



ESTUDIO VOLUMÉTRICO DE LAS CANTERAS ROMANAS DE RODADERO DE LOS LOBOS – CORTIJO PIQUÍN (SIERRA DE CÓRDOBA) MEDIANTE UAV LIDAR

VOLUMETRIC STUDY OF THE ROMAN QUARRIES OF RODADERO DE LOS LOBOS – PIQUÍN (CÓRDOBA MOUNTAIN RANGE) USING LIDAR UAV

Juan Carlos Moreno Escribano^{a,*} , Antonio Monterroso Checa^b , Massimo Gasparini^b , María Luisa Loza Azuaga^c , Esther Ontiveros Ortega^c , José Beltrán Fortes^d , Daniel Becerra Fernández^e 

^a Instituto Geográfico Nacional, Calle General Ibañez de Ibero, 3, 28003, Madrid, España. jcmescribano@transportes.gob.es

^b Universidad de Córdoba, Avd. Medina Azahara, 5, 14071, Córdoba, España. amonterroso@uco.es; aa2gagam@uco.es

^c Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Cno. Descubrimientos, 1, 41092, Sevilla, España. marial.loza@gmail.com; esther.ontiveros@juntadeandalucia.es

^d Universidad de Sevilla, Calle de San Fernando, 4, 14004, Sevilla, España. jbeltran@us.es

^e Universidad de Málaga, Avd. Cervantes, 2, 29071, Málaga, España. dbecerra@uma.es

Highlights:

- La tecnología UAV-LiDAR ha permitido la prospección de restos arqueológicos en zonas serranas abruptas, así como la planificación de prospecciones futuras.
- La prospección teledetectiva ha añadido datos cuantitativos que refuerzan la importancia de las canteras del Rodadero de los Lobos en el abastecimiento de material pétreo.
- Se han podido así investigar, por vez primera, las técnicas de extracción minera, volumen y cauces de salida del material en la serranía de Córdoba gracias a la teledetección.

Resumen:

Este artículo se centra en el análisis de los diferentes frentes de extracción de las canteras del material lapídeo conocidas con el nombre de Rodadero de los Lobos, ubicadas en la propiedad actual llamada cortijo Piquín (Córdoba, España). La técnica utilizada ha sido el sistema *Light Detection And Ranging* (LiDAR) desde Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV). La prospección mediante el sensor LiDAR ha permitido la captura de datos de la superficie del terreno, hasta este momento inéditos, debido a lo escarpado del mismo y la frondosidad de la vegetación, que dificultan la prospección superficial. Los resultados se han estudiado en entornos digitales y se han detectado cinco zonas que presentan anomalías, y en las que es posible suponer la presencia de otros tantos frentes de cantera, así como la extensión de éstos en el terreno. El análisis de los datos nos ha permitido cuantificar de forma aproximada el volumen de materiales extraídos. La información obtenida ha facilitado conocer y precisar mejor la envergadura de la explotación de estos recursos naturales usados desde la antigüedad y demostrar que, efectivamente, estamos ante uno de los mayores recursos de abastecimiento pétreo de la Sierra de Córdoba. No obstante, y a pesar de la importancia que tuvo la explotación y el uso de las rocas ornamentales del sector de Ossa-Morena, hasta el momento había sido muy irrisoria la investigación sobre la explotación de canteras en época antigua en la Sierra de Córdoba, debido, fundamentalmente, a la inaccesibilidad orográfica. Por tanto, si se compara con Sevilla, Málaga y Huelva, provincias con amplios estudios por no existir este problema de accesibilidad, este trabajo cobra una gran importancia.

Palabras clave: LiDAR; prospección; vías; canteras romanas; *marmor*; caliza local violácea

Abstract:

This article focuses on the analysis of the stone extraction process at the *Rodadero de los Lobos* quarries (Piquín Farmhouse-Córdoba) using Light Detection and Ranging (LiDAR) data. A LiDAR system was mounted on an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to survey these quarries, collecting previously unpublished data from the terrain's surface. The dense vegetation and steep topography of the area had made it difficult to conduct traditional surface surveys until now. The primary objective of this study is to assess the extent of the exploitation of these natural resources, which have been in use since ancient times. The new data reveals that Piquín Farmhouse is the largest stone supply source in the Córdoba highlands.

* Corresponding author: Juan Carlos Moreno Escribano, jcmescribano@transportes.gob.es



Research on ancient quarry exploitation in the highlands of Córdoba has been minimal due to the challenging geography of the region. This contrasts sharply with provinces such as Seville, Málaga, and Huelva, where extensive studies have been conducted due to better accessibility. The lack of prior research in Córdoba highlights the significance of this study, especially considering the scarcity of similar archaeological investigations in the region. The findings of this work contribute to the broader understanding of ancient quarrying practices in the Iberian Peninsula.

This study builds on previous research concerning the stone material used in the ancient city of Corduba and its surrounding administrative region, '*conventus cordobensis*,' as well as studies on Roman quarries in the province of Baetica. The quarry fronts identified through the LiDAR surveys are relatively small, which aligns with the size of ancient quarries—Roman quarries, in general, were not large-scale operations. However, some of these quarry fronts may have been expanded and altered during the medieval period, erasing the Roman features and potentially distorting the original site of stone extraction for Córdoba's famed building materials.

Aerial LiDAR technology offers a high point density per square meter, which, coupled with its multi-return feature and semi-automatic classification of the point cloud, proved invaluable in addressing the challenges posed by the rugged terrain. The high-density data, along with the efficiency and speed of the acquisition and processing, provided detailed and accurate information. These data were processed using Geographic Information Systems (GIS), enabling the extraction of relevant information while filtering out unnecessary data. This process allowed the generation of both basic and derived geospatial products, providing a comprehensive visual representation of the study area. By analysing the data, researchers were able to store, visualise, and analyse large geographical areas, generating valuable insights and reducing costs and time compared to traditional ground surveys.

Through these LiDAR surveys, five areas showing archaeological anomalies were identified, suggesting the presence of quarry fronts. These quarry fronts are located to the south of the Piquín Farmhouse hill, facing the city of Córdoba and the ancient roads that likely connected the region with other parts of the Iberian Peninsula. The data analysis allowed for an approximate estimation of the volume of materials extracted from these quarries, providing a better understanding of the scope of ancient quarrying activities. The findings confirmed that *Rodadero de los Lobos* is one of the largest stone sources in the mountainous region of Córdoba.

One of the key conclusions of this study is that LiDAR technology has proven to be an invaluable tool in identifying ancient quarries, especially in areas where the terrain's inaccessibility makes traditional field surveys difficult. While the technology generates a vast amount of data, it cannot entirely replace on-site archaeological surveys. Instead, the two methods complement each other, offering a solid foundation for understanding ancient quarrying practices. LiDAR can aid in the planning and prioritisation of archaeological fieldwork, guiding researchers to the most promising areas for in-depth investigation.

Keywords: LiDAR; prospection; Roman quarries; *marmor*; local violet limestone

1. Introducción

1.1. Uso y explotación de *marmora* en la Sierra de Córdoba

Este trabajo se centra en el análisis de los diferentes frentes de extracción de las canteras del cortijo Piquín, localizadas a unos quinientos metros de la actual construcción residencial, próximas a la ciudad de Córdoba (España), que corresponde a una de las zonas de las que se extrajo con mayor profusión una caliza cámbrica conocida como Rodadero de los Lobos (Márquez, 1995; Ventura, 1999; Ventura 2003). Se tiene constancia de la existencia de otros frentes de canteras en el actual Cerro de las Ermitas (Córdoba). Sin embargo, es en el emplazamiento aquí propuesto donde se desarrolló la principal labor extractiva, localizándose los restos de explotaciones de mayores dimensiones. Por ello hemos centrado en él este trabajo, si bien hemos considerado otros frentes menores muy próximos geográficamente.

La prospección mediante el sensor LiDAR ha permitido la captura de datos de la superficie del terreno, hasta este momento inéditos, debido a lo escarpado del mismo y la frondosidad de la vegetación, que dificultan la prospección superficial. La aplicación de esta tecnología y la obtención de los datos mediante la misma han permitido conocer, por vez primera, todos los frentes de extracción de esta cantera cordobesa, así como la realización de una aproximación al volumen de material obtenido.

Esto cobra su debido realce cuando se tiene en cuenta que los estudios desarrollados acerca de la explotación de materiales pétreos ornamentales en época romana en las provincias de Sevilla, Málaga y Huelva han sido amplios en las últimas décadas. Y que, sin embargo, la investigación sobre la explotación de canteras de época antigua en la Sierra de Córdoba, a pesar de la importancia que tuvo la explotación y el uso de las rocas ornamentales del sector de Ossa-Morena, ha llevado un ritmo más lento, debido, fundamentalmente, a esa inaccesibilidad orográfica (Figs. 1 y 2).

Estas explotaciones de la sierra cordobesa están atestiguadas desde antiguo, pero en concreto con relación a otra variedad local de caliza conocida bajo el nombre de Piedra de Mina, cuyo uso está bien constatado desde la época romana tardorrepública (Márquez, 1995; Ventura, 1999; Ontiveros et al., 2021). Al menos en los inicios del Imperio romano se comienza a utilizar esta otra variedad local de Rodadero de los Lobos, que consiste en una piedra caliza de color violáceo, con vetas de color más intenso. Debería identificarse con el "hermoso jaspe" que en el siglo XIX mencionaba Luis Ramírez de las Casas Deza en el Indicador cordobés (Ramírez de las Casas-Deza, 1856: 439).

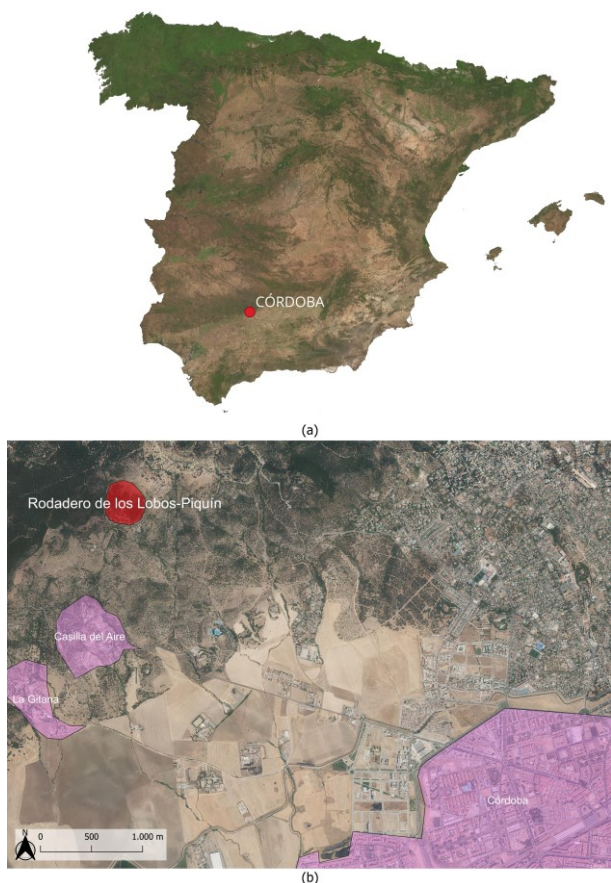


Figura 1: a) Localización de la ciudad de Córdoba en España (© OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es). b) Localización geográfica (© OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es).



Figura 2: Canteras y detritos de la cantera de Rodadero de los Lobos – cortijo Piquín (© A. Monterroso).

Estas canteras habían llamado ya la atención de los geólogos y, de hecho, las cita (Hernández-Pacheco, 1926) como uno de los yacimientos del Georgiense superior o Acadiense inferior, señalando sus afinidades con los arqueociatos. Perejón (1984) realiza, más recientemente, la identificación de la fauna presente y visible en este material pétreo.

Su uso se constata desde principios del siglo I a.C. y se seguirá usando hasta bien entrado el siglo III d.C., fecha a la que se adscribe el pedestal Q. Antonius Granius Erasinus (Ventura, 2003). Incluso, se prolongará a través

de los siglos hasta casi la actualidad, como confirman determinados materiales dispersos por la ciudad actual de Córdoba (Ventura & Gasparini, 2017). El uso de este material ha dado lugar a un amplio catálogo de piezas arquitectónicas y epigráficas, que tenemos en preparación y que constatan la importancia que tuvo la explotación de ese *marmor* ya para la ciudad romana de *Corduba*, en la que se atestigua en la construcción de un buen número de edificios; además, se identifica en diversas construcciones medievales y modernas, que ponen de relieve el empleo arquitectónico de esta piedra a lo largo del tiempo (Barrios *et al.*, 2003). También esta roca ornamental fue empleada en un buen número de pavimentos de la ciudad califal de *Madinat al-Zahra*, tras su nueva puesta en explotación durante el siglo X d.C. (Vallejo, 2010).

Por otro lado, es importante señalar que su uso en época romana no se circunscribió solo a Colonia Patricia Corduba, sino que se fue extendiendo a otras zonas más o menos cercanas, como prueba, por ejemplo, el lacus recuperado en la ciudad romana de Mellaria (Fuente Obejuna), a más de 80 km de los frentes de extracción en el interior de la sierra. Igualmente se constata su uso en los soportes de hermae-retratos epigráficos localizados en el valle del Guadalquivir, sobre todo, a partir de la segunda mitad del siglo I d.C. y el siglo II d.C. (Galán, 2019). También se localiza en Itálica (Santiponce) (Loza *et al.*, 2021) o en *Nabrissa Veneria* (Lebrija) (Romero & Becerra, 2023), río Guadalquivir abajo, o en Gades (Cádiz), en la costa atlántica, en concreto en el teatro romano (Borrego, 2013), o, incluso, en ámbitos más alejados de la costa mediterránea, como en la ciudad de *Malaca* (Málaga), en algunos de los bloques del *balteus* de la *orchestra* del teatro (dado erróneamente como caliza violácea de Alconera en (Beltrán *et al.*, 2011). Todo ello denota su uso alejado de sus centros naturales de extracción, lo que denota un abastecimiento de carácter regional (Beltrán, Corrales & Fernández, 2009).

La intensa exportación de esta piedra caliza desde los frentes de la explotación hacia *Colonia Patricia* pudo realizarse a través de unas antiguas vías *ad Montes*, de carácter eminentemente minero, localizadas al este del actual cortijo Piquín: una con una mayor pendiente, conocida como la Cuesta del Reventón, o también como Camino de las Ermitas o de las Diligencias, que es una vía natural hacia Sierra Morena; y una segunda, mejor documentada y conocida en la actualidad como la Cuesta de la Traición –paralela al arroyo del Moro–, un antiguo camino que conectaba *Corduba* con Sierra Morena (Monterroso *et al.*, 2024). *Corduba* sería el lugar de almacenamiento y de gestión de las rocas ornamentales extraídas en la sierra, contando con una *statio* para tal fin; desde ella, posteriormente, se procedería a su transporte empleando mayoritariamente el río Guadalquivir (antiguo *Baetis*) como ruta comercial, hasta llegar a la costa atlántica y al mar. Desde aquí pudo llegar igualmente a la costa mediterránea, con la que había viejas conexiones terrestres de todos modos (Córdoba-Málaga), completando así el panorama de dispersión por la geografía de la antigua provincia *Baetica*. Ello justifica su uso en los enclaves ya citados de Itálica, Lebrija, Cádiz y Málaga. No obstante, no podemos desechar la posibilidad del transporte por vía terrestre a la zona oriental del antiguo *conventus Gaditanus*, pero la orografía malagueña y de su entorno nos hace decantarnos por la vía marítima también para esa zona.

1.2. Emplazamiento geológico

El cortijo Piquín, donde se ubican estos frentes de cantera, se sitúa entre los puntos kilométricos 4 y 5 de la carretera que une las carreteras de Córdoba-Villaviciosa y Córdoba-Santa María de Trassierra. Esta explotación pétreo está incluida en el Inventario Andaluz de Georrecursos y en Español de Lugares de Interés Geológico con el nº AND197 (<http://info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=AND197>), X (UTM ED50): 338307 / Y (UTM ED50): 4198116. Huso: 30 X (UTM ETRS89): 338196 / Y (UTM ETRS89): 4197910, con una extensión aproximada de 31,10 ha (Villalobos & Pérez, s.a.: 291-292, nº 197) y situada en el conocido como cerro de Valdegrajas.

Los frentes de cantera localizados en el cortijo Piquín no debieron ser los únicos explotados a lo largo de los últimos siglos. De hecho, los resultados de las prospecciones que hemos llevado a cabo en las inmediaciones del cortijo, en la ermita de Santa María de Trassierra, nos permiten pensar que hubo otras explotaciones más pequeñas, dispersas por toda la zona, aunque los frentes de mayores dimensiones y la explotación más prolongada a lo largo del tiempo se situaron en los terrenos del cortijo mencionado. Su empleo se puede ver también en las diferentes edificaciones que componen esta propiedad privada, donde se utiliza esta piedra todavía como material constructivo y decorativo, así como en su entorno próximo, como, por ejemplo, en una cruz puesta en relación con el monasterio de San Salvador de Peña Mellaria que, para cierta parte de la investigación, se situaba en estas inmediaciones.

Desde la carretera de Palma del Río, en la zona de Vallehermoso, sobre las canteras de calcarenita del cortijo de Santa Ana de la Albaida (Penco, Moreno & Gutiérrez, 2004; Vallejo & Fernández, 2010) y por encima del castillo del mismo nombre, se puede ver desde el núcleo urbano de Córdoba, un enorme pedregal rocoso, un vestigio en el paisaje, donde se concentra una ingente cantidad de residuos, acumulados durante siglos por los canteros que trabajaron en la extracción de esta caliza, acumulados a lo largo de la vertiente (Aroca et al., 2015).

Los materiales objeto de este estudio que afloran en la Sierra de Córdoba corresponden a afloramientos de la Formación (en adelante, Fm.) Pedroche del Cámbrico Inferior (Ovetiense Inferior) (Liñán, 1974; Liñán et al., 1993; Fernández-Remolar, 1999), localizado en el Dominio Córdoba-Alanís (Delgado-Quesada et al., 1977) dentro del dominio Central de la Zona de Ossa-Morena. Asociadas a esta área también se localizan otras canteras no incluidas en el estudio que presentamos (Fig. 3).

Este dominio tectónico que se extiende desde Olivenza-Zafra hasta Hornachuelos se inicia con unos niveles terrígenos sobre los que se superpone una potente sucesión carbonatada que conforma la base de otra formación de niveles carbonatados con intercalaciones de terrígenos que presenta varios horizontes de trilobites y arqueociatos. Han sido objeto de estudio desde el siglo XIX (Hernández_Pacheco 1926; Carbonell, 1926; Perejón, 1984; Liñán, 1978; Moreno-Eiris, 1987) hasta tiempos actuales (Fernández-Remolar, 2001; Gámez et al., 2006; Perejón, Moreno-Eiris & Menéndez, 2008; Creveling et al., 2013).

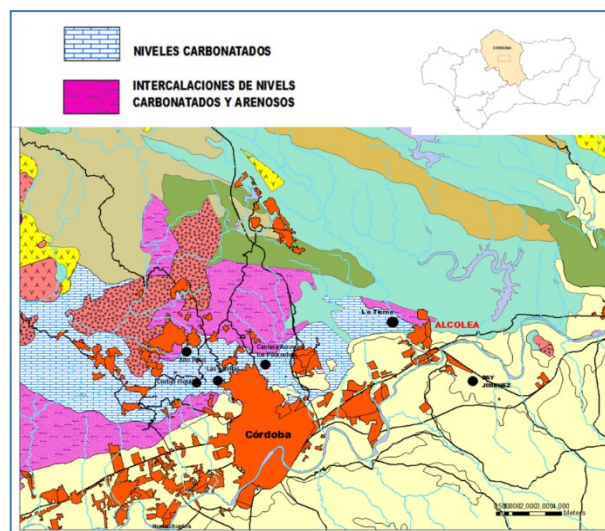


Figura 3: Emplazamiento geológico de la zona de estudio y de canteras históricas.

En la Sierra de Córdoba este dominio geológico viene representado por una sucesión de materiales que se emplazan sobre una serie vulcano-sedimentaria de edad precámbrica denominada Fm. San Jerónimo (andesitas, esquistos y arenas). Sobre ella se superponen un conjunto de formaciones de muro a techo: Fm. Torreárboles, Fm. Pedroches, Fm. Santo Domingo y Fm. Los Villares (Liñán, 1974; 1978).

La Fm. Pedroches está integrada por varios tramos (Liñán, 1974). En la base se localiza un paquete de 220 m de lutitas, areniscas y calizas localmente dolomitizadas. Concordantemente sobre ellas se sitúan calizas oolíticas con impregnaciones ferruginosas que les confieren un color rojizo, y niveles de lutitas y areniscas poco potentes. Sobre las anteriores se depositan unas areniscas y calizas muy fracturadas de unos 30 m de espesor. El tramo superior está representado por calizas oolíticas, areniscas y escasas lutitas de color violáceo. La Fm. Santo Domingo ocupa una posición intermedia y consta de calizas detríticas con intercalaciones de lutitas violáceas y amarillentas; además de unas calizas grises y calizas con nódulos de sílex. El resto de la serie se engloba en la Fm. Los Villares caracterizada por la ausencia de niveles carbonatados. Desde el punto de vista litológico se trata de rocas margoso-arcillosas con intercalaciones de areniscas, especialmente abundantes en la base.

Por una parte, (Liñán, 1978) define dentro de la Fm. Pedroches dos miembros: Miembro I inferior, que está formado mediante montículos bioconstruidos por calcimicrobios, alternando con facies siliciclásticas de potencia variable. En estos montículos es frecuente la presencia de un paquete de rocas carbonatadas de calizas calcimicrobianas con arqueociatos, calizas oolíticas y oncolíticas. El Miembro II superior se caracteriza por la alternancia de carbonatos y terrígenos, fundamentalmente arcosas y lutitas, en las que no hay arqueociatos ni calcimicrobios. Por otra parte, en la Fm. Pedroches se han definido dos dominios sedimentarios (Fernández-Remolar, 1999) basándose en la presencia de materiales fosfáticos o no. Dentro de los niveles fosfáticos se encuentran las canteras del cerro de las Ermitas y la cantera de Pay Jiménez. En el segundo sector se encuentran las canteras de Arroyo Pedroches, La Tierna, cortijo de Piquín-Rodadero de los Lobos,

similar al afloramiento del Mirador de las Niñas. En las canteras de las Ermitas y Mirador de las Niñas se han identificado niveles de carbonatados rojos con arqueociatos (Perejón *et al.*, 2008).

Finalmente, la Fm. Pedroches se correlaciona con la Fm. Alconera y el conjunto de materiales Cámbricos que se extienden desde Olivencia a Hornachuelos. Estos materiales corresponden a calizas con niveles de algas, estromatolitos con arqueociatos, oolíticas que pueden aparecer dolomitizadas, intercaladas con niveles de areniscas y lutitas (Moreno Eiris, 1987). El área geológica de estudio se ha centrado especialmente en el Sector Rodadero de los Lobos.

2. Materiales y métodos de análisis

2.1. Antecedentes y casos de estudio

El uso de sensores LiDAR aplicados a la prospección arqueológica se ha revelado como una herramienta de gran ayuda para la arqueología y para el estudio no solo de grandes espacios, sino también de aquellas zonas de un complejo relieve, por lo que su uso se ha ido incrementando de manera paulatina, en particular, en aquellos casos en los que la fotografía aérea o el empleo de técnicas geofísicas no han sido posibles por determinadas razones.

Esta tecnología es de gran utilidad para el estudio de aquellos lugares que se hallan cubiertos por densa vegetación, como el caso de algunas comunidades de la cuenca del Amazonas, donde se han descubierto en fecha reciente una serie de infraestructuras de la cultura Casarabe, en torno a dos asentamientos, denominados Cotoca y Landívar, en la actual Bolivia, según las investigaciones desarrolladas por el Instituto Arqueológico Alemán (Prümers *et al.*, 2022). Otros casos han sido las experiencias de Kuelap (en Perú), que supuso el descubrimiento de espacios domésticos diversos (Van Valkenburgh *et al.*, 2020; Righetti *et al.*, 2020) y el uso de las fotografías con drones para el estudio de Teyuna en Colombia (Mayorga, 2022). El uso de la tecnología LiDAR ha permitido también el descubrimiento de un complejo asentamiento preindustrial e importantes centros de culto, cubiertos por una densa selva tropical en Angkor, en Camboya (Evans *et al.*, 2013; Stark *et al.*, 2015; Shimoda *et al.*, 2016).

Las primeras aplicaciones del LiDAR en el campo de la Arqueología que se realizan en Europa están más ligadas al estudio del paisaje prehistórico, en concreto, por ejemplo, podemos destacar su uso en Stonehenge para descubrir el paisaje agrícola como método para revelar algunos datos no visibles y ocultos en el paisaje (Chase *et al.*, 2017).

Tras el acceso en abierto a los datos del LiDAR del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el año 2015, se han llevado a cabo un buen número de actividades con este sistema en la arqueología española. Estas experiencias han sido recopiladas en un trabajo de síntesis, publicado en el año 2020, en el que se evaluaba la introducción de esta técnica en la disciplina arqueológica y su uso en relación con los diferentes periodos históricos, comunidades autónomas y tipos de yacimientos (Cerrillo & López, 2020). Este estudio indica que esta tecnología es aplicada en función del análisis realizado en la detección de uno o más yacimientos arqueológicos, destacándose su uso en gran medida

para la localización de campamentos militares o para el análisis de la minería de época romana en determinadas zonas, a los que le siguen los trabajos aplicados a la detección de megalitos de la Prehistoria Reciente, un campo de trabajo donde se aplica con particular éxito por su facilidad a la hora de su detección en el territorio (Cerrillo & López, 2020).

En los últimos años, las mejoras en la tecnología a pequeña escala han permitido la utilización de sistemas UAV LiDAR como alternativa a los elevados costes de los sistemas LiDAR embarcados en avionetas (Wallace, Lucieer, Watson, & Turner, 2012), y a los sistemas de teledetección, que supusieron en su momento –finales del siglo XX y principios del XXI– un gran avance para la prospección arqueológica (Montufo, 1991-1992). A raíz de esta evolución, se produjo un auge del uso de UAV LiDAR como herramienta en la investigación arqueológica (Schroder *et al.*, 2021), permitiendo adquirir datos con mayor resolución espacial y temporal.

El territorio cordobés, en concreto, ha sido uno de los protagonistas en este estado primero de la aplicación de estos sensores a la prospección en la arqueología española. Un primer caso de estudio conllevó la localización del anfiteatro de la ciudad romana del yacimiento de Torreparedones (Monterroso-Checa, 2017). Un segundo caso –más novedoso– combinó esta tecnología con el estudio de la geomorfología y los datos arqueológicos en la ciudad de Córdoba para estudiar su primera implantación urbanística (Monterroso-Checa, 2019). Otros casos de atención han identificado, por ejemplo, determinados tramos de la vía de comunicación entre Córdoba y Augusta Emerita (Mérida) (Gasparini, Moreno-Escribano & Monterroso-Checa, 2019); o han permitido la reconstrucción de un paisaje histórico de más de 300 enclaves arqueológicos en el valle del Guadiato (Monterroso-Checa *et al.*, 2020; Gasparini, Moreno-Escribano & Monterroso-Checa 2020); o el estudio de hisn andalusíes, como el caso del castillo de Viandar en El Hoyo (Belmez) (Monterroso-Checa *et al.*, 2021).

Fuera de la provincia de Córdoba, ha permitido la nueva propuesta de localización del santuario de *Melqart-Hércules Gaditanus* en el entorno de la bahía de Cádiz (Monterroso, 2021). Finalmente, hemos puesto en práctica también su aplicación al yacimiento de Itálica, con la realización de distintas actividades en la *Nova Vrbs*, con vistas a la detección de anomalías en el terreno que permitan reconocer estructuras en el subsuelo (Becerra, 2023).

2.2. Adquisición LiDAR en el entorno de Rodadero de Los Lobos – cortijo Piquín

La prospección mediante UAV se ha llevado a cabo con condicionantes atmosféricos favorables en una amplia zona que ocupa el cortijo Piquín, comprendiendo más de 31.10 ha. El área prospectada presenta una orografía complicada con grandes desniveles, cubiertos en algunas zonas por una espesa vegetación. Estas circunstancias señaladas dieron lugar a la elección de las técnicas de prospección, fotogrametría aérea y adquisición LiDAR, lo que ha permitido cubrir esta extensa área y recopilar un buen número de datos para reconstruir los frentes de explotación que se han localizado en esta zona. Todo ello se combinó con la inspección a pie del área de estudio que incluyó la observación de los afloramientos geológicos, frentes de cantera e identificación de las tipologías pétreas existentes.

ESTUDIO VOLUMÉTRICO DE LAS CANTERAS ROMANAS DE RODADERO DE LOS LOBOS – CORTIJO PIQUÍN (SIERRA DE CÓRDOBA) MEDIANTE UAV LIDAR

Para el análisis espacial se ha utilizado el sistema UAV LiDAR –RIEGL miniVUX-2UAV con unidad de medida inercial IMU59– UAV DJI Matrice 600 PRO con 2 sensores RGB Sony Alpha-6000. Estos datos se han procesado con un Software RiParameter v. 2.3.3, Mission Planner v. 1.3.74, Applanix POSPac UAV v. 8.7 RiPROCESS v. 1.9, Autodesk Civil 3D v. 2024. Las especificaciones técnicas del LiDAR utilizado son:

- Frecuencia de repetición de pulsos láser de 100/200 kHz seleccionable: 200.000 pulsos/s.
- Ángulo de barrido (*'Field of view'*, FOV) de 360°, el plan de vuelo se realiza con un FOV de 45°.
- Hasta 5 retornos por pulso láser emitido.
- Sistema LiDAR compacto con unidad de medida inercial y sistema de navegación con receptor GNSS AV14 de Trimble.

El sistema tiene incorporado, –además del propio láser scanner– un sistema de navegación por satélite (GNSS) que proporciona coordenadas espaciales y la unidad de medición inercial (IMU) que corrige los ángulos de deriva e inclinación de la aeronave. El resultado es una nube de puntos densa de coordenadas tridimensionales (3D) en el sistema de referencia ETRS89-UTM30. La altitud es ortométrica.

2.3. Plan de vuelo

La zona de actuación es el denominado cerro del cortijo Piquín y abarca una superficie de 31.10 ha (Fig. 4a). El plan de vuelo se realiza buscando un equilibrio entre resolución espacial y autonomía de vuelo. Los diferentes parámetros de vuelo LiDAR se obtienen con el software RiParameter de RIEGL.

Los parámetros del vuelo planificado son la velocidad de vuelo 7 m/s, altura de vuelo 90 m, ángulo de barrido 45°, densidad media de 48 pts/m², anchura de las pasadas 75 m y recubrimiento entre pasadas del 20% (Fig. 4b). El plan de vuelo se diseña con el software de código abierto Mission Planner v. 1.3.74.

2.4. Procesado de datos

La georreferenciación del vuelo LiDAR se ha realizado siguiendo el método de posicionamiento GNSS relativo de fase con cálculo de coordenadas en post proceso, para una mayor precisión. Este método de posicionamiento permite alcanzar precisiones de aproximadamente 7 cm en altimetría y 5 cm en planimetría. Para el cálculo en post proceso de las coordenadas de la trayectoria es necesario los ficheros RINEX de la red de estaciones permanentes GNSS (ERGNSS), pertenecientes al IGN. La estación utilizada es la denominada COBA, ubicada en el Campus Universitario de Rabanales de la Universidad de Córdoba. El software Applanix POSPac UAV v. 8.7 es el utilizado para realizar este cálculo.

El principal producto adquirido en un proyecto de vuelo LiDAR es la nube de puntos densa (Fig. 5a). Esta nube de puntos en bruto es procesada con el software RIEGL RiPROCESS v. 1.9 para el control de calidad de los datos adquiridos, conversión de altitudes elipsoidales a ortométricas y clasificación semiautomática de los puntos. La clasificación se realiza en función de puntos



(a)

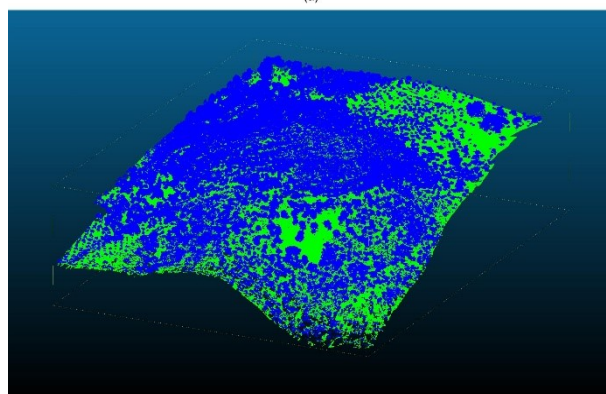
Scanner Settings:	
Device Type:	miniVUX-2UAV
Serial Number:	52228153
Channel Name:	Channel_1
Max. Prog:	200 MHz
PRR:	201 kHz
Laser Power Level:	100 %
Laser Program:	2
Angular Step Width:	0.0271 deg
Scan Rate:	48.5 lin
FOV of Scanner:	45.0 deg
FOV of Single Laser Channel:	45.0 deg
Flight Parameters:	
Height AGL:	90.0 m 295 ft
Height AMSL:	90.0 m 295 ft
Speed:	7.00 m/s 13.6 km/h 25.2 mph
Scan Pattern:	
	Minimum Terrain Altitude: Maximum Terrain Altitude: Min. Terrain Altitude excl. Overlay:
Point Distance:	
MIN:	0.137 m 0.449 ft
AVG:	0.144 m 0.473 ft
MAX:	0.160 m 0.526 ft
Footprint Diameter:	
MIN:	0.0700 m 0.230 ft
AVG:	0.0719 m 0.236 ft
MAX:	0.0756 m 0.249 ft
Line Distance:	
MIN:	0.144 m 0.473 ft
AVG:	0.144 m 0.473 ft
MAX:	0.144 m 0.473 ft
Swath Width:	
MIN:	74.6 m 245 ft
AVG:	74.6 m 245 ft
MAX:	74.6 m 245 ft
Lateral Strip Separation:	
MIN:	59.6 m 195 ft
AVG:	59.6 m 195 ft
MAX:	59.6 m 195 ft
Overlap Per Side:	
MIN:	14.9 % 48.9 ft
AVG:	14.9 % 48.9 ft
MAX:	14.9 % 48.9 ft
Skidlap Per Side:	
MIN:	20.0 %
AVG:	20.0 %
MAX:	20.0 %
Point Density:	
MIN:	43.2 pts/m ²
AVG:	48.0 pts/m ²
MAX:	50.7 pts/m ²

(b)

Figura 4: a) Superficie de la zona de actuación delimitado en rojo, 31.10 ha. Abarca la totalidad de la cantera del cortijo Piquín (© OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es); b) Parámetros de vuelo obtenidos con el software RiParameter.



(a)



(b)

Figura 5: Nube de puntos densa: a) RGB adquirida en el vuelo LiDAR; b) Clasificada en puntos terreno (verde) y puntos vegetación (azul).

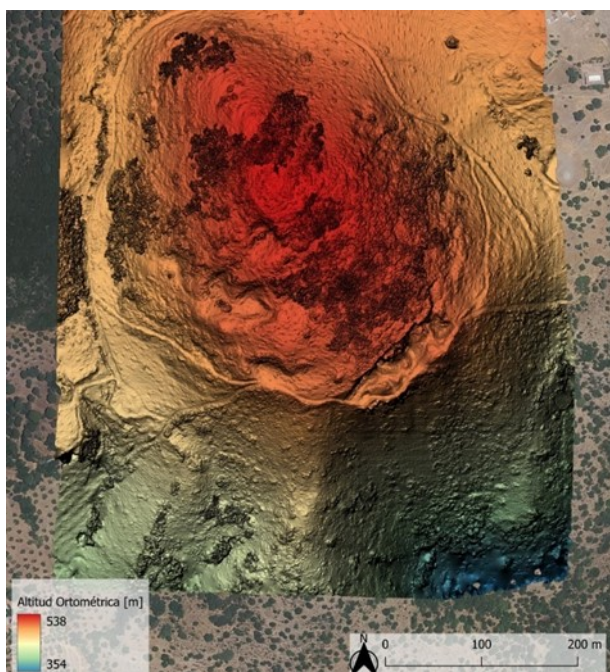


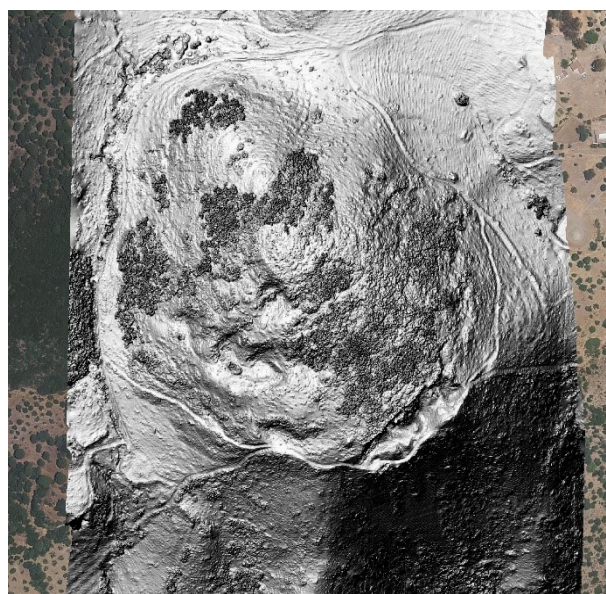
Figura 6: MDT derivado de la nube de puntos LiDAR.



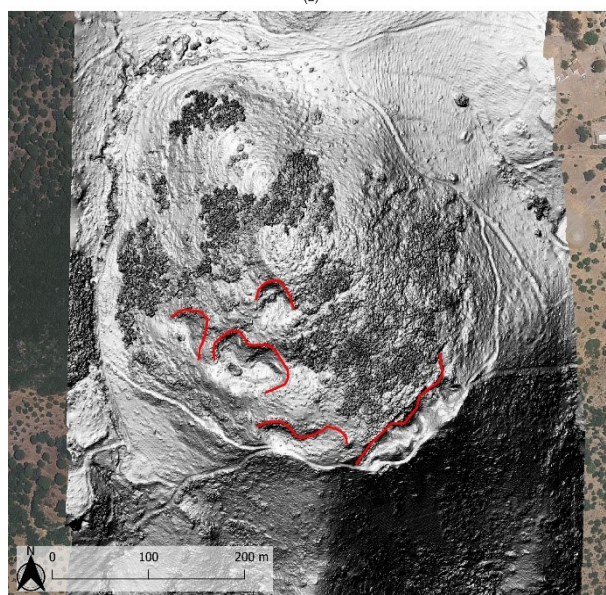
Figura 7: Ortofotografía derivada de la adquisición de datos LiDAR.

pertenecientes a vegetación y pertenecientes a suelo (Fig. 5b). El algoritmo utilizado es el denominado "Procedimiento de clasificación simple RLMS 1" incorporado en el software RiPROCESS v. 1.9. Este algoritmo distingue entre puntos de vegetación y puntos de suelo basado en el número de retornos, la anchura del pulso láser y la distancia a las señales de retornos anteriores.

El conjunto de puntos clasificados con la categoría de suelo presenta una densidad de puntos promedio de 39 pts/m² sin tener en cuenta las zonas de solape entre pasadas. En cuyo caso, la densidad sería aún mayor.



(a)



(b)

Figura 8: a) Mapa de sombras generado a partir del MDT; b) Interpretación (líneas rojas) de los posibles frentes de cantera ubicados en el cerro del cortijo Piquín (© OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es).

Los productos derivados son el modelo digital de superficies (MDS), modelo digital del terreno (MDT) (Fig. 6) y la ortofotografía de la zona de vuelo (Fig. 7). El MDT y la ortofotografía son utilizados en la teledetección arqueológica y se gestionan en entorno SIG mediante el software QGIS 3.22. La ortofotografía (Fig. 7) proporciona información sobre lo abrupto y silvestre de la zona.

El mapa de sombras generado a partir del MDT, presenta una serie de anomalías correspondientes con posibles frentes de cantera (Fig. 8) en la zona meridional del cerro del cortijo Piquín. Además, las anomalías corresponden, de manera aproximada, al área de extracción del material (Fig. 10).

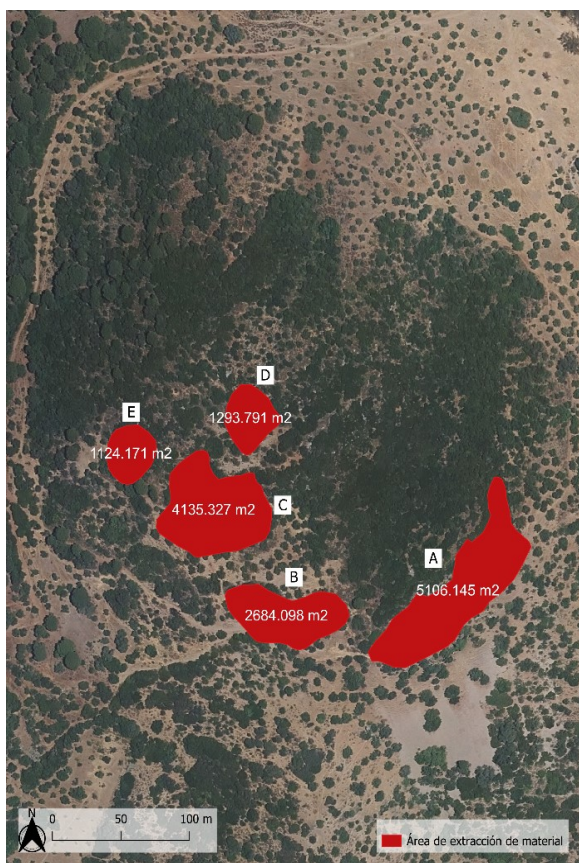


Figura 9: Interpretación (áreas en rojo) de las posibles áreas de extracción de material (© OrtoPNOA 2021 CC-BY 4.0 scne.es).

3. Resultados

3.1. Frentes de cantera detectados

El uso de la tecnología LiDAR ha permitido detectar cinco zonas que presentan anomalías y en las que se puede suponer la presencia de otros tantos frentes de cantera, así como la extensión de estos en el terreno (Fig. 9). Todos estos frentes de cantera se encuentran orientados al sur del cerro del cortijo Piquín, de frente con la cercana Córdoba y con la vía o vías terrestres que conectarían con las calzadas señaladas anteriormente –Cuesta del Reventón y Cuesta de la Traición–, permitiendo la llegada del material lapídeo a la capital bética. El hecho de que se encuentren al sur del cerro nos permite además plantear que fueron frentes no agotados, ya que se dispusieron en la zona más favorable para su posterior traslado en bloques y no hubo necesidad de abrir nuevos espacios en la cara norte, sin duda con una mayor problemática. A ello debemos sumar que en la actualidad se constata la presencia de huellas de explotación en la cantera –no teniendo que tratarse de huellas de la antigüedad– y sobre material susceptible de haber sido extraído.

El primer frente (frente A) está situado a unos 500 m al oeste de las edificaciones del cortijo actual. Es el de mayores dimensiones, con una extensión de unos 150 m de largo, que se adapta al relieve de la zona; se encuentra al pie de uno de los caminos que permiten la circulación en la propiedad. Ocupa una extensa área de 5106.145 m².

A unos 50 m al oeste de esta primera explotación se localiza una segunda área (frente B), de menores dimensiones, que se extiende unos 80 m en su parte más ancha, a la que se accede también a través de la actual vereda, que sigue la orografía y bordea la ladera del cerro. El área por la que se extiende la explotación ocupa una superficie aproximada de 2684.098 m², con una mayor amplitud en altura que las anteriores.

La tercera zona de extracción (frente C) se localiza al noroeste de la anterior, a unos 20 m, siendo de menores dimensiones que las dos anteriores; presenta una extensión de 4135.327 m².

A unos 15 m al norte se ha detectado una cuarta zona (frente D), de menores dimensiones, en la que hay indicios de extracción de piedra, de 1293.791 m². Hay una quinta área de extracción (frente E), que se sitúa en paralelo al frente B, unos 20 m al oeste, de menor tamaño y con un área de unos 1124.171 m²,

Junto a este frente E y en conexión con el camino principal hay una senda, más estrecha y empinada, que parece dar acceso a esta cantera y enlaza también con el frente C.

Se aprecia que los frentes de cantera, situados a una menor altitud y más próximos al sendero principal, presentan unas mayores dimensiones y van disminuyendo en tamaño a media que progresan en altura. Asimismo, hay una vía con dirección O-E que parte de la zona más occidental de la finca y parece dar acceso al frente de explotación que hemos denominado B.

En las prospecciones que hemos realizado por esta extensa zona no se han localizado piezas semidesvastadas en las inmediaciones, ni se han detectado huellas de cuñas. A pesar de ello, las modestas dimensiones de los frentes de extracción de Rodadero de los Lobos coinciden con el tamaño de las explotaciones antiguas, ya que los frentes de explotación individuales (loci) de las canteras romanas, por lo general, no eran muy extensos (Letta, 2015). Probablemente, estos frentes antiguos fueron ampliándose y modificándose con explotaciones posteriores en la zona, eliminando la huella romana y desvirtuando el área de obtención de este material lapídeo.

3.2. Producción de las canteras. Reproducción de los volúmenes de material extraído

El cálculo del volumen de material extraído es mucho más complejo. Por tanto, solo es posible calcular un valor aproximado. A diferencia del cálculo de volúmenes en edificios construidos donde existen figuras geométricas regulares, en las canteras antiguas la extracción del material presenta una figura geométrica compleja. Además, la subjetividad es un factor con mucho peso. Todo el proceso está sujeto a la interpretación del técnico en las anomalías, áreas de extracción y cálculo de volumen.

La solución adaptada es la reconstrucción digital en 3D del material extraído teniendo en cuenta su adaptación a la topografía de la zona de estudio (Fig. 10). Esta reconstrucción se ha realizado utilizando como base productos derivados de la nube de puntos LiDAR, en concreto curvas de nivel y MDT. A partir de las curvas de nivel, se traza un hipotético curvado anterior a la explotación del material dentro de las áreas de las canteras (Fig. 9). Este hipotético curvado se obtiene a

partir de la información topográfica de las inmediaciones de las canteras. Posteriormente, las superficies se extruyen y se modelan en base a las curvas de nivel calculadas. Este procedimiento requiere de un software que permita trabajar con figuras 3D, diseñarlas y calcular el valor de su volumen. El software utilizado ha sido Autocad Civil 3D 2024.

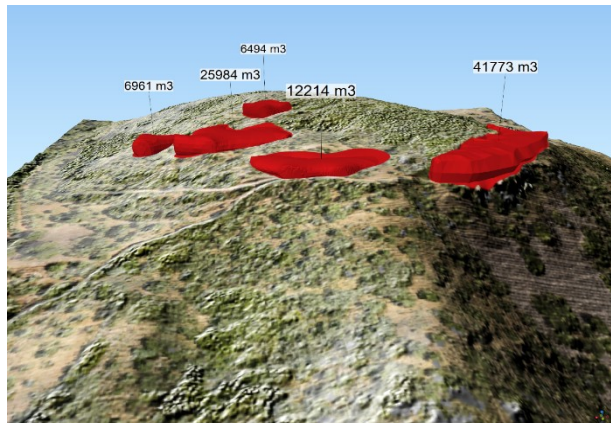


Figura 10: Reconstrucción del material extraído en cada área de extracción y su valor aproximado en m³.

El volumen total extraído de los cinco frentes detectados totaliza una cantidad de unos 93.426 m³, una gran cantidad de material que solo se explica por la perduración de la explotación a lo largo de los siglos. A modo indicativo se puede poner el ejemplo del pedestal de la estatua ecuestre de Q. Antonius Granus Erasinus (Ventura, 2003) que presenta unas dimensiones de 20 cm x 45 cm x 154 cm, lo que supondría un volumen de 831.600 cm³. En este sentido, cabe recordar también el pavimento del patio de la llamada Casa de los Pilares de Madinat al-Zahra, que ocupa un área de unos 48 m² (24 x 24 m, según (Almagro, 2001), con un grosor aproximado de las losas de pavimento de 0.05 m, lo que supone que en su solado solo se necesitaría un volumen de piedra de 24 m³.

El volumen del pedestal de Q. Antonius Granus Erasinus y de la solería del patio de la Casa de los Pilares de Madinat al-Zahra sirven para estimar el elevado uso de la piedra de Rodadero de los Lobos a lo largo del tiempo; de ello es también indicativo el gran canchal que se acumula en la ladera sur del cortijo, un hito paisajístico advertible desde la ciudad de Córdoba, como hemos comentado más arriba.

Encontramos fragmentos de fustes de columnas elaborados en caliza violácea de la cantera de Rodadero de los Lobos y reutilizados en el viario de Córdoba –véanse algunas de las columnas del andén de la actual Catedral (Fig. 11) o las molduras del basamento del mausoleo de Puerta Gallegos en Córdoba (Fig. 12)– o en el interior de construcciones públicas y privadas, como se constata en el interior de la antesacristía de la iglesia de San Pablo. En Lebrija ha sido identificado –en la nave de la epístola de la iglesia de Santa María de la Oliva– un fragmento de fuste de columna elaborado en Rodadero de los Lobos y procedente de la reutilización de material romano de la antigua *Nabrissa Veneria*. Este fuste presenta unas dimensiones de 144 cm de alto conservado y 41.5 cm de diámetro (Romero & Becerra, 2023).



Figura 11: Columna del andén de la actual Mezquita-Catedral de Córdoba.



Figura 12: Basamento de monumento funerario de Puerta Gallegos en Córdoba

Las medidas de la última pieza y de los fustes de columnas en estado fragmentarios localizados en Córdoba evidencian la extracción de bloques monolíticos de tamaño mediano y grande para la decoración arquitectónica.

Para estimar el uso que se hizo de esta piedra a lo largo de los siglos, cuyo catálogo detallado está en elaboración, hay que considerar que junto a las canteras de Cortijo Piquín debió de haber otros frentes extractivos en uso, según se ha podido comprobar en las prospecciones superficiales realizadas en las zonas colindantes.

4. Discusión

Los resultados obtenidos permiten abrir una discusión a dos niveles: por una parte, los resultados histórico-arqueológicos vinculados a la extracción, difusión y gestión de las canteras del cortijo Piquín y de la piedra Rodadero de los Lobos; por otro lado, las virtudes y deficiencias de las herramientas tecnológicas empleadas en esta área de explotación lapídea.

La obtención de datos geoespaciales mediante LiDAR desde UAV evidencian que los negativos en la superficie montañosa analizada son antrópicos, hecho que se constata y reafirma tras la revisión *de visu* en la prospección superficial realizada sobre este terreno. Son frentes de extracción de medidas apropiadas para los modos y usos empleados en el mundo romano, *loci* similares a otros identificados en la antigua provincia romana de la *Baetica*, como pueden ser el caso de los frentes del mármol de Almadén de la Plata (actual provincia de Sevilla) (Beltrán et al., 2010). A todo ello, se suma que, de tratarse de desprendimientos casuales en la misma zona –muy próximas unas con otras– y con el grado de regularidad de éstos, la entidad de los desprendimientos haría que quedasen amontonados frente a ellos, dando lugar a montículos, hecho que no sucede. Por lo que la interpretación como frentes de canteras de este importante material pétreo cordobés es coherente y correcta.

El material lapídeo Rodadero de los Lobos sólo pudo ser transportado por vías ubicadas al este y al oeste de los frentes de explotación, ya que la elevación del terreno al norte lo imposibilitaría, mientras que, al sur, el imponente canchal no haría factible que los bloques pudieran ser transportados hacia dicho punto cardinal. Por ello, el desplazamiento del material solamente pudo salir por vías de comunicación terrestres ubicadas al este u oeste de este conjunto de frentes de explotación ubicados en el actual cortijo Piquín de la sierra cordobesa, ya que los niveles de inclinación del terreno así lo facilitarían. Desde esas vías si pudieron llegar al sur y al norte siguiendo otros senderos o tras el cambio de orientación de estas. Hacia el este tenemos la constatación de vías de comunicación terrestre, empleadas en la Antigüedad, que conectarían los montes con la ciudad de Córdoba, tal y como se han mencionado en líneas precedentes, no descartándose la posible salida hacia el oeste, sobre todo en momentos más recientes como el periodo andalusi, en el que esta roca ornamental se hace presente en *Madinat al-Zahra* (Vallejo, 2010). Seguir las vías de comunicación terrestres actualmente establecidas sería una posible ruta óptima, si bien esta es una problemática arqueológica a la que la investigación posterior deberá hacer frente.

Por último, cabría abrir una discusión sobre la posible existencia de otros frentes de canteras que permitiesen obtener la piedra del tipo denominado como Rodadero de los Lobos. Los frentes analizados evidencian la extracción de bloques en este material pétreo, pero los resultados de las prospecciones superficiales realizadas y la caracterización mediante técnicas físico-químicas de las muestras obtenidas en las inmediaciones del cortijo, concretamente en los alrededores de la ermita de Santa María de Trassierra, nos permiten pensar en la existencia de otros frentes de explotación, dispersos por la sierra, aunque los frentes de mayor entidad y con un uso más dilatado en el tiempo serían los situados en la zona de estudio analizada en este trabajo.

La sierra cordobesa deberá ser objeto de estudio de ulteriores trabajos de investigación que pongan el foco científico en las rocas ornamentales extraídas de ella, tanto el Rodadero de los Lobos, como la Piedra de Mina y otras variedades lapídeas –entre las que encontramos mármoles blancos–. Esos estudios serán de gran importancia para conocer la ornamentación de la ciudad de la Córdoba romana y de la *provincia Vltior Baetica*, a la luz de las publicaciones sobre *marmora* y *spolia* que se vienen realizando en los últimos años.

Por otro lado, este trabajo presenta una de las primeras experiencias de localización y documentación de canteras marmóreas romanas mediante sistemas LiDAR desde UAV en el ámbito de España. El uso de la tecnología para establecer un volumen aproximado del material lapídeo extraído en las canteras romanas se presenta como un hito muy relevante para el devenir de la ciencia arqueológica y para el desarrollo de futuros trabajos de investigación enfocados en la arqueología del mármol desde una perspectiva de análisis económico. Así, este es un trabajo pionero con unas técnicas y una metodología que podrán servir de referente para futuras investigaciones, no circunscribiéndose únicamente a las canteras del periodo romano.

Las grandes ventajas de la tecnología LiDAR son evidentes, la adquisición de datos con alta densidad y elevada precisión en un corto periodo de tiempo y la posibilidad de automatizar procesos. Asimismo, aunque no es único en este tipo de sistemas, el tratamiento de datos en entornos digitales proporciona productos derivados de gran valor añadido, tales como el MDT y ortofotografía aérea. Además, todos estos productos están georreferenciados en un sistema de referencia global, lo que permite ser tratados en un proyecto SIG. La utilización de estas técnicas ha permitido reducir ostensiblemente los costes de producción.

Como reflexión final de este apartado de discusión, hemos de concluir que los sistemas LiDAR se muestran en los últimos años como una herramienta de gran relevancia para la detección y documentación de alteraciones del terreno y del patrimonio histórico (Rodríguez-Bulnes et al., 2024; Cerrillo & López, 2020; Lagóstena Barrios et al., 2024). Estos sistemas deberán ser mejorados progresivamente con el desarrollo tecnológico y deberán acompañarse del perfeccionamiento de las metodologías que los empleen.

5. Conclusiones

El uso de la tecnología LiDAR ha sido de gran ayuda a la hora de determinar anomalías en el terreno que permitan la localización exacta de frentes de obtención o amplias zonas de extracción de material pétreo, sus dimensiones, áreas y coordenadas 3D (X, Y, H). Estos datos han permitido asimismo aproximarnos al volumen de caliza extraída de los frentes de cantera, localizados en los terrenos del actual cortijo Piquín. Los datos proporcionados por esta tecnología han necesitado de una posterior comprobación mediante prospecciones, realizadas sobre el terreno.

Se ha puesto en evidencia que LiDAR puede servir de gran ayuda para la localización de canteras antiguas, en particular, en aquellas zonas donde la dificultad del terreno hace complicado el acceso a los frentes de cantera y su localización.

De especial utilidad ha sido para cuantificar las dimensiones y el volumen de piedra extraído, una herramienta de obligado uso para su cálculo. Con base en estos datos se puede concluir la importancia que tuvo el uso de estos materiales pétreos en el territorio a lo largo del tiempo. En este sentido, se ha revelado como una herramienta imprescindible para el uso del estudio del volumen del material extraído en canteras de la antigüedad y la incidencia de este material en el territorio a lo largo de la historia.

Asimismo, se presenta como una tecnología necesaria a la hora de la planificación de futuras intervenciones en el territorio a la hora de la localización y estudio de las canteras de la Sierra de Córdoba. En el caso del estudio de los frentes de extracción, situados en el cortijo Piquín, el uso de la tecnología LiDAR ha dado como resultado un gran número de datos geoespaciales de gran utilidad para la localización de las explotaciones históricas. No obstante, estos datos se deberán corroborar con posteriores prospecciones para la localización más precisa de las explotaciones y obtener datos más precisos que permitan una datación más ajustada de cada uno de los frentes detectados y documentados.

Referencias

- Almagro, A. (2001). La arquitectura en al-Andalus en torno al año mil: Medina Azahra. En Fundación Sánchez-Albornoz (Eds.). *La Península Ibérica en torno al año 1000. VII Congreso de Estudios Medievales* (pp. 165-192). León: Fundación Sánchez-Albornoz. <https://digital.csic.es/handle/10261/19813>
- Aroca Pavón, P., Rojo Aranda, M., & Muñoz Macías, F. (2015). *Córdoba, Patrimonio Natural*. Córdoba: Ayuntamiento de Córdoba.
- Barrios-Neira, J., Montealegre, L., Nieto, N., & Palma, J. (2003). Contribución al estudio litológico de los materiales empleados en monumentos de Córdoba. *Arqueología de la Arquitectura*, 2, 47-53. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2003.23>
- Becerra Fernández, D. (2023). *Nuevo estudio del Traianeum de Itálica (Santiponce, Sevilla). Adecuación entre planimetría y escultura colosal a través de las nuevas tecnologías. Actividad arqueológica puntual*. Memoria preliminar (inédita). Delegación Territorial de Turismo, Cultura y Deporte en Sevilla de la Junta de Andalucía.
- Beltrán Fortes, J., Corrales Aguilar, M., & Fernández, L. E. (2009). Marmora del teatro romano de Malaca (Málaga). En T. Nogales & J. Beltrán (Eds.), *Marmora Hispana: explotación y uso de los materiales pétreos en la Hispania romana* (pp. 261-284). Roma: L'Erma di Brestschneider.
- Beltrán Fortes, J., Loza Azuaga, M. L., Ontiveros Ortega, E., Rodríguez Gutiérrez, O., & Taylor, R. (2011). La explotación y empleo de marmora en la Baetica. Un proyecto de investigación de base arqueométrica. *Itálica*, 1, 51-75. <http://hdl.handle.net/11532/264049>
- Beltrán Fortes, J., López Aldana, P., & Manuel López, J. (2010). La cantera romana de "Los Covachos" (Almadén de la Plata, Sevilla). El uso del láser-escáner con un objetivo arqueológico. *Virtual Archaeology Review*, 1(2), 73-76. <https://doi.org/10.4995/var.2010.4690>
- Borrego de la Paz, J. de D. (2013). *La génesis del modelo arquitectónico teatral en la Bética: el teatro romano de Cádiz* (tesis doctoral, Universidad de Córdoba). Recuperado de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/10057/758.pdf>
- Carbonell Trillo-Figueroa, A. (1926). *Notas Explicativas de la Geología de las inmediaciones de Córdoba dadas a los congresistas del XIV Congreso Internacional Geológico de Madrid*. Córdoba: Imprenta "La Comercial".
- Cerrillo Cuenca, E., & López López, A. (2020). Evaluación y perspectivas del uso del LIDAR en la arqueología española. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 39, 221-238.

Financiación

Este artículo se enmarca en el proyecto: FEDER / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación (AEI) / Proyecto Ager Mellariensis II: Explotación y configuración del territorio en el sector central de la aurífera tierra de Córdoba (PID2020-114331GB-I00), de la Universidad de Córdoba.

Además, se enmarca este trabajo en el desarrollo del proyecto: FEDER / Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación (AEI) / Proyecto Italica Adrianea: la Nova Urbs. Análisis arqueológico del paradigma urbano y su evolución, y contrastación del modelo (PID2020-114528GB-I00), de la Universidad de Sevilla.

Agradecimientos

Agradecemos al propietario del cortijo Piquín, Juan de Dios Garrido López, el permiso para el acceso al espacio que ocupó la antigua cantera y su colaboración en este proyecto, así como al guarda rural del cortijo, Rafael, por su ayuda y consejos en el terreno.

Asimismo, expresamos nuestro agradecimiento al Instituto Geográfico Nacional de España, por el uso de los datos de acceso libre PNOA-Lidar, en: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (fecha de acceso, 12 de septiembre de 2023).

ESTUDIO VOLUMÉTRICO DE LAS CANTERAS ROMANAS DE RODADERO DE LOS LOBOS – CORTIJO PIQUÍN
(SIERRA DE CÓRDOBA) MEDIANTE UAV LIDAR

- Chase, A. S. Z., Chase, D. Z., & Chase, A. F. (2017). LiDAR para la investigación arqueológica y el estudio de paisajes históricos. En N. Masini & F. Soldovieri (Eds), *Sensing the Past. Geotechnologies and the Environment* (pp. 89-100). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50518-3_4
- Creveling, R., Fernández-Remolar, D., Rodríguez-Martínez, M., Menéndez, S., Bergmann, K., Gill, B., & Knoll, A. (2013). Geobiology of a lower Cambrian carbonate platform, Pedroche Formation, Ossa Morena Zone, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386, 459-478. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.06.015>
- Delgado Quesada, M., Liñán, E., Pascual, E., & Pérez Lorente, F. (1977). Criterios para la diferenciación de Dominios en Sierra Morena Central. *Studia Geológica*, 12, 75-90.
- Evans, D. H., Fletcher, R. J., Pottier, C., Chevance, J. B., Soutif, D., Tan, B. S., Imd, S., Ead, D., Tind, T., Kimd, S. *et al.* (2013). Uncovering archaeological landscapes at Angkor using lidar. *PNAS*, 110, 12595-12600. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306539110>
- Fernández-Remolar, D. C. (1999). Las calizas fosforíticas del Ovetiense Inferior de la Sierra de Córdoba, España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 95 (1-4), 15-45.
- Fernandez-Remolar, D. (2001). Chancelloridae del Ovetiense Inferior de la Sierra de Córdoba, España. *Spanish Journal of Palaeontology*, 16 (1), 39-61. <https://doi.org/10.7203/sjp.16.1.21579>
- Galán Palomares, L. (2019). Los soportes hermáicos en Hispania: estudio sobre la funcionalidad y dispersión geográfica de los hermae epigráficos en la península ibérica. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 29, 69-89. <https://doi.org/10.21001/rap.2019.29.3>
- Gámez Vintaned, J. A., Liñán, E., Mayoral, E., Dies, M. E., Gozalo, R., & Muñiz, F. (2006). Trace and soft body fossils from the Pedroche Formation (Ovetian, Lower Cambrian of the Sierra de Córdoba, S Spain) and their relation to the Pedroche event. *Geobios*, 39(4), 443-468. <https://doi.org/10.1016/j.geobios.2005.04.004>
- Gasparini, M., Moreno-Escribano, J. C., & Monterroso-Checa, A. (2019). Identifying the Roman road from Corduba to Emerita in the Puente Nuevo reservoir (Espiel-Córdoba/Spain). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 4, 363-372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.026>
- Gasparini, M., Moreno-Escribano, J. C., & Monterroso Checa, A. (2020). Photogrammetric Acquisitions in Diverse Archaeological Contexts Using Drones: Background of the Ager Mellariensis Project (North of Córdoba-Spain). *Drones*, 8. <https://doi.org/10.3390/drones4030047>
- Hernández-Pacheco, E. (1926). *La Sierra Morena y la Llanura Bética (Síntesis geológica)*. Madrid: Editorial Instituto Geológico de España.
- Lagóstena Barrios, L. G., Rondán-Sevilla, I., & Calvillo Ardilla, J. A. (2024). Canteras y barreros en Puerto Real: Análisis Lidar para su documentación y valoración histórica. *Matagorda*, 6, 46-63.
- Letta, C. (2015). Tipologia delle notae apposte nell'area delle cave lunensi. In E. Paribeni & S. Segenni (Eds.), *Notae lapidinarum dalle cave di Carrara* (pp. 425-432). Pisa: Editorial Pisa University Press.
- Liñán, E. (1974). Las formaciones cámbricas del norte de Córdoba. *Acta Geológica Hispana*, IX (1), 15-20.
- Liñán, E. (1978). Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba (tesis doctoral, Universidad de Granada). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10481/54334>
- Liñán, E., Fernández-Nieto, C., Gámez, J., Gonzalo, R., Mayoral, E., Moreno-Eiris, E., & Perejón, A. (1993). Problemática del límite Cámbrico Inferior-Medio en Murero (Cadenas Ibéricas, España). *Sociedad Española de Paleontología*, n.º extraordinario, 26-39. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/59516>
- Loza Azuaga, M. L., Becerra Fernández, D., Izquierdo de Montes, R., Ontiveros Ortega, E., & Beltrán Fortes, J. (2021). Marmora de Itálica: elementos arquitectónicos en la calle Feria 19 (Santiponce). En J. Beltrán y J. L. Escacena (Coords.), *Itálica. Investigaciones arqueológicas en la Vetus Urbs* (pp. 171-196). Sevilla: Editorial de la Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/132497>
- Márquez Moreno, C. (1995). Modelos romanos en la arquitectura monumental de Colonia Patricia Corduba. *Archivo Español de Arqueología*, 71, 113-138. <https://doi.org/10.3989/aespa.1998.v71.278>

- Mayorga, M. I. (2022). Teyuna: La ciudad perdida Tairona. Dibujos y levantamientos como aporte gráfico a su estudio. En P. M. Jiménez Vicario & M. Maestre Martí (Coords.), *Más allá de las líneas. La gráfica y sus usos: XIX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica* (pp. 195-198). Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. <https://doi.org/10.31428/10317/11266>
- Monterroso-Checa, A. (2017). Remote sensing and archaeology from Spanish LiDAR-PNOA: Identifying the amphitheatre of the Roman city of Torreparedones (Córdoba-Andalucía-Spain). *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 17, 15-22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.258079>
- Monterroso-Checa, A. (2019). Geoarchaeological characterisation of sites of Iberian and Roman Cordoba using LiDAR data acquisitions. *Geosciences*, 9(5), 205. <https://doi.org/10.3390/geosciences9050205>
- Monterroso-Checa, A. (2021). La ubicación del santuario de Melqart en Gadir: aportación de los datos PNOA-LiDAR. *SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*, 30-1, 137-164. <https://doi.org/10.12795/spal.2021.i30.05>
- Monterroso-Checa, A., Redondo-Villa, A., Gasparini, M., Hornero, A., Iraci, B., Martín-Talaverano, R., Moreno-Escribano, J. C., Muñoz-Cádiz, J., Murillo-Fragero, J. I., & Obregón-Romero, R. (2020). A Heritage Science Workflow to Preserve and Narrate a Rural Archeological Landscape Using Virtual Reality: The Cerro del Castillo of Belmez and Its Surrounding Environment (Cordoba, Spain). *Applied Sciences*, 10(23), 8659. <https://doi.org/10.3390/app10238659>
- Monterroso-Checa, A., Moreno-Escribano, J. C., Gasparini, M., Conejo-Moreno, J. A., & Domínguez-Jiménez, J. L. (2021). Revealing Archaeological Sites under Mediterranean Forest Canopy Using LiDAR: El Viandar Castle (husum) in El Hoyo (Belmez-Córdoba, Spain). *Drones*, 5(3), 72. <https://doi.org/10.3390/drones5030072>
- Monterroso-Checa, A., Domergue, C., Rico, C., Zarzalejos Prieto, M. M., Palero Fernández, F. J., Klein, S., ... & Ruiz Arrebola, J. R. (2024). La sociedad Sisaponensis, los lingotes de Doña Rama-Belmez y la explotación minera de los montes de Corduba. *Journal of Roman Archaeology*, 37(1), 148-187. <https://doi.org/10.1017/S1047759424000035>
- Montufo Martín, A. M. (1991-1992). Aplicaciones de la teledetección en Arqueología. Una revisión crítica. *BIBLID*, 16-17, 425-451. <https://doi.org/10.30827/cpag.v16i0.1311>
- Moreno-Eiris, E. (1987). Los montículos arrécales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. Madrid. *Boletín Geológico y Minero*, XCVIII-111, 295-317. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/65094>
- Ontiveros Ortega, E., Beltrán Fortes, J., Monterroso-Checa, A., Loza Azuaga, M. L., Gasparini, M., & Ventura, V. (2021). Primeros avances en la investigación sobre las canteras de marmora en la Sierra de Córdoba, Sector Ossa-Morena (España). *Geo-Temas*, 18, 947-950.
- Penco Valenzuela, F., Moreno Almenara, M., & Gutiérrez Deza, M. I. (2004). Dos canteras romanas en galería en Colonia Patricia Corduba: Peñatejada y Santa Ana de la Albaida. *Anales de Arqueología Cordobesa*, 15, 229-248. <http://hdl.handle.net/10396/3598>
- Perejón, A. (1984). Bioestratigrafía de los arqueociatos en España. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 9, 213-265. <http://hdl.handle.net/10261/5867>
- Perejón, A., Moreno-Eiris, E., & Menéndez, S. (2008). Los arqueociatos del Cámbrico Inferior de Navalcastaño (Sierra Morena, Córdoba, España): Sistemática y bioestratigrafía. *Real Sociedad Española de Historia Natural*, 102(1-4), 93-119. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/51478>
- Prümers, H., Jaimes Betancourt, C., Iriarte, J., Robinson, M., & Schaich, M. (2022). Lidar reveals pre-Hispanic low-density urbanism in the Bolivian Amazon. *Nature*, 606, 325-328. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04780-4>
- Ramírez de las Casas Deza, L. M. (1856). *Indicador Cordobés. Manual histórico-topográfico de la ciudad de Córdoba.*, Córdoba: Editorial Imprenta, librería y litografía del Diario de Córdoba.
- Righetti, G., Serafini, S., Brondi Rueda, F., Church, W., & Garnero, G. (2020). Sotto le Nuvole, sotto la Foresta: Applicazioni Tecnologiche Lidar e di Intelligenza Artificiale per Nuove prospettive nel Sito monumentale di Kuelap-Perú. *Archeomatica*, 11, 6-13. <https://doi.org/10.48258/arc.v11i1.1710>
- Romero Vera, D., & Becerra Fernández, D. (2023). Materiales arquitectónicos romanos reutilizados en la iglesia de Santa María de la Oliva (Lebrija, Sevilla): una fuente para el estudio de la edificación pública de Nabrisa Veneria. *Saguntum*, 55, 287-296. <https://dx.doi.org/10.7203/SAGVNTVM.55.25497>
- Schroder, W., Murtha, T., Golden, C., Scherer, A. K., Broadbent, E. N., Almeyda Zambrano, A. M., Herndon, K., & Griffin, R. (2021). UAV LiDAR Survey for Archaeological Documentation in Chiapas, Mexico. *Remote Sensing*, 13(23), 4731. <https://doi.org/10.3390/rs13234731>

ESTUDIO VOLUMÉTRICO DE LAS CANTERAS ROMANAS DE RODADERO DE LOS LOBOS – CORTIJO PIQUÍN
(SIERRA DE CÓRDOBA) MEDIANTE UAV LIDAR

- Shimoda, I., Haraguchi, T., Chiba, T., & Shimoda, M. (2016). The Advanced Hydraulic City Structure of the Royal City of Angkor Thom and Vicinity Revealed through a High-Resolution Red Relief Image Map. *Archaeological Discovery*, 4, 22-36. <https://doi.org/10.4236/ad.2016.41003>
- Stark, M., Evans, D., Rachna, C., Piphah, H., & Carter, A. (2015). Residential patterning at Angkor Wat. *Antiquity*, 89, 1439-1455. <https://doi.org/10.15184/aqy.2015.159>
- Vallejo Triano, A. (2010). Madinat al-Zahra: la construcción de una ciudad califal. En B. Arízaga & J. A. Solórzano (coords.), *Construir la ciudad en la Edad Media* (pp. 546-570). Logroño: Instituto de Estudios Riojanos.
- Vallejo Triano, A., & Fernández Barba, R. (2010). Una aproximación a las canteras de piedra calcarenita de Madinat al-Zahra. *Cuadernos de Madinat Al-Zahra*, 7, 405-419.
- Van Valkenburgh, P., Cushman, K.C., Castillo Butters, L.J., Rojas Vega, C., Roberts, C., Kepler, C., & Kellner, J. (2020). Lasers Without Lost Cities: Using Drone Lidar to Capture Architectural Complexity at Kuelap Amazonas, Perú. *Journal Field Archaeology*, 45, 75-88. <https://doi.org/10.1080/00934690.2020.1713287>
- Ventura Villanueva, A (1999). El teatro en el contexto urbano de Colonia Patricia (Córdoba). Ambiente epigráfico, evergetas y culto imperial. *Archivo Español de Arqueología*, 72, 57-72. <https://doi.org/10.3989/aespa.1999.v72.296>
- Ventura Villanueva, A., (2003). Los edificios administrativos de la Córdoba romana: problemas de localización e interpretación. *ROMULA*, 2, 183-196. <https://www.upo.es/revistas/index.php/romula/article/view/144>
- Ventura Villanueva, A., & Gasparini, M. (2017). El territorio y las actividades económicas. En J. F. Rodríguez-Neila (Coord.), *La ciudad y sus legados históricos Córdoba Romana* (pp.153-206). Córdoba: Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba. <https://www.researchgate.net/publication/338544570>
- Villalobos Megía, M., & Pérez Muñoz, A. B. (2006). Geodiversidad y Patrimonio Geológico de Andalucía. Sevilla. Recuperado el 1 de diciembre de 2024 de [gui_georrecurso_andalucia.pdf](#)
- Wallace, L., Lucieer, A., Watson, C., & Turner, D. (2012): Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sensing*, 4(6), 1519-1543. <https://doi.org/10.3390/rs4061519>