

USO DE LIDAR Y AERONAVES NO TRIPULADAS PARA LA CARTOGRAFÍA Y REGISTRO DE ZONAS DE INTERÉS GEOMINERO: UN EJEMPLO DE LA MINERÍA AURÍFERA ROMANA EN EL VALLE DEL ERIA (LEÓN, ESPAÑA)

**USING LIDAR AND UAV'S TECHNOLOGY FOR RECORDING AND
MAPPING OF MINING AREAS: INSIGHTS FROM ROMAN GOLD
MINING IN THE ERIA RIVER VALLEY (LEÓN, SPAIN)**

Javier Fernández-Lozano

Facultad de Ciencias, Dpto. de Geología,
Universidad de Salamanca (USAL)

Email: jfl@usal.es

Gabriel Gutiérrez-Alonso

Facultad de Ciencias, Dpto. de Geología,
Universidad de Salamanca (USAL)

Department of Geology and Geography,
Tomsk State University
E-mail: gabi@usal.es

RESUMEN

La minería aurífera romana en el noroeste peninsular se concentra en cuatro grandes distritos mineros: Las Médulas, Omañas, Duerna y Eria. La cuenca del Eria representa una de las mayores explotaciones auríferas —en extensión— de todo el Imperio Romano, sin embargo, es una de las que menos atención ha recibido hasta la fecha. Los trabajos arqueológicos realizados en la zona se basaban en el uso de fotografía aérea y en la prospección de campo para la elaboración de cartografías de los sistemas hidráulicos y el análisis de los principales yacimientos. La incorporación de nuevas tecnologías, como el LiDAR aerotransportado y los vehículos aéreos no tripulados (drones o VANT), permite el estudio detallado y la adquisición de datos de elementos del paisaje arqueominero en zonas de difícil

acceso o muy vegetadas. En este trabajo se realiza la cartografía de yacimientos auríferos en la zona del valle del río Eria (suroeste de la provincia de León), comparando los resultados obtenidos con ambas tecnologías. Los resultados proporcionan modelos digitales a distinta resolución que, mediante un procesado de la imagen, permiten la identificación de nuevos datos para el conocimiento de la minería aurífera romana y la compleja red hidráulica de canales y estanques empleada para el transporte y acumulación de agua necesaria para la realización de las labores mineras. La metodología propuesta proporciona buenos resultados en el reconocimiento del paisaje minero, pudiendo ser empleada en otros distritos auríferos de características similares.

Palabras clave: Distrito Aurífero del Valle del Eria, drones, LiDAR, oro, patrimonio arqueominero, Imperio Romano.

ABSTRACT

Roman gold mining in Northwest Spain was focused on four major mining districts: Las Médulas, Omañas, Duerna and Eria. Despite the Eria Gold District represents one of the largest gold mining areas, it has received little attention. So far, archaeomining surveys carried out in the area were based on the use of aerial photography for the recognition of ancient hydraulic systems and mining pits. The integration of new technologies in archeology, such as airborne LiDAR and Unmanned Aerial Vehicles (drones or UAVs), allows the study and acquisition of data useful for the reconstruction and preservation of the archaeological record in inaccessible areas, and providing results with different resolution. We present a comparison of surveying methods based on the study conducted with geomatic applications and focused on the gold mining district of the Eria River Valley (southwest province of León). Our results provide high-resolution digital models that were processed with image enhance tools, aiming at the recognition of newly discovered mining sites and the complex hydraulic systems, comprising channels and water reservoirs for transport and accumulation of water used in the main mining areas. This methodology improved the archaeological prospection works focused in the recognition of mining features and can be applied in other gold districts of interest with similar characteristics.

Keywords: Eria River Valley Gold District, archaeomining heritage, gold, LiDAR, UAVs, Roman Empire.

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios de arqueología minera del oro realizados en el noroeste peninsular permitieron un rápido desarrollo del conocimiento de la minería y la planificación territorial llevados a cabo en época del Imperio Romano durante los siglos I y II d.C. (Domergue, 1971; Sáenz y Vélez, 1974; Domergue y Herail, 1978; Sánchez-Palencia, 1980; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia, 1988). Sin embargo, el acceso a las nuevas tecnologías geomáticas como el LiDAR aerotransportado (Fernández-Lozano et al., 2015) y más recientemente los drones (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016) han permitido una re-evaluación de los yacimientos y el descubrimiento de nuevas labores, aumentando así el área de explotación minera conocida en el entorno del noroeste peninsular.

Estos avances han ido de la mano del desarrollo de herramientas digitales para la visualización de datos georeferenciados (i.e. nubes de puntos, modelos digitales de elevaciones, etc.) en plataformas de sistemas de información geográfica, posibilitando nuevos avances en el tratamiento digital de imágenes. Así, trabajos recientes como Bennett et al. (2011), Stular et al. (2012) y Sánchez-Palencia y Currás-Refojos (2014) han mejorado la visualización de elementos del patrimonio arqueológico, facilitando su identificación y la descripción del mismo.

En este trabajo presentamos el uso combinado de datos LiDAR y fotogra-

metría aérea adquirida con drones, para la creación de modelos digitales de alta resolución (a 1 m, 3 m y 5 m de paso de malla) que pueden ser tratados con distintas herramientas de mejora de la imagen. El objetivo es analizar los distintos resultados y proporcionar un criterio de utilidad para la elaboración de trabajos arqueomineros relacionados con la minería aurífera romana. Los resultados facilitan la identificación de elementos mineros como canales y estanques, proporcionando información georeferenciada de su localización y extensión. De este modo se facilita la identificación de labores romanas en zonas cubiertas por vegetación o de difícil acceso, permitiendo la reevaluación de los trabajos realizados hasta la fecha y la incorporación de nuevos puntos de interés arqueominero.

2. EL DISTRITO AURÍFERO DEL VALLE DEL ERIA

El distrito minero aurífero del valle del Eria, situado en el suroeste de la provincia de León, representa uno de los mayores yacimientos auríferos —en extensión— de todo el Imperio Romano, con cerca de 13.000 ha. removidas en busca de oro (Fig.1). A diferencia de otros yacimientos próximos como Las Médulas, donde los sistemas para el transporte y acopio de agua son fácilmente identificables por ser excavados directamente en la roca, el complejo sistema hidráulico del Eria se encuentra fuertemente modificado antrópica-

mente por la intensa labor silvícola y otras actividades humanas.

Los primeros estudios en la zona se realizaron para conocer la extensión de la minería aurífera y los distintos tipos de yacimientos (Domergue, 1971; Sáenz y Vélez, 1974; Pérez-García, 1977). A estos siguieron otros en los que se establecía una relación entre la explotación aurífera y la planificación del territorio, con la excavación arqueológica de algunos castros prerromanos y de conquista (i.e. corona y castro de Corporales, campamento romano de tipo *castra aestiva* de Valdemedea, etc.), y que dio como resultado un avance significativo en la investigación minera (Sánchez-Palencia, 1980; Sánchez-Palencia, 1986; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia, 1988). A partir de este momento se llevaron a cabo labores de prospección puntuales que dieron a conocer el tamaño y extensión de toda la infraestructura minera para la extracción de oro, llegando a proporcionar estimaciones de volúmenes explotados (Pérez-García y Sánchez-Palencia, 1985; Domergue, 1986; Matías-Rodríguez, 2004, 2006). Actualmente, los valores sugeridos de oro extraído en la zona alcanzan las 5 toneladas, llegando a superar las 9 a lo largo de toda la Sierra del Teleno (IGME, 1982; Cabrera et al., 1997; Pérez-García et al., 2000).

Más recientemente, los trabajos realizados con LiDAR aerotransportado a lo largo del valle del Eria por Fernández-Lozano et al. (2015) y Justel-Cadierno et al. (2015), permitieron la elaboración de una cartografía, ampliando la extensión de las zonas mineras y estableciendo un estudio sis-

temático de la compleja red hidráulica compuesta por canales y estanques. El estudio realizado en 2016 con drones supuso además un nuevo avance para la integración de tecnologías geomáticas en la cartografía de depósitos mineros, permitiendo nuevos y mejores resultados en las labores de prospección con el uso de estas técnicas en los trabajos de arqueología minera (Fernández-Lozano y Gutiérrez-Alonso, 2016).

3. NUEVAS APLICACIONES GEOMÁTICAS PARA LA PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA DE MINERÍA AURÍFERA

El uso de nuevas tecnologías geomáticas como el láser aerotransportado (LiDAR) o los drones han facilitado el acceso a una ingente cantidad de datos georeferenciados de gran interés en arqueología. Hasta ahora, los trabajos de prospección realizados en los estudios de minería aurífera estaban apoyados en la fotointerpretación de imágenes aéreas —i.e. vuelo Americano 56-57 y más recientemente con ortoimagen PNOA— (Domergue, 1986; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia, 1988; Matías-Rodríguez, 2006). Sin embargo, la capacidad de las imágenes aéreas para estudiar el terreno en detalle quedaba reducida por la presencia de zonas boscosas y la fuerte antropización del entorno.

El acceso abierto a los datos LiDAR del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es), ha proporcionado nuevas

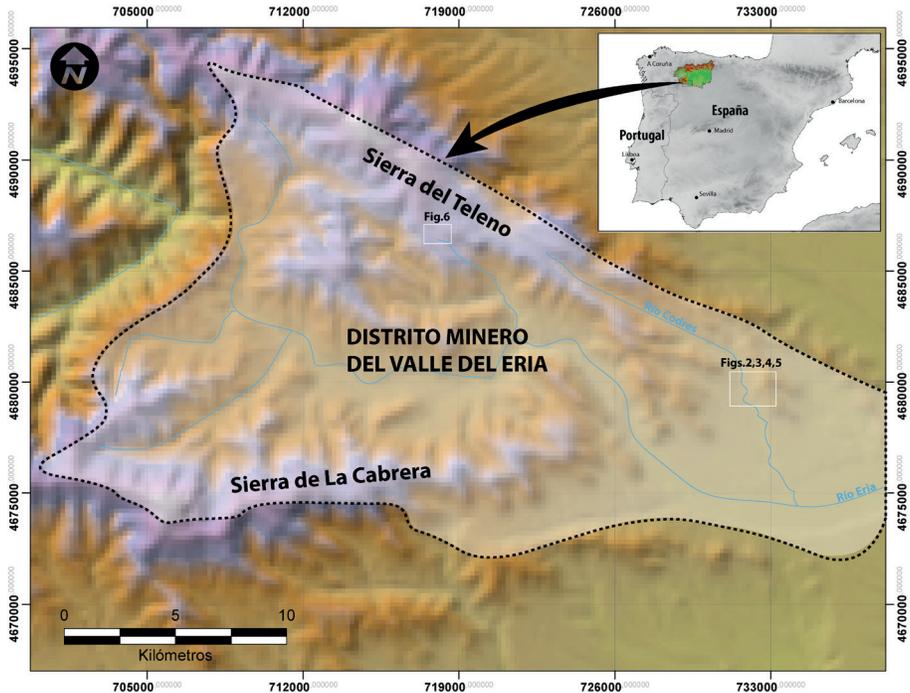


Figura 1. Localización geográfica y extensión del Distrito Minero del Valle del Eria y zonas de estudio.

perspectivas en el campo de la arqueología, especialmente útil en la cartografía de labores mineras, donde las zonas de estudio pueden alcanzar grandes superficies. Recientes trabajos realizados en el Distrito Aurífero del valle del Eria por Fernández-Lozano et al. (2015) con LiDAR aerotransportado han mostrado la eficacia de este sistema para elaborar modelos digitales de alta resolución que permitan estudiar en detalle la geometría de la red hidráulica, así como los puntos de interés minero. Además, la reciente entrada en el mercado tecnológico de los drones o aeronaves pilotadas por control remoto (también reciben el

nombre de RPAs y VANTs) ha permitido avanzar en la investigación minera antigua, gracias a la obtención de información digital que permite un estudio minucioso de las características de la imagen. Así, Fernández-Lozano, Gutiérrez-Alonso (2016) han mostrado el potencial de los drones para la elaboración de trabajos mineros de detalle mediante la generación de modelos digitales que mejoran, o permiten apreciar otros aspectos, no observables directamente con LiDAR. Estos autores proponen una nueva metodología basada en la combinación de datos adquiridos con láser aerotransportado y mediante

un estudio fotogramétrico. Además, establecen un nuevo método de mejora de los modelos mediante el tratamiento estadístico de la información contenida en las nubes de puntos y el procesado de las mismas para filtrar la vegetación. Estas técnicas están basadas en el tratamiento de la información contenida en los modelos digitales (i.e. índice de reflectancia, parámetros de visualización de la imagen, etc.) y han sido empleadas con éxito en otros trabajos arqueológicos de diversa índole (Bennett et al., 2012; Fernández-Lozano and Gutiérrez-Alonso, 2016). El procesado de la imagen siguiendo la metodología de Kokalj et al. (2011) permite la mejora de modelos digitales interpolados a 5 m en aquellas zonas donde no existen datos con suficiente resolución o donde se ensamblan distintas pasadas LiDAR, mejorando a su vez la visualización de elementos arqueológicos en zonas con escasa pendiente o donde las diferencias del relieve impiden o atenúan formas del relieve menores —i.e. edificios, canales, estanques, etc.—.

La elaboración de modelos digitales con el uso de drones permite analizar con gran detalle superficies pequeñas. Autores como Oczipka et al. (2009); Hendrickx et al. (2011); Remondino et al. (2011); Fernández-Hernandez et al. (2015) muestran el potencial de estos aparatos para la preservación y conservación de elementos del patrimonio. Hasta ahora, estas técnicas se habían utilizado para la documentación de restos arqueológicos de edificaciones, tumbas u otros

recintos semienterrados. Sin embargo, en este trabajo hemos combinado las distintas tecnologías digitales para elaborar modelos con distintos pasos de malla (1 m, 3 m y 5 m) a partir del clasificado de datos LiDAR y su posterior tratamiento con herramientas de mejora. Además, hemos aplicado la fotogrametría asistida por drones para la obtención de modelos 3D de restos de ingeniería hidráulica en zonas de difícil acceso, proporcionando un marco de referencia para futuros trabajos arqueológicos en el área de investigación de la minería aurífera romana.

4. LIMITACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA CON DRONES

A pesar de lo novedoso de la tecnología y el potencial que presenta para la identificación, descripción y preservación del patrimonio arqueológico, el uso de drones en el ámbito del patrimonio minero se ve comprometido por algunos aspectos técnicos que afectan a la resolución de los datos y su posterior procesamiento. El estudio de este tipo de yacimientos en alta montaña presenta varios desafíos: los rápidos cambios en las condiciones meteorológicas en esas altitudes de trabajo (1.200-2.000 m), la escala del proyecto a realizar, la topografía irregular del área y el exceso de vegetación.

Para la elaboración de ortoimágenes y modelos digitales de alta resolución —i.e.

resolución centimétrica—, deben tenerse en consideración algunos aspectos como el viento, responsable de la precisión en las coordenadas tomadas desde la aeronave (Ouédraogo et al., 2014; Fernández-Lozano and Gutiérrez-Alonso, 2016). Además, la toma de imágenes se ve afectada por las distorsiones de la lente que producirán efectos adversos y fenómenos de deformación radial, efecto cúpula, etc., que deben ser corregidos para un procesamiento adecuado de las imágenes. Para elaborar modelos de detalle es necesario el uso de GPS diferencial (RTK) para la obtención de puntos georeferenciados en tierra que permitan la geolocalización espacial de los mismos en el registro de imágenes. Estos puntos de control facilitarán el procesado final de las nubes de puntos, minimizando al máximo los errores y distorsiones producidos por geolocalización durante el vuelo debido a turbulencias o corrientes térmicas que producen variaciones en la posición de la aeronave.

Otros aspectos como la iluminación, el ángulo de las tomas o las fuertes variaciones de pendiente entre los objetos fotografiados pueden dificultar el procesado de los datos comprometiendo la resolución de los mismos (Rosnell and Honkavaara, 2012; Colomina and Molina, 2014).

5. RESULTADOS

La obtención de densas nubes de puntos a partir de datos LiDAR y fotogrametría con drones permite la generación de modelos digitales de alta

resolución con los que analizar la superficie del terreno, facilitando las labores de prospección arqueominera.

En el caso del estudio del complejo minero de Valdepinillo-Fuente del Prado (situado entre las localidades de Castrocontrigo y Nogarejas), los modelos digitales LiDAR interpolados a 1 m, 3 m y 5 m de paso de malla (Figuras 2, 3 y 4), clasificados y con un sombreado (Elevación: 60° y Azimut: 270°) apenas permiten la observación detallada de elementos arqueológicos. Sin embargo, de todos ellos, el modelo de 3 m presenta mejores resultados en términos de resolución (comparar figuras 2, 3 y 4); mientras que el modelo obtenido a 1 m de resolución presenta una peor representación, debido a la presencia de bloques de roca y los efectos causados por la roturación del terreno que son más difíciles de extraer durante el clasificado de los datos (por su baja longitud de onda). El sombreado analítico (Elevación 35 y Azimut: 315), mejora significativamente en todos los casos, resaltando los relieves topográficos como valles y hondonadas, crestas rocosas, etc. (Fig. 2B, 3B y 4B. Ver interpretación en la Figura 5.).

El análisis con la herramienta *Openness* positivo incrementa el factor de sombra en los relieves, incluso en aquellos en los que existe poca diferencia entre zonas elevadas y planas (comparar Fig. 2C, 3C y 4C). En el caso de la figura 2C, se puede incluso observar una banda que corresponde con la zona de empalme de las pasadas LiDAR. El tratamiento a partir de 3 componentes principales produce la inversión del

relieve, marcando incluso las menores elevaciones, relacionadas con canales o cortas mineras de escasa profundidad (Figura 2D, 3D y 4D).

El sombreado con un factor de *Sky-View* a partir de 16 direcciones y radio de búsqueda de hasta 10 píxeles proporciona quizás los mejores resultados en todas las escalas analizadas. En él se identifican los pequeños resaltes producidos por canales y estanques, facilitando su visualización (Fig. 2E, 3E y 4E). También mejora notablemente la imagen con el análisis de *Slope*, que incrementa la rugosidad del terreno y extrae las sombras producidas por los resaltes topográficos de valles y elementos arqueológicos con escaso contraste de elevaciones.

En el caso del complejo minero de Pozos de Cabrera (Fig. 6), los datos aportados por el dron en comparación con los modelos generados a partir del LiDAR proporcionan un mayor detalle. La comparación con modelos interpolados a 5m y 1 m muestran variaciones importantes de visualización durante el análisis (Fig.6). En este caso podemos observar que el LiDAR a 5 m mejora substancialmente la resolución, permitiendo la observación de canales y estanques que con un simple proceso de sombreado de la imagen no se hacen evidentes. Los mejores resultados los ofrecen el factor *Sky-View*, el *Slope* y el *Openness* que posibilitan resaltar las pequeñas diferencias de elevaciones existentes en la zona. Además, el modelo digital con interpolado a 1 m realizado mediante fotogrametría con

dron mejora la resolución obtenida con LiDAR aerotransportado, permitiendo la identificación de más estructuras y elementos arqueomineros.

6. LA COMPLEJA RED HIDRÁULICA Y LOS YACIMIENTOS MINEROS ROMANOS

Los modelos digitales obtenidos mediante el tratamiento de imágenes permiten la elaboración de cartografías útiles en la identificación y descripción del patrimonio aurífero romano. Gracias a estos datos se ha identificado un nuevo complejo minero en el valle del Eria, situado en la zona de Valdepinillo-Fuente del Prado (entre las localidades de Castrocontrigo y Nogarejas), caracterizado por la presencia de estanques para el acopio de agua situados en altura, y canales para su distribución hacia las áreas de explotación. Las minas están representadas por cortas de erosión o lavado, similares a las situadas en otras zonas próximas como la Valduerna (Domergue y Herail, 1978). También se observan zanjas longitudinales de grandes dimensiones paralelas a la pendiente y conectadas por canales, así como explotaciones en peine que proporcionan una morfología de cárcavas y que en algunos casos aparecen coalescentes (Fig. 5). A diferencia de otros depósitos cercanos situados en planicies y alejados de cursos fluviales, en la zona estudiada no se observa la presencia de depósitos de murias si-

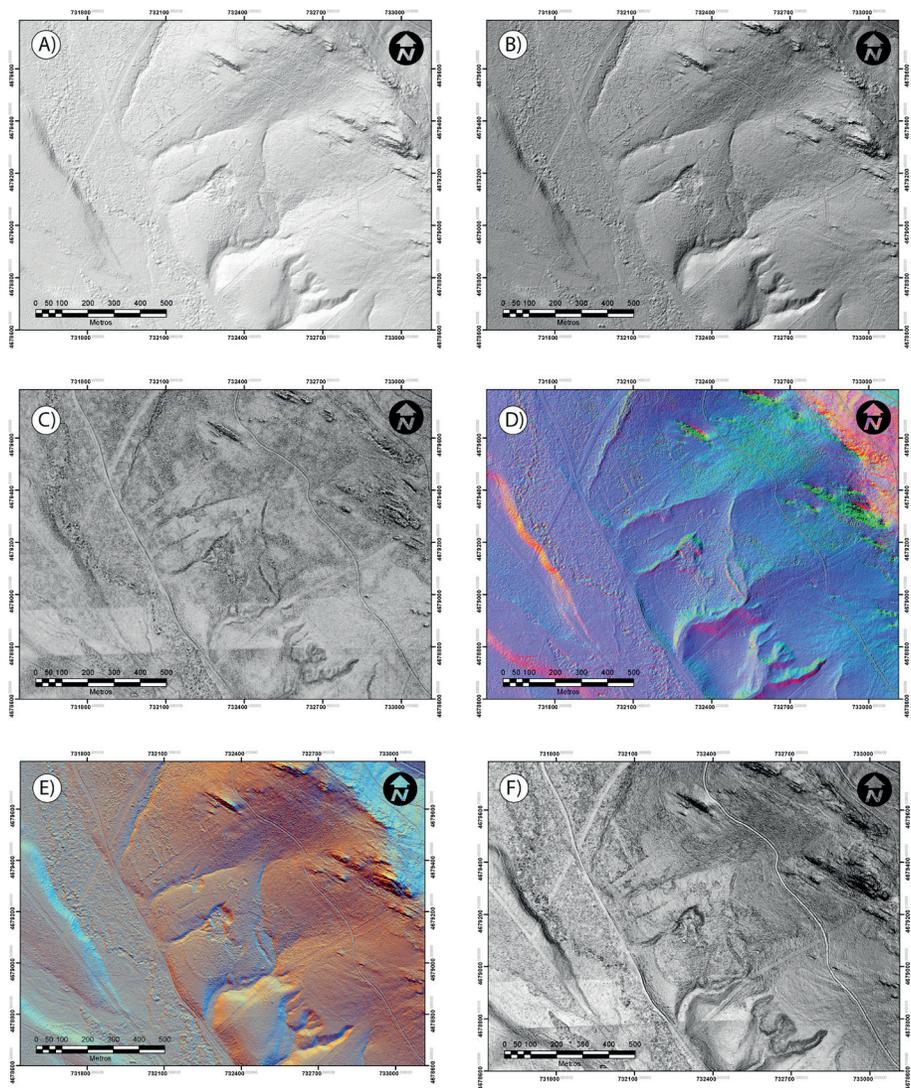


Figura 2. Modelo digital LiDAR del complejo minero de Valdepinillo-Fuente del Prado interpolado a 1 m tratado con distintos métodos de procesado (ver localización en Fig.1): A) sombreado automático; B) sombreado analítico; C) Openness positivo; D) Componentes Principales; E) Sky-View Factor y F) Slope.

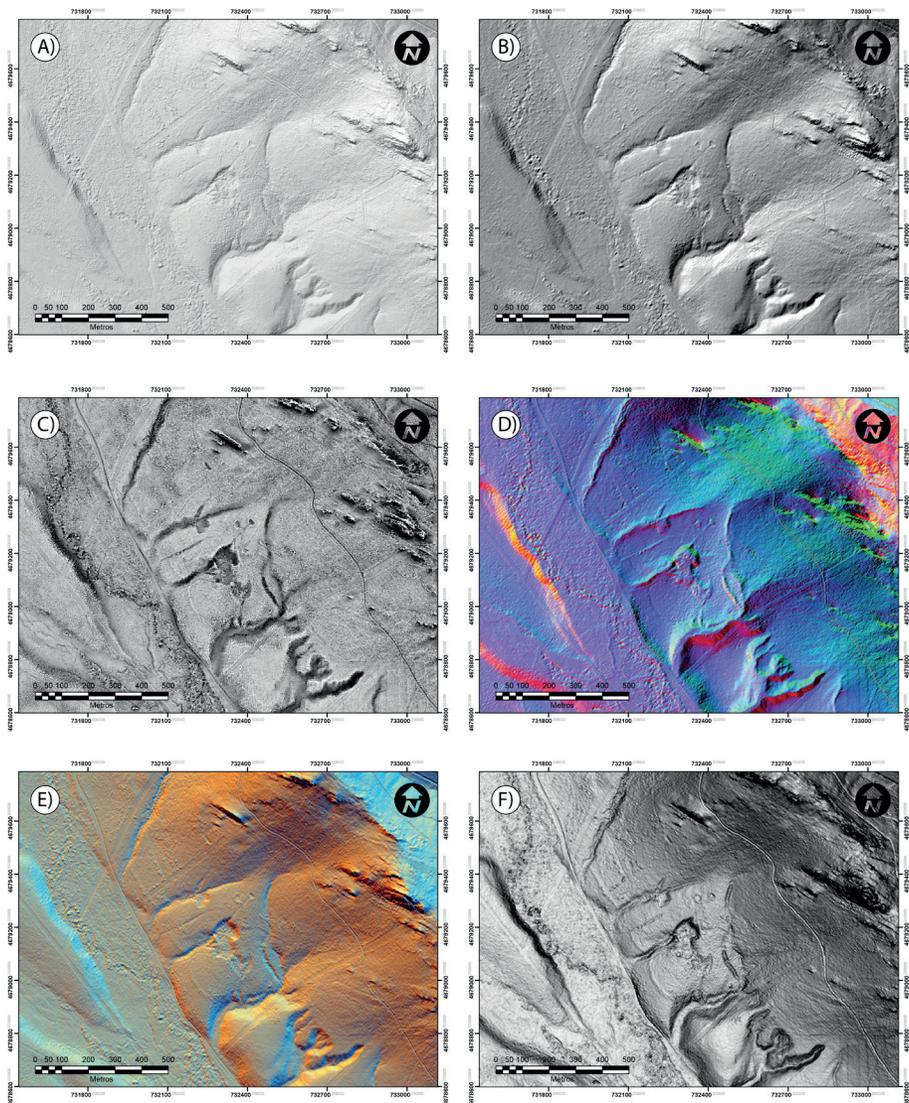


Figura 3. Modelo digital LiDAR interpolado a 3 m tratado con distintos métodos de procesamiento del sector minero de Valdepinillo-Fuente del Prado (ver localización en Fig.1): A) sombreado automático; B) sombreado analítico; C) Openness positivo; D) Componentes Principales; E) Sky-View Factor y F) Slope.

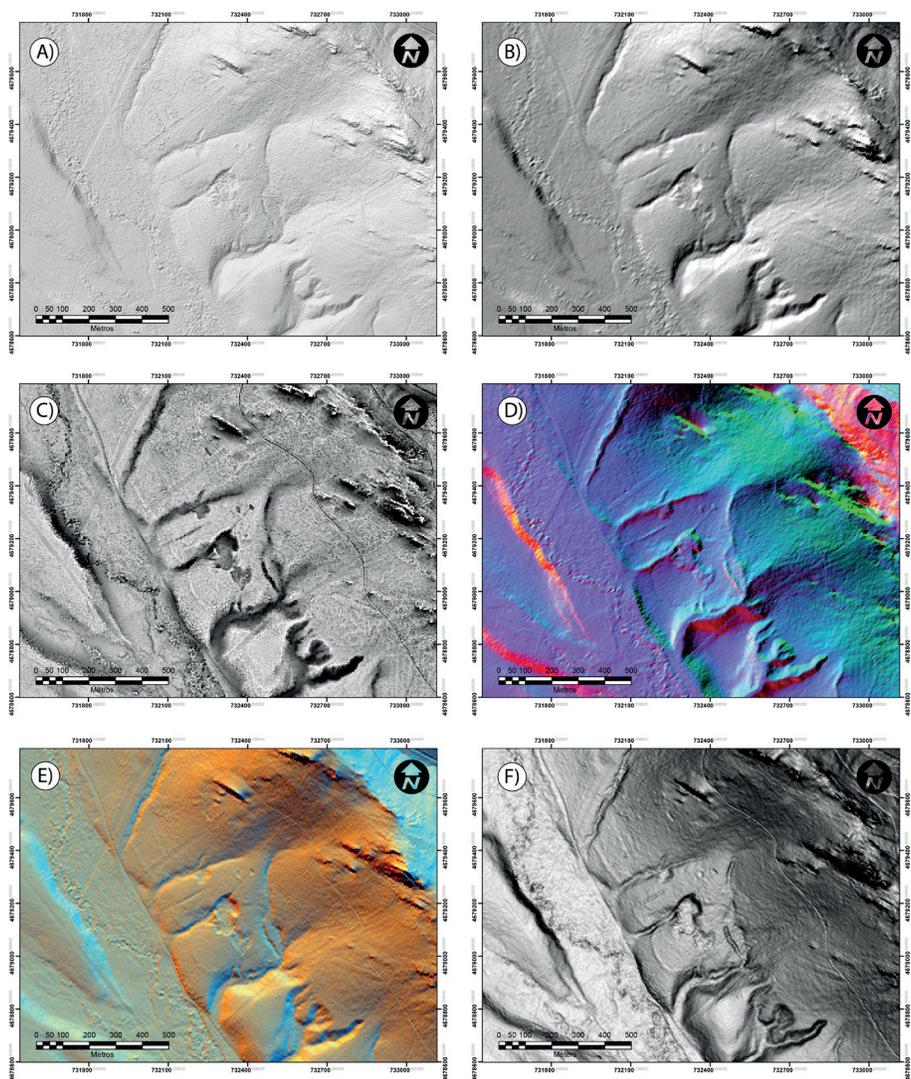


Figura 4. Modelo digital LiDAR interpolado a 5 m tratado con distintos métodos de proceso del sector minero de Valdepinillo-Fuente del Prado (ver localización en Fig.1): A) sombreado automático; B) sombreado analítico; C) Openness positivo; D) Componentes Principales; E) Sky-View Factor y F) Slope.

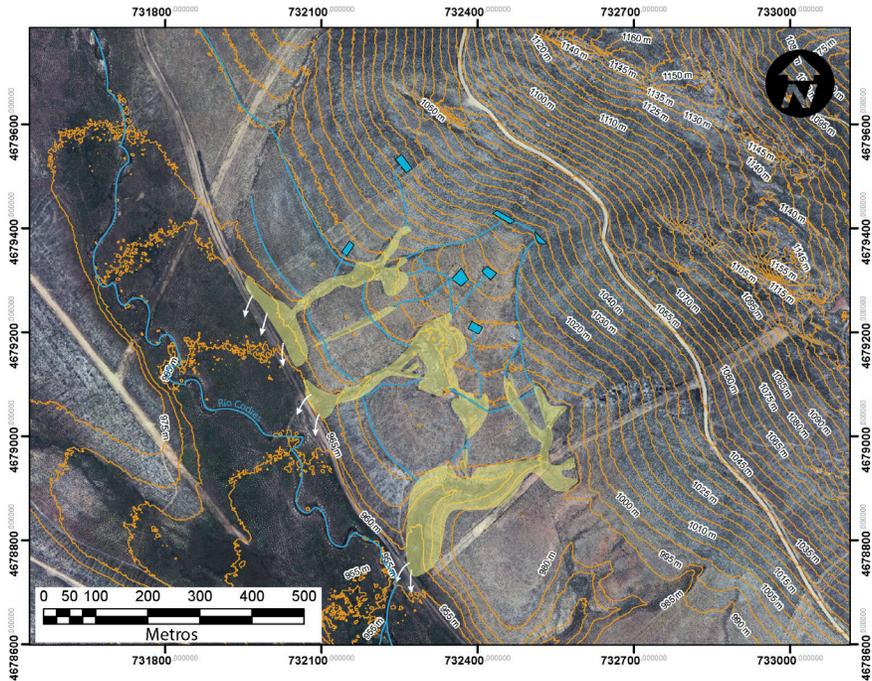


Figura 5. Cartografía minera del complejo minero de Valdepinillo-Fuente del Prado, donde se identifican los estanques y canales, así como las principales explotaciones (amarillo) a partir de las imágenes obtenidas mediante LiDAR y la inspección directa de la zona. Las flechas blancas indican la erosión de los estériles al pie de las explotaciones como resultado de la erosión fluvial producida por el río Codres.

tuados al pie de las explotaciones. Esto sería debido a la proximidad al río Codres, el cual sería el responsable de haber eliminado los depósitos durante los periodos de crecida (especialmente en el invierno, donde el volumen de agua aumenta significativamente). Además, la fuerte antropización del entorno debido a las labores de recogida y roturación que acompañaron los trabajos de la explotación silvícola llevada a cabo tras el último incendio ocurrido en la zona en 2012, dificultan el análisis de los restos mineros. La combinación de

distintos modelos digitales (con paso de malla de 1m, 3 m y 5 m), permite observar con distintas escalas de resolución, indicando que, en función de las condiciones en las que se encuentran los afloramientos, no siempre la más detallada ofrece los mejores resultados. En este caso, un paso de malla de 3 m presenta mejores resultados para estudiar el complejo minero de Valdepinillo-Fuente del Prado. Esto se debe a la presencia de movimientos de tierra en la zona que estarían por debajo del metro (roturado antrópico) o incluso por

encima de los 5 m (zonas afectadas por la escorrentía superficial). Además, en zonas con información digital de baja resolución, el uso de herramientas de procesado de la imagen puede facilitar la visualización de los mismos, aportando información arqueológica de utilidad en el estudio de la minería antigua.

El uso de drones también presenta ciertas ventajas de cara al estudio del patrimonio arqueominero. Aunque a diferencia del LiDAR aerotransportado puede cubrir extensiones de terreno menores y está limitado por la presencia de vegetación. En las zonas donde ofrece resultados, la resolución de los mismos es mayor, proporcionando modelos digitales para la elaboración de cartografías detalladas.

Hasta ahora, las labores de prospección minera realizados en la zona con fotografía aérea no permitían las labores de identificación de muchos de los elementos arqueológicos presentes, especialmente en zonas con extensa cubierta vegetal (Sáenz y Vélez, 1974; Sánchez-Palencia, 1980; Fernández-Posse y Sánchez-Palencia, 1988; Matías-Rodríguez, 2004, 2006). Así, las sucesivas campañas arqueológicas realizadas desde los años setenta, han vuelto a resurgir en la actualidad gracias a las nuevas tecnologías geomáticas como el láser aerotransportado y los drones (Fernández-Lozano et al., 2015, 2016; Justel-Cadierno et al., 2015). Estas tecnologías permiten obtener modelos digitales del terreno para su posterior tratamiento y análisis.

La posibilidad de obtener información de grandes extensiones de superficie, unido a las ventajas de poder clasificar los datos contenidos en las nubes de puntos adquiridas, permite obtener una superficie del terreno libre de vegetación y otros artefactos que dificulten el estudio arqueológico. Además, la posibilidad de realizar interpolados con distintos pasos de malla y el tratamiento de las imágenes con un amplio abanico de herramientas y parámetros de visualización, proporcionan nuevas oportunidades para el estudio de la minería aurífera romana, facilitando la identificación y estudio de los complejos mineros. Gracias a estas tecnologías podemos avanzar en el conocimiento de la minería aurífera romana, aportando nuevos datos que ayuden a conocer las razones que llevaron a uno de los mayores imperios conocidos a abandonar la minería aurífera en Hispania. No obstante, los datos aportados hasta la fecha, parecen indicar que la rentabilidad de los yacimientos (lo que actualmente conocemos como ley minera) no haría rentable los trabajos de extracción. Las necesidades de aumentar las reservas de oro por parte del Imperio, sometidos por la presión de deudas y litigios militares ocurridos entre los siglos II y III d.C., así como la necesidad de aumentar la mano de obra pudo acelerar el proceso de abandono y la búsqueda de yacimientos más rentables en otras áreas del Mediterráneo oriental (Blazquez-Martínez, 1978; Domergue, 1990; Sánchez-Palencia, 2002).

Complejo minero de Pozos de Cabrera

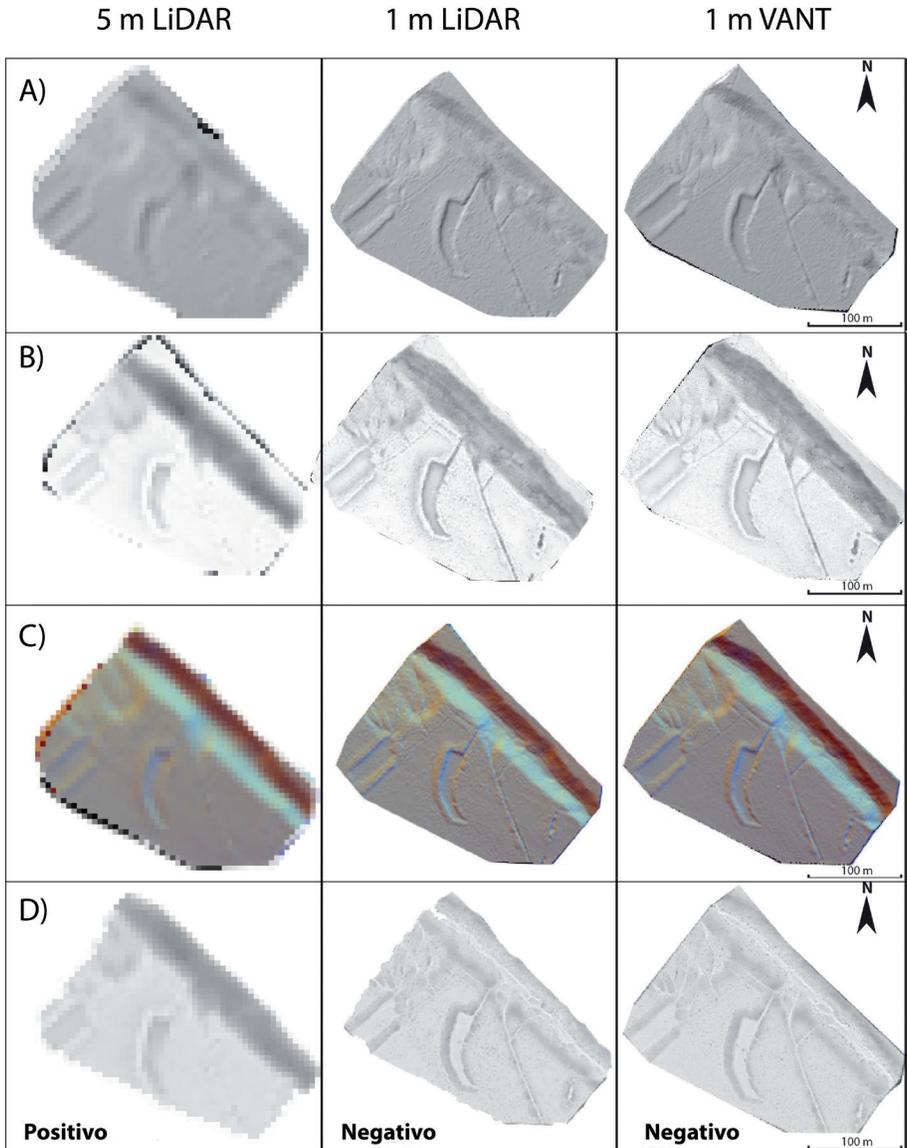


Figura 6. Comparativa de modelos digitales obtenidos de datos LiDAR (1 m y 5 m) y fotogrametría con drones (1 m) para el sector minero de Pozos de Cabrera (ver localización en Fig.1). A) Sombreado analítico; B) Slope; C) Sky-View Factor y C) Openness positivo y negativo.

7. CONCLUSIONES

El uso combinado de nuevas tecnologías geomáticas, como el láser aerotransportado (LiDAR) y la fotogrametría asistida por drones, posibilita la cartografía detallada de zonas de interés minero-arqueológico. La elaboración de modelos digitales de alta resolución en combinación con el uso de nuevas herramientas de visualización y mejora de la imagen ha posibilitado la localización de un nuevo sector minero de época romana compuesto por varios estanques para el acopio de agua, canales conectados y cortas de arrastre para la extracción aurífera. Los nuevos datos aportados permiten aumentar la extensión de los yacimientos y la red hidráulica romana en el Distrito Aurífero del Valle del Eria. Los resultados obtenidos muestran que la metodología propuesta facilita la identificación y descripción de elementos de la minería aurífera romana y puede ser empleada con éxitos en otros yacimientos arqueomineros de características similares.

BIBLIOGRAFÍA

- BENNETT, R., WELHAM, K., FORD, A. A comparison of visualization techniques for models created from airborne laser scanned data. *Archaeological Prospection* 19, 2012, 41-48.
- BLÁZQUEZ-MARTÍNEZ, J.M. (1978). *Economía de la Hispania Romana*. Bilbao. 293-607.
- CABRERA, R., CRESPO, J.L., GARCÍA, J.I., MEDIAVILLA, B., ARMENTEROS, I. Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, escala 1: 400.000. Junta de Castilla y León. Sociedad de explotación e Investigación Minera de Castilla y León, SA (SIEMCALSA), Valladolid, 1997.
- COLOMINA, I., MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92, 2014, 79-97.
- DOMERGUE, C. Las minas de oro romanas de la Provincia de León: Razones de una excavación arqueológica. *Tierras de León: Revista de la Diputación Provincial*, vol. 11, no 14, 1971, 37-51.
- DOMERGUE, C., HÉRAIL, G. Une méthode pour l'étude des mines antiques en alluvion: l'exemple des mines d'or romaines de la Valduerna (León, Espagne). *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 12, 1977, 9-30.
- DOMERGUE, C. Dix-huit ans de recherche (1968-1986) sur les mines d'or romaines du nord-ouest de la Péninsule Ibérique, *Actas I Congreso Internacional Astorga Romana*, 1986, 7-101.
- DOMERGUE, C. Les mines de la Péninsule Ibérique dans l'antiquité romaine. *Ecole française de Rome*, 1990. 625 pp
- FERNÁNDEZ-LOZANO, J. GUTIÉRREZ-ALONSO, G. FERNÁNDEZ-MORÁN, M.A. Using airborne LiDAR sensing technology and aerial orthoimages to unravel roman water supply systems and gold works in NW Spain (Eria valley, León). *Journal of Archaeological Science*, vol. 53, 2015, 356-373.

- FERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, J., GONZÁLEZ-AGUILERA, D., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P., MANCERA-TABOADA, J. Image-Based Modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-Cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry* 57, 2015, 128-145.
- FERNÁNDEZ-LOZANO, J. GUTIÉRREZ-ALONSO, G. Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Eria River Valley (NW Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 5, 2016, 509-520.
- FERNÁNDEZ-POSSE, M.D., SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. La Corona y el Castro de Corporales II: campaña de 1983 y prospecciones en la Valdería y la Cabrera (León). Ministerio de Cultura, Dirección General de Bellas Artes y Archivos, Junta de Castilla y León, Consejería de Educación y Cultura, 1988.
- HENDRICKX, M., GHEYLE, W., BONNE, J., BOURGEOIS, J., DE WULF, A., GOOSSENS, R. The use of stereoscopic images taken from a micro-drone for the documentation of heritage—An example from the Tuekta burial mounds in the Russian Altay. *Journal of Archaeological Science* 38, 2011, 2968-2978.
- JUSTEL-CADIerno, M., FERNÁNDEZ-LOZANO, J., FERNÁNDEZ-MORÁN, M.A. Ruta romana del oro por la Valdería. Diputación de León. León, 145pp.
- IGME. Inventario de las labores romanas de prospección y explotación de oro en el NO de la cuenca del Duero. Memoria, 1982. 63pp.
- KOKALJ, Z., ZAKSEK, K., OSTIR, K. Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity* 85, 2011, 263.
- MATÍAS-RODRÍGUEZ, R. La minería aurífera romana del noroeste de Hispania: ingeniería minera y gestión de las explotaciones auríferas romanas en la sierra del Teleno (León-España), Nuevos elementos de ingeniería romana: III Congreso de las Obras Públicas Romanas. Consejería de Cultura y Turismo, 2006, 213-263.
- MATÍAS-RODRÍGUEZ, R. Ingeniería minera romana. En Elementos de ingeniería romana: Congreso europeo” Las obras públicas romanas”, 3-6 noviembre 2004, Tarragona. Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2004. 157-189.
- OCZIPKA, M., BEMMANN, J., PIEZONKA, H., MUNKABAYAR, J., AHRENS, B., ACHELNIK, M., LEHMANN, F. Small drones for geo-archaeology in the steppe: locating and documenting the archaeological heritage of the Orkhon Valley in Mongolia, SPIE Europe Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics, 2009. 747806-747811.
- OUÉDRAOGO, M.M., DEGRÉ, A., DEBOUCHE, C., LISEIN, J. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology* 214, 2014, 339-355.
- PEREA-CAVEDA, A., SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. Arqueología del oro astur. Orfebtería y minería, Oviedo (Caja de Asturias). 1995.

- PÉREZ-GARCÍA, L.C.. Los sedimentos auríferos del NO de la Cuenca del Duero (provincia de León, España) y su prospección. Oviedo (Universidad de Oviedo) (tesis inédita), 1977.
- PÉREZ-GARCÍA, L.C. SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. Yacimientos auríferos ibéricos en la Antigüedad, *Investigación y Ciencia*, 104. 1985. 64-75.
- PÉREZ-GARCÍA, L.C., SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. TORRES-RUIZ, J. Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo Basins). *Journal of Geochemical Exploration*, 71(2), 2000, 225-240.
- REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38, 2011, C22.
- ROSNELL, T., HONKAVAARA, E. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors* 12, 2012, 453-480.
- SAENZ, C.I., VÉLEZ, J. *Contribución al estudio de la minería primitiva del oro en el noroeste de España*, 1974.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. Prospecciones en las explotaciones auríferas del NO. De España (cuencas de los ríos Eria y Cabrera y Sierra del Teleno. *NAH*, 8. 1980. 215-249.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J., PÉREZ-GARCÍA, L.C. Las explotaciones auríferas y la ocupación romana del Noroeste en la Península Ibérica. II Seminario de Arqueología del Noroeste. Santiago de Compostela, 1980. 225-246.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. El campamento romano de Valdemeda, Manzaneda (León): ocupación militar y explotación aurífera en el NW peninsular. *Numantia: Arqueología en Castilla y León*, no 2, 1986, 227-235.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J. Las Médulas. Patrimonio de la Humanidad. Junta de Castilla y León. 2002. 166pp.
- SÁNCHEZ-PALENCIA, F.J., CURRÁS-REFOJOS. B. Campamentos romanos en zonas mineras del cuadrante noroeste de la Península Ibérica. En: *Las guerras Astur-Cántabras*. 2014, KRK Ediciones. Gijón. 273-285.
- ŠTULAR, B., KOKALJ, Ž., OŠTIR, K., NUNINGER, L. Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of Archaeological Science*, 39(11), 2012, 3354-3360.