doi.org/gd3mjd>
- Gasse, F. y Van Campo, E. (1994). *Earth and Planetary Science Letters*, 126, 435-456. <https://doi.org/dgb68j>
- Gázquez F., Evans, N. P. y Hodell D. A. (2017). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 198, 259-270. <https://doi.org/f9jwxb>
- Gázquez F., Bauska, T.K., Comas-Bru, L., Bassam, G., Calaforra, J.M. y Hodell, D.A. (2020). *Scientific Reports*, 10, 14705. <https://doi.org/gj7jta>
- Grootes, P. M., Stuiver, M., White, J. W. C., Johnsen, S. J. y Jouzel, J. (1993). *Nature*, 366, 552-554. <https://doi.org/fw5cg5>
- Kurek, J., Cwynar, L., Spear, R.W. y Schulz, M. (2002). En: *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 34, 49.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P. et al. (2006). *Developments in Earth and Environmental Sciences*. <https://doi.org/dfdktt>
- López-Sáez, J.A., López-Merino, L. y Pérez-Díaz, S. (2008). En: *VII Congreso Ibérico de Arqueometría*, 77-86.
- Nieto-Moreno, V., Martínez-Ruiz, F., Giral, S., Jimenez-Espejo, F., Gallego-Torres, D. et al. (2011). *Climate of the Past*, 7, 1395-1414. <https://doi.org/bhn2b6>
- Ramós-Román, M.J., Jiménez-Moreno, G. et al. (2018). *Global and Planetary Change*, 168, 35-63. <https://doi.org/gd4m84>
- Reed, J.M., Stevenson, A.C. y Juggins, S. (2001). *The Holocene*, 11, 707-719. <https://doi.org/d9mqbb>
- Schröder, T., van't Hoff, J., López-Sáez, J.A., Viehberg F., Melles, M. y Reicherter, K. (2018). *Quaternary Science Reviews*, 198: 208-225. <https://doi.org/gfhdxv>
- Schröder, T., López-Sáez, J.A., van't Hoff, J. y Reicherter, K. (2020). *The Holocene*, 30 13-22. <https://doi.org/gp9vzk>
- van't Hoff, J. (2017). Tesis doctoral. Unidad de Colonia, Alemania. 115 p.
- Zielhofer, C., Fletcher, W. J., Mischke, S., De Batist, M., Campbell, J. F. E. et al. (2017). *Quaternary Science Reviews*, 157, 29-51. <https://doi.org/f9tf3d>