

Uso de mercurio para el beneficio de yacimientos secundarios de oro en época romana. ¿Realidad o ficción?

Mercury alloy for secondary gold ores extraction in Roman times. Fact or fiction?

Javier Fernández-Lozano¹, Antonio Nsue Nandong², Sofía Rivera², José María Esbri², Rosa M. Carrasco³, Javier Pedraza⁴, Antonio Bernardo-Sánchez⁵ y Pablo Higuera²

¹ Área de Prospección e Investigación Minera. Dpto. Ingeniería Minera, Topografía y Estructuras. ESTI de Minas. Universidad de León. Campus de Vegazana s/n, 24071, León. jferl@unileon.es

² Instituto de Geología Aplicada, Universidad de Castilla-La Mancha, 13400 Almadén (Ciudad Real) pablo.higuera@uclm.es, josemaria.esbri@uclm.es

³ Dpto. Ingeniería Geológica y Minera. Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La Mancha. Avda. Carlos III s/n, 45071, Toledo. rosa.carrasco@uclm.es

⁴ Dpto. Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Nováis 12, 28040, Madrid. javierp@geo.ucm.es

⁵ Área de Explotación Minera. Dpto. Ingeniería Minera, Topografía y Estructuras. ESTI de Minas. Universidad de León. Campus de Vegazana s/n, 24071, León. antonio.bernardo@unileon.es

RESUMEN

Una de las mayores controversias que suscita el estudio geoarqueológico de la minería aurífera romana se refiere al empleo de la amalgama con mercurio (Hg) para la concentración de oro en yacimientos tipo placer, donde éste aparece libre, en forma de pequeñas partículas o pepitas que se acumulan en el sedimento aurífero. A pesar de que el uso y propiedades del mercurio fueron conocidas en época romana, son escasos los trabajos realizados que permiten establecer las condiciones en las que su empleo estaba justificado en la recuperación y beneficio del oro procedente de yacimientos secundarios. En este artículo se ha realizado un estudio geoquímico de suelos para establecer su empleabilidad en la recuperación de oro en este tipo de explotaciones. Para ello, se ha analizado la concentración de Hg en los tramos de canal de lavado (agogae), donde se realizaría la extracción de oro. Los resultados indican que las anomalías observadas están ligadas al acopio y su posterior uso, ya que se concentran en los tramos inferiores de los canales. Esto confirma el empleo de mercurio para el beneficio aurífero en yacimientos de tipo placer, arrojando luz sobre los métodos metalúrgicos empleados en época romana.

Palabras clave: Minería aurífera romana; mercurio; Distrito aurífero del Eria; yacimientos placer; prospección geoquímica.

ABSTRACT

One of the major controversies in the geo-archaeological study of Roman gold mining concerns the use of mercury (Hg) amalgamation for gold concentration in placer-type deposits, where appears as native gold, in the form of small particles or nuggets that accumulate in the sediment. Despite the use and properties of Hg were known in Roman times, few studies have been focused on the conditions under which its use was justified in the recovery of gold from placer deposits. In this article a soil geochemical study has been conducted to confirm its use in the gold recovery process within this type of exploitations. To this end, the concentration of Hg was analyzed in sections of the washing channel (agogae), where the gold was extracted. The results indicate that Hg anomalies are associated with the collection and subsequent use of mercury, since they are concentrated in the lower sectors of the mine. This suggests the use of Hg for gold mining recovery in placer ore deposits, shedding light into the metallurgical methods used in Roman times.

Key-words: Roman gold mining; mercury; Eria gold district; placer ores; geochemical exploration

Geogaceta, 69 (2021), 75-78
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31/03/2020
Fecha de revisión: 23/10/2020
Fecha de aceptación: 27/11/2020

Introducción

El yacimiento aurífero de Las Medulas (León), declarado Patrimonio de la Humanidad en 1997 por la UNESCO, es un referente mundial de la minería romana para la obtención de oro, mediante el empleo de métodos de alto rendimiento, que requerían de una ingeniería hidráulica revolucionaria para la época (Lewis y Jones, 1970; Sánchez-Palencia *et al.*, 1990; Domergue y Hérial, 1999; Sánchez-Palencia *et al.*, 2000). Se trataba de un método que utilizaba la fuerza hidráulica para el arranque del todo uno, pero también para el beneficio del oro contenido; el método, que consistía en la remoción de grandes volúmenes de

material sedimentario de elevado espesor (>30 m), recibe el nombre de *Ruina Montium* (ver Domergue, 1986 entre otros). Su aplicación es posible porque las rocas que contienen el oro son rocas detríticas, que en concreto corresponden a las formaciones geológicas miocenas Santalla y Médulas (Heredia *et al.*, 2015). Sin embargo, existe otra tipología de yacimientos en materiales similares que alcanzan grandes extensiones y se caracterizan por presentar unas potencias menores de material sedimentario (5-15 m). En estos casos, los trabajos de lavado del oro se concentran en la zona inferior de la explotación, donde se ha focalizado el estudio geoquímico de mercurio.

El objetivo del presente trabajo ha sido localizar mediante geoquímica de suelos indicios de la presencia de mercurio, que permitan establecer si este fue usado en el sistema de recuperación de oro en placeres de escaso espesor.

Método de explotación romana

El conjunto de explotaciones mineras de Castrocontrigo (SO de la provincia de León, Figura 1A), conocidas localmente como Las Murias-Los Tallares, representan un laboratorio natural para el estudio de las técnicas de explotación aurífera en época romana, gracias a su buen estado de conservación. Dentro de este entramado minero se sitúan las minas del Vallico

La Escoba, estudiadas en este trabajo.

Estas explotaciones se sitúan sobre un depósito de raña (Plio-Cuaternario) que se extienden a lo largo de más de 5 km sobre la ribera del río Eria, compuesto por niveles de conglomerados rojizos que no superan los 5-10 m de espesor.

En este tipo de yacimientos secundarios, los métodos de extracción están basados en obtener el máximo rendimiento en toda su extensión, a través de la construcción de un entramado hidráulico consistente en estanques y canales para el acopio y distribución del agua que era dirigida hacia las explotaciones. Una vez el agua llegaba a la mina, el trabajo extractivo se centraba en la apertura de surcos convergentes, dando lugar a formas en peine sobre el relieve (Figura 1B).

El beneficio de los placeres auríferos se llevó a cabo mediante la aplicación del método denominado como "arrugia" romana, es decir, la separación del oro de forma mecánica mediante el lavado del sedimento. Clasificando el material en función de su tamaño y desechando la parte más gruesa (bloques y cantos) para formar estructuras lineales de estériles, conocidos en la provincia como "murias". En la parte final de la explotación se situaban los lavaderos o zonas de evacuación, aprovechando la separación por gravedad en el flujo de agua.

En estos tramos se ubicaban los canales de lavado o "agogae" (Figura 2), dispuestos como una serie de tablones donde se realizaría, de acuerdo con la descripción de Plinio el Viejo en su *Historia Naturalis*, la extracción de partículas de oro mediante el uso de plantas de brezo o urz (*Ericaceae*): las "palagae" o "palacurnae", también denominado *balux*, cuando el tamaño de las partículas era pequeño.

A pesar de existir numerosas referencias al proceso de extracción del oro en estos canales "agogae", son especialmente difusas las que aluden al posible proceso de recuperación del metal mediante el empleo de *hydrárgiro* o mercurio.

Metodología

Para realizar la geoquímica de suelos se diseñó una malla de muestreo regular de 42 muestras distribuidas en 4 perfiles perpendiculares a los canales, de 300 m de longitud y con 10 muestras por perfil, así como dos muestras de fondo tomadas en los extremos de la explotación

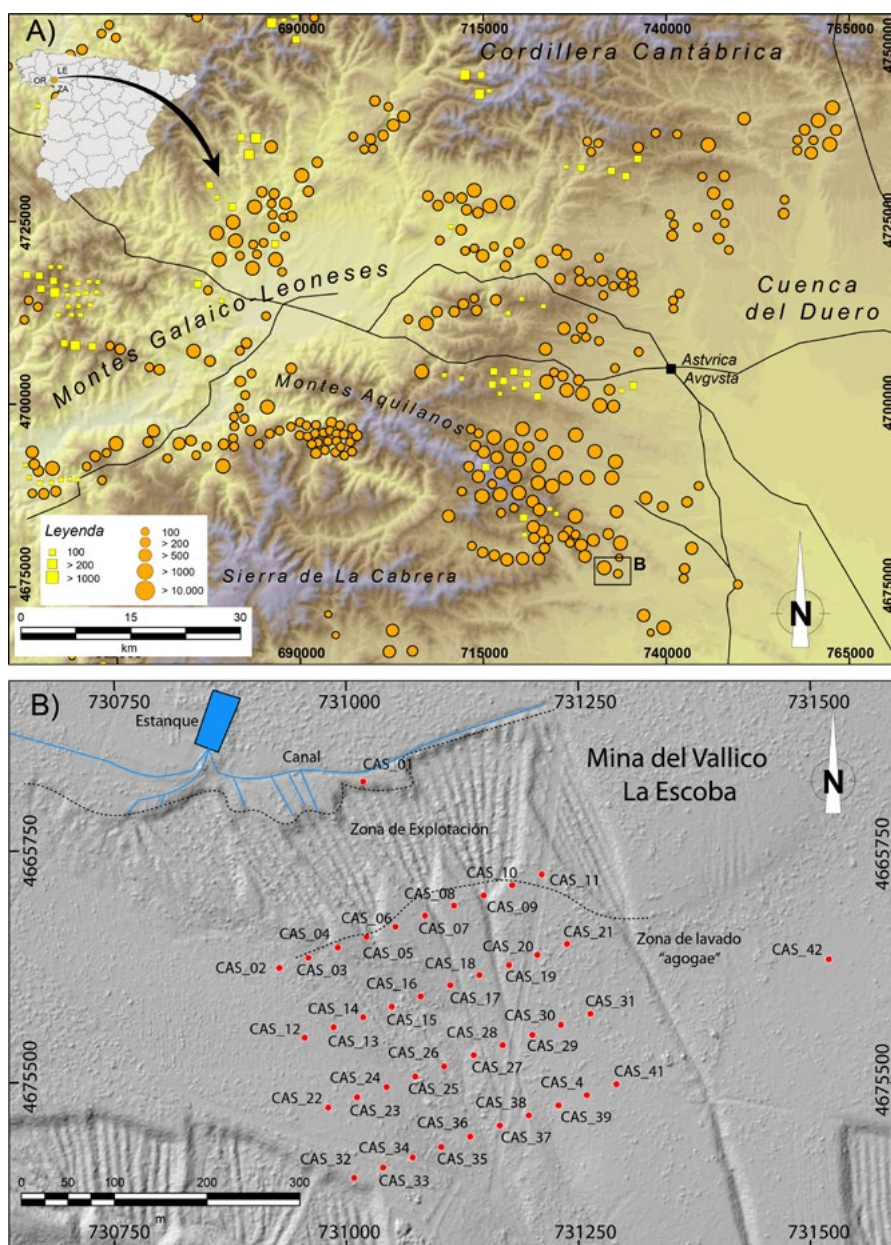


Fig. 1.- A) Mapa con las principales explotaciones auríferas (primario y secundario) de época romana en el noroeste de Iberia. Datos de oro en volumen (m³ x 1.000). B) Zona de estudio y localización de las muestras para geoquímica de mercurio.

Fig. 1.- A) Map of the Roman gold mines in NW Iberia (primary and secondary). Data of gold volume (m³ x 1.000). B) Map of the study area and location of the Hg samples for geochemical analysis.

(CAS_01 y CAS_42).

El material se tomó a una profundidad entre 20-30 cm, recogiendo tres muestras contiguas por punto, por debajo de la vegetación y la capa superficial de suelo. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se separó por tamizado la fracción mayor de 2 mm, y se obtuvieron dos alícuotas representativas para determinaciones analíticas, una para parámetros edáficos (pH y conductividad) y otra para determinaciones de materia orgánica y análisis geoquímico multielemental. Los análisis químicos se realizaron mediante el uso de espectrometría de fluorescencia de rayos X con dispersión de energía y la cuan-

tificación de mercurio total y compuestos de mercurio mediante espectrometría de absorción atómica con efecto Zeeman.

Los datos geoquímicos se interpolaron en una malla de 1x1 m mediante el método de *kriging* (Cressie, 1990), y se realizó un suavizado de las curvas de isovalores, todo ello con ayuda de Arcgis 10.3® (Figura 3).

Resultados

El mapa de isoconcentraciones de mercurio (Figura 3) muestra valores mínimos de 46.9 ng·g⁻¹ y máximos de 91.8 ng·g⁻¹. Las anomalías observadas se distribuyen

en dos sectores del área estudiada. En su borde noroccidental y en el suroriental. Los valores máximos se sitúan en estos puntos, mientras que los mínimos se ubican en los extremos opuestos. La anomalía mayor ($91.8 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$), con morfología semicircular, se ubica en el inicio del tramo de canal de lavado del sector más oriental de la explotación, mientras que la otra ($66 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) se localiza en la zona más oriental de la explotación, a unos 150 m por debajo del tramo desde el que arranca el canal de lavado. En este punto, la anomalía adquiere una forma ligeramente elíptica, con el eje máximo situado a lo largo del canal (Figura 3). Los análisis de especiación del mercurio contenido en el suelo indican que está en forma de un único compuesto: mercurio ligado a los ácidos húmicos del suelo.

Discusión

Los datos de mercurio registrados en el entorno de la explotación del Vallico La Escoba, con valores que varían entre 46.9 y $91.8 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, se sitúan por encima de los datos regionales publicados en el Atlas Geoquímico de España para este sector de 10 km^2 (con valores que fluctúan entre 0.28 y $46.12 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ Rupérez *et al.*, 2012). El dato de especiación sugiere el uso de mercurio líquido, probablemente obtenido de los yacimientos de cinabrio presentes más al norte (Luque *et al.*, 1989) y empleado para la recuperación de oro en época romana, que se volatilizó durante los 2 000 años transcurridos desde los trabajos mineros. Una parte minoritaria de este mercurio gaseoso en el suelo quedó ligado a la fracción orgánica.

Trabajos similares realizados en otros sectores mineros como las minas de Las Médulas por Sánchez-Palencia *et al.* (2014) muestran pequeñas anomalías de mercurio. Sin embargo, el entramado minero en esta zona, donde el método de laboreo consiste en la movilización de grandes volúmenes de material mediante la técnica de cortas de minado o *Ruina Montium*, presentan una mayor dispersión de las zonas de lavado, a tenor de la amplia extensión que adquieren los estériles mineros. Esto no ocurre en el valle del Eria, donde las minas en peine presentan una disposición concentrada y con dos sectores bien diferenciados: el de explotación y el de recuperación (*agogae*).

Algunos autores, sin embargo, han propuesto el empleo de aleaciones con otros elementos, como el plomo, durante

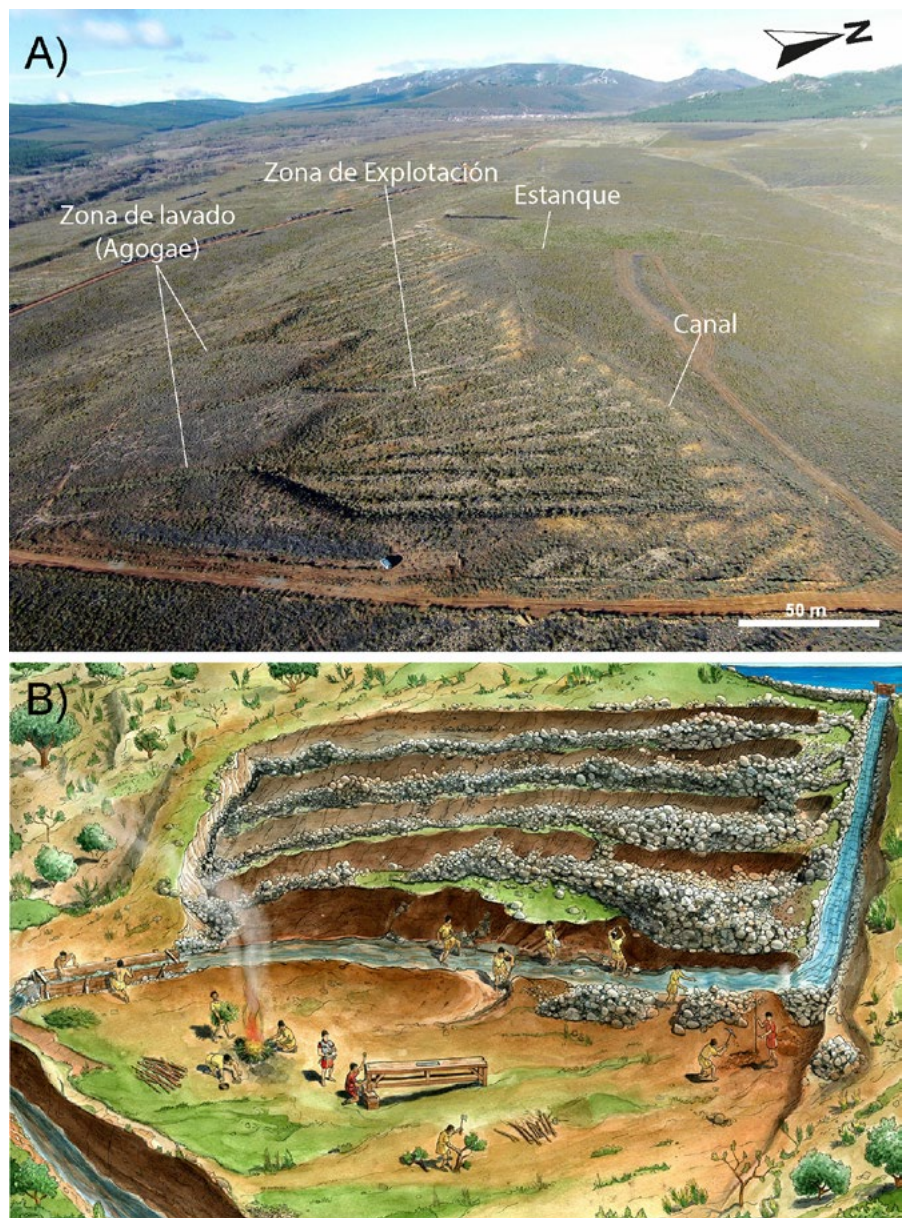


Fig. 2.- A) Vista aérea de las explotaciones mineras del Vallico La Escoba (Castrocontrigo). B) Representación de las labores mineras en peine de época romana. En la "agogae" se situaba una construcción compuesta por tablas de madera, que servían para el beneficio del oro libre. Tomado de Ruíz del Árbol *et al.* (2014).

*Fig. 2.- A) Aerial view of the Vallico La Escoba gold mines (Castrocontrigo). B) Cartoon depicting the comb-like mines. The agogae consist of a wooden infrastructure used for the extraction of gold by Ruíz del Árbol *et al.* (2014).*

las labores de recuperación del oro (Ramage *et al.*, 2000). La abundante presencia de plomo en turberas y sondeos de hielo en todo el mundo coincide con el momento de máxima expansión de la minería aurífera romana (Hillman *et al.*, 2017).

Los datos de plomo (Pb) en la zona sugieren la existencia de resultados ligeramente anómalos en el área de Castrocontrigo, mostrando un rango de $10,9 - 37,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, algo superiores a los valores descritos en suelo superior por el Atlas Geoquímico ($16,6 - 22,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Sin embargo, las anomalías de mercurio observadas confirman su presencia. Estas

se encuentran muy localizadas: mientras que la anomalía mayor ($91,8 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) ocupa una gran extensión y se sitúa en una zona amesetada (Figura 3), la anomalía más elíptica ($> 65 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$) recorre paralela parte de la estructura de un canal de lavado. En el primer caso, parece indicar que se trata de un área de almacenaje donde pudo ser acumulado el mercurio para su posterior uso en los canales de lavado.

Estas explotaciones, estudiadas en detalle desde los años 70 del siglo pasado mediante el uso de fotografía aérea y más recientemente LiDAR y drones (Sáe-

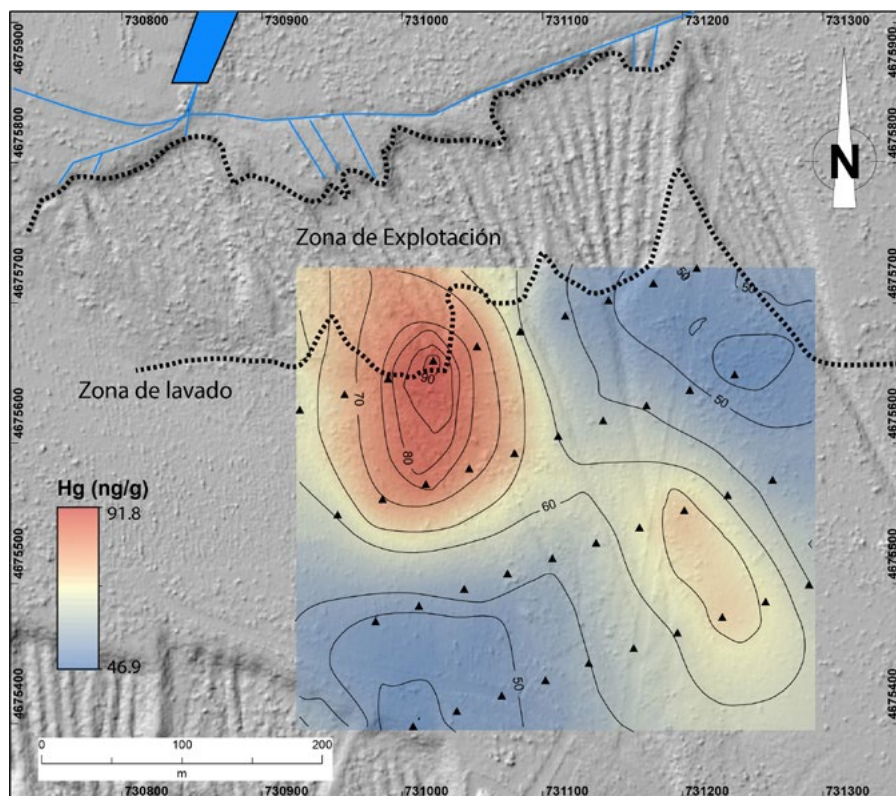


Fig. 3.- Mapa de concentración de mercurio indicando la presencia de dos anomalías importantes en el borde NO y SE de la zona de lavado.

Fig. 3.- Iso-concentration map of Hg showing the presence of two anomalies at the NW and SE borders of the washing canal.

nz y Vélez, 1974; Sánchez-Palencia 1980; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia (1980); Fernández-Lozano *et al.*, 2015; 2018), aportan una valiosa información sobre el método de laboreo y recuperación del oro, ayudando a comprender mejor el proceso metalúrgico en época romana, hasta ahora controvertido.

En los sectores de lavado de la mina, las concentraciones de mercurio en el suelo son superiores a los niveles de fondo, sugiriendo que ha sido utilizado con el fin de facilitar la amalgama de las partículas de oro extraídas de los depósitos auríferos. Aunque el empleo de mercurio en un marco regional más amplio pudo estar más enfocado hacia la recuperación del oro procedente de depósitos primarios, donde el método de extracción consistía en la molturación del cuarzo aurífero y la recuperación mediante amalgama, los datos obtenidos en los yacimientos secundarios de Castrocontrigo indican que se podría haber usado el proceso de amalgama con mercurio y que éste debió ser más común de lo que hasta ahora se creía.

Conclusiones

La presencia de anomalías de mercurio

en las zonas de lavado de las explotaciones auríferas del Vallico La Escoba (Castrocontrigo) indican el uso del mismo para el proceso de recuperación de oro en yacimientos secundarios. Así, la amalgama pudo ser un proceso común tanto en estos como en los yacimientos primarios.

Agradecimientos

Este estudio ha sido parcialmente financiado por el Proyecto CGL2015-67644-R) Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Economía y Competitividad) y la Ayuda a Grupos de Investigación 2019-GRIN-27011 y 2020-GRIN-28992, del Vicerrectorado de Investigación de la UCLM. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias del Editor y de los Dres. Gabriel Gutiérrez-Alonso y Patricio Martínez-Cedrún.

Referencias

- Cressie, N. (1990). *Math Geol.* 22, 239-252.
 Domergue, C. (1986). *MOM Éditions* 11(1), 109-119.
 Domergue, C. y Hérial, G. (1999). *Aquitania Supplément* (9), 93-116.

Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G. y Fernández-Morán, M.Á. (2015). *Journal of Archaeological Science* 53, 356-373.

Fernández-Lozano, J., González-Díez, A., Gutiérrez-Alonso, G., Carrasco, R. M., Pedraza, J., García-Talegón, J., Remondo, J., Bonachea, J. y Morellón, M. (2018). *Minerals* 8(11), 518.

Fernández-Posse, M.D. y Sánchez-Palencia, F.J. (1988). *La Corona y el Castro de Corporales II: campaña de 1983 y prospecciones en la Valderia y la Cabrera (León)*. Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, 153 p.

Heredia, N., Fernández, L.P., Martín-González, F. y Bahamonde, J.R. (2015). *Geologica Acta: an international earth science journal* 13(1), 1-23.

Hillman, A.L., Abbott, M.B., Valero-Garcés, B.L., Morellón, M., Barreiro-Lostres, F. y Bain, D.J. (2017). *The Holocene* 27(10), 1465-1474.

Lewis, P.R. y Jones, G.D.B. (1970). *The Journal of Roman Studies* 60(1), 169-185.

Luque, C., García-Iglesias, J. y García-Coque, P. (1989). *Trabajos de Geología* 18, 3-10.

Ruiz del Árbol, M., Sánchez-Palencia, F.J., Sastre, I. y Orejas del Valle, A. (2014). *Water History* 6(1), 95-113.

Rupérez, J.L., Ballester, A.B.L., García-Cortés, A. y Romero, S.M. (2012). *Atlas Geológico de España*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 592 p.

Ramage, A., Craddock, P.T., y Cowell, M.R. (2000). *King Croesus' gold: excavations at Sardis and the history of gold refining*, Massachusetts, Cambridge, 272 p.

Sáenz, C. y Vélez, J. (1974). *Contribución al estudio de la minería primitiva del oro en el Noroeste de España*. Ediciones Atlas, Madrid, 190 p.

Sánchez-Palencia, F.J. (1980). *Noticiario Arqueológico Hispánico* 8, 214-289.

Sánchez-Palencia, F.J., Fernández-Posse, M.D., Manzano, J.F., González, Y.Á. y González, L.L. (1990). *Archivo español de arqueología* 63(161), 249-264.

Sánchez-Palencia Ramos, F.J. (2000). *Las Médulas (León): un paisaje cultural en la "Asturia Augustana"*. Instituto Leonés de Cultura, León, 350 p.

Sánchez-Palencia, F.J. y García, A. (2014). En: *Minería romana en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal (Asturia y NE de Lusitania)* (F.J. Sánchez-Palencia, Ed.), Junta de Castilla y León, Valladolid, 231-242.