

Canteras y barreros en Puerto Real: Análisis Lidar para su documentación y valoración histórica.

LÁZARO G. LAGÓSTENA BARRIOS
ISABEL M RONDÁN-SEVILLA
JOSÉ ANTONIO CALVILLO ARDILA

RESUMEN

Exponemos en esta contribución dos casos de estudio basados en la aplicación de las técnicas LiDAR aéreo y terrestre para el análisis histórico de áreas de explotación minera en Puerto Real: el caso de Los Barreros, para la extracción de arcillas destinadas a la producción cerámica en el siglo XIX-XX; y el de Las Canteras, para la obtención de piedra ostionera entre los siglos XVII-XIX.

PALABRAS CLAVE

Canteras históricas, Los Barreros, Las Canteras, LiDAR; Puerto Real.

Stone quarries and clay mines in Puerto Real: Lidar analysis for their documentation and historical valuation.

LÁZARO G. LAGÓSTENA BARRIOS
ISABEL M RONDÁN-SEVILLA
JOSÉ ANTONIO CALVILLO ARDILA

ABSTRACT:

In this contribution we present two case studies based on the application of aerial and terrestrial LiDAR techniques for the historical analysis of mining areas in Puerto Real: the case of Los Barreros, for the extraction of clays for ceramic production in the XIX-XX century; and the case of Las Canteras, for the extraction of stone between the XVII-XIX centuries.

KEYWORDS:

Historical quarries, Los Barreros, Las Canteras, LiDAR; Puerto Real.

PRESENTACIÓN

Canteras de piedra y barreros de arcillas son vestigios de las actividades extractivas del pasado que dejan huellas sobre el paisaje y conforman documentos con valor histórico y patrimonial. Constituyen generalmente, desde una perspectiva arqueológica, estructuras de carácter negativo, es decir, formas configuradas bajo el terreno, más por la extracción del material constructivo que por la conservación de restos edilicios, propios de un asentamiento habitacional. El paisaje, entendido como espacio de construcción cultural sobre una base territorial natural, que ha sido ocupado, organizado, manejado y aprovechado por una sucesión de sociedades históricas, acoge con frecuencia estos vestigios de las prácticas de extracción de materias primas minerales que son las canteras y los barreros.

Este tipo de restos de la acción humana sobre nuestras geografías no suelen valorarse como bienes patrimoniales, aunque muchos de ellos muestran rasgos y características singulares, por ejemplo, por su apariencia de grandes socavones a cielo abierto, o galerías subterráneas, a veces de gran tamaño, de prolongada longitud o complejidad en sus recorridos.¹ Algunos de estos espacios han concitado, con el devenir del tiempo, un interés ambiental, y han sumado valor ecológico al patrimonial, gracias a la colonización que la Naturaleza ha ejercido sobre ellos. La conversión de barreros históricos en espacios lagunares es relativamente frecuente.²

Desde una perspectiva histórica, canteras y barreros constituyen documentos informativos sobre ciertas actividades económicas desarrolladas por las comunidades en el territorio donde se ubican, aunque es necesario interrelacionar estos vestigios con otras fuentes documentales o arqueológicas para que se retroalimenten de manera dialéctica. Contienen, además de otras informaciones mensurables, deducidas según la perspectiva que adoptemos, una información cuantitativa, pues por sus características, estos vestigios extractivos se pueden dimensionar y cubicar, especialmente gracias a la disposición de nuevos instrumentos, técnicas y métodos, como se expondrá a lo largo de esta contribución. El cálculo de este volumen de material geológico extraído por la acción humana, proporciona, sin duda, un dato cuantitativo relacionado con la actividad económica que la generó, y puede cotejarse con la documentación escrita cuando ésta exista, o dimensionar la entidad de algunas prácticas productivas cuando esta información literaria no exista, como podría ser el caso de la alfarería antigua.

1 Hay notables excepciones, como por ejemplo el paisaje de Las Médulas (comarca del Bierzo, León), producto de las prácticas de extracción de oro, por la técnica de *ruina montium*, en época romana, y que actualmente es Monumento Natural y Patrimonio de la Humanidad. <https://whc.unesco.org/es/list/803>

2 Sería el caso de las lagunas Salada, Juncosa y Chica del complejo endorreico de El Puerto de Santa María: RUIZ GIL, José Antonio, LÓPEZ AMADOR, Juan José. "Humedales y lagunas endorreicas en El Puerto de Santa María (Bahía de Cádiz), en L. LAGÓSTENA (ed.), *Lacus autem idem et stagnus, ubi inmensa aqua convenit*. Estudios históricos sobre humedales en la Bética (II), Cádiz 2016, pp. 143-157.

La creación de estos espacios singulares, fruto como decimos de la actividad humana, se viene sucediendo desde épocas remotas hasta la actualidad, y un territorio determinado puede contener diversos conjuntos de canteras y barreros relacionados con fines y objetivos dispares, y generados en épocas distintas, aunque siempre pueden ser analizados desde una perspectiva histórica. Por otra parte, a lo largo de los siglos, estas cicatrices extractivas pueden ir desapareciendo, camuflándose en la geografía gracias a los procesos erosivos y sedimentarios naturales, siendo a veces difíciles de identificar, particularmente cuando se remontan a períodos antiguos y se desarrollan sobre sustratos geológicos más deleznable o blandos, caso de los barreros o las canteras de piedra poco resistentes. Además de la acción erosiva de los elementos, estos espacios pueden ser también colonizados por masas arbóreas, camuflando su forma original, y siendo difícilmente perceptibles si no se someten a un estudio y análisis.

Pues bien, todas estas circunstancias y condiciones se pueden encontrar en el marco del término municipal de Puerto Real, como expondremos a continuación. Y también, por sus características particulares, requieren de estrategias un tanto singulares para avanzar en su investigación y conocimiento, algo que la disposición de nuevo instrumental técnico permite.

1. PUERTO REAL: ESPACIO DE BARREROS Y CANTERAS HISTÓRICAS

A lo largo de la historia de la localidad diversas circunstancias han conducido a la explotación de sus recursos pétreos y arcillosos. Todo ello ha generado sobre el paisaje un conjunto de vestigios materiales asociados a esta actividad que, como venimos argumentando, pueden ser objeto de estudio histórico. Para esta contribución nos centraremos en dos contextos muy relacionados con el actual término municipal: los barreros vinculados con la actividad alfarera, y las canteras relacionadas con explotaciones de piedra. Ambas actividades se remontan a la Antigüedad, y se intensifican en diversos periodos históricos. Sin duda existirán en nuestra localidad otros elementos de similares características, aunque no sean abordados en este artículo.

A pesar del tiempo transcurrido, el período imperial romano constituye la fase histórica que mayor impacto produjo sobre la superficie del territorio relacionado con la explotación de estos recursos. Obviamente aquellas huellas de la extracción de estos materiales no son hoy tan evidentes como otras recientes. Por una parte, por el proceso de mimetización de estas alteraciones de la superficie terrestre con la naturaleza que los agentes atmosféricos han propiciado durante milenios, pero también porque algunos de los principales yacimientos de piedra o barro, explotados en la Antigüedad, volvieron a ser utilizados en época Moderna y Contemporánea.

La extracción de arcillas para la actividad alfarera ha sido una actividad económica muy importante en la historia del término de Puerto Real. Son dos los períodos principales en

los que se desarrollan, a una escala significativa, estas prácticas extractivas: en época romana, desde el siglo I a.C. hasta aproximadamente el siglo V d.C.³; y en el siglo XIX y principios del XX, especialmente vinculada a la actividad de la ladrillería Lavalle.⁴

Ha sido ampliamente estudiada la producción anfórica romana en la Bahía de Cádiz, marco en el cual el término de Puerto Real tiene un especial protagonismo. La explicación a lo que fue una intensa actividad alfarera se relaciona con la necesidad de producir envases cerámicos para la exportación marítima de los productos piscícolas y agrícolas de las potentes comunidades del entorno gaditano. Aunque esporádicamente se localicen nuevos alfares romanos en el territorio puertorrealeño, contamos al menos con una treintena de enclaves relacionados con esta actividad, algunos activos durante largos períodos y con indicios de una importante producción cerámica, como pueden ser los casos de Puente Melchor y Olivar de los Valencianos entre otros.⁵

Menos atención se ha prestado a la fuente de suministro de la materia prima necesaria para esta actividad, los barreros, que necesariamente se deben vincular a los alfares. De hecho, el término latino *figlina* se relaciona originalmente con la cava de arcilla más que con los ámbitos de la producción artesanal cerámica, aunque acabe siendo empleado para designar ambos espacios y actividades. Así numerosas debieron ser las *figlinae* dispuestas sobre el actual espacio puertorrealeño, y las huellas de las mismas pueden en algunos casos conservarse sobre nuestra geografía, aunque no necesariamente sean fácilmente perceptibles. Cabe indicar igualmente que estas *figlinae* formaban parte de los recursos presentes en el *ager* de una comunidad dada. Presuponemos en nuestro caso que estamos en el *ager Gaditanus*, aunque parte de nuestro término municipal se ubicara entonces probablemente en el *ager Asidonensis*, es decir, bien el territorio de Gades (Cádiz) o en el de *Asido Caesarina* (Medina Sidonia). Y en este sentido las cavas de arcilla formaban parte de los recursos públicos que, a través de los arrendamientos, contribuían a los *vectigalia* de la ciudad, la fuente de la recaudación y financiación municipal de la antigüedad romana. Así, tanto la localización

3 LAGÓSTENA BARRIOS, Lázaro. *Alfarería romana en la Bahía de Cádiz*, Cádiz 1996.

4 PARODI ÁLVAREZ, Manuel Jesús, IZCO REINA, Manuel Jesús. "Orígenes de la fábrica de ladrillos de Lavalle (I)", *Diario de Cádiz*, 21/08/2000; PARODI ÁLVAREZ, Manuel Jesús, IZCO REINA, Manuel Jesús. "Orígenes de la fábrica de ladrillos de Lavalle (II)", *Diario de Cádiz*, 28/08/2000; PARODI ÁLVAREZ, Manuel Jesús, IZCO REINA, Manuel Jesús. "La fábrica de ladrillos del señor Lavalle (I)", *Puerto Real. Apuntes para su historia. Noticias, datos, documentos y curiosidades sobre la historia de Puerto Real*, Sevilla 2005, pp. 242 ss.; PARODI ÁLVAREZ, Manuel Jesús, IZCO REINA, Manuel Jesús. "La fábrica de ladrillos del señor Lavalle (II)", *Puerto Real. Apuntes para su historia. Noticias, datos, documentos y curiosidades sobre la historia de Puerto Real*, Sevilla 2005, pp. 246 ss.

5 CAMPANO LORENZO, Alberto. "De la producción de ánforas de salazón en la bahía de Cádiz: materiales del alfar de El olivar de los Valenciano, Puerto Real", *AEspA* 67, 169-170, 1994, pp. 135-146; LAVADO FLORIDO, María Luisa. "El complejo industrial de Puente Melchor: el centro productor, la organización del espacio y su área de influencia", en D. BERNAL, L. LAGÓSTENA (eds.), *Figlinae Baeticae. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (ss. II a.C.-VII d.C.)*. Vol. 2, 2004, pp.473-488; LAGÓSTENA BARRIOS, Lázaro, REVILLA CALVO, Victor. "Importación y consumo de salazones del litoral de la provincia *Baetica* en la *colonia Ulpia Traiana* (Xanten)", J. REMESAL (ed.), *Colonia Ulpia Traiana* (Xanten) y el Mediterráneo. *Col.lección Instrumenta* 63, 2018, pp. 239-274.

de las alfarerías como la de las cavas de arcilla, proporcionan información importante sobre parte de la historia productiva, pero también fiscal, de las ciudades antiguas del territorio.

El yacimiento puertorrealeño que mejor ejemplifica la historia de la producción artesanal anfórica de toda la Bahía de Cádiz fue Puente Melchor, pues su fase inicial arranca en época tardorrepública, y se prolonga, posiblemente, hasta fechas situadas en algún momento del siglo V d.C., aunque desconocemos si a lo largo de su historia productiva hubo continuidad o se produjeron interrupciones temporales.⁶ En el entorno de Puente Melchor deben quedar sin duda huellas de las extracciones de arcillas que abastecieron a este enclave, que probablemente fue un vicus artesanal vinculado con la *statio ad Portum*.⁷ Los conocidos afloramientos arcillosos del entorno de los Barreros fueron, probablemente y antes de su explotación en tiempos contemporáneos, una de estas fuentes de abastecimiento de materia prima a las alfarerías de Puente Melchor y otras del entorno, aunque seguramente no los únicos (Fig. 1).



Figura 1. Huellas de probables cavas históricas de extracción de arcilla en Los Barreros y su entorno.

La extracción de piedra en el término de Puerto Real también se practicó, posiblemente, desde la Antigüedad. La piedra fosilífera ostionera, característica de algunos de los estratos geológicos del territorio municipal, ya recibía el nombre de lapis Gaditanus en la obra de Isidoro de Sevilla⁸, y tenemos indicios de su explotación para la construcción de la vía Augusta, al menos en su tránsito marismeño entre Puerto Real y El Puerto de Santa María.⁹

6 LAVADO FLORIDO, María Luisa. "El complejo industrial de Puente Melchor...".

7 RONDÁN-SEVILLA, Isabel. "El asentamiento de Puente Melchor (Puerto Real, Cádiz). Integración de fotogrametría y teledetección aérea y sus visualizaciones con resultados arqueológicos en un yacimiento de carácter litoral", *Riparia* 6, 2020, pp. 30-73

8 *Etym.*19.10.7.

9 GÓMEZ PONCE, Carlos, BORJA BARRERA, Francisco, LAGÓSTENA BARRIOS, Lázaro, LÓPEZ AMADOR, Juan José, RUIZ GIL, José Antonio, BORJA BARRERA, César. "Primeras fases de la evolución de la fecha litoral de Valdelagrana (El Puerto de Santa María, Cádiz)", *Cuaternario Ibérico*, pp. 165-167, 1997.

Hemos propuesto en otra contribución el valor simbólico de la piedra ostionera en la obra pública de los gaditanos en época imperial, y parte de ese material constructivo probablemente se extrajo en canteras de la localidad.¹⁰

Para los siglos modernos y contemporáneos disponemos de documentación archivística relativa a la explotación de canteras en el término de Puerto Real, además de los vestigios arqueológicos que suponen las propias canterías, como nuestras célebres Las Canteras del parque municipal. Entre 1547 y 1570, algo más del 4% de la piedra empleada en la construcción de la catedral de Sevilla procedía de canteras de Puerto Real.¹¹ Ya en 1539 se documenta la entrega para esta obra de los primeros sillares procedentes del término.¹² En estos años la extracción de piedra de Puerto Real se refleja junto a las procedentes de La Martelilla en Jerez y las de la Sierra de San Cristóbal en El Puerto de Santa María. La piedra puertorrealeña, medida a veces en sillares, pero habitualmente en carretadas, se transportaba en carretas desde el tajo de cantera hasta el Salado-San Pedro, donde se embarcaba para su destino, en este caso, Sevilla.¹³

Según Rodríguez Estévez, refiriéndose a las canteras de El Puerto de Santa María en el siglo XVI, no se comunicaba en los pagos a barqueros la localización precisa de las explotaciones, una circunstancia que se podría aplicar a las de Puerto Real. También indica que en la obra de la catedral no se emplearía la piedra ostionera típica de Las Canteras de Puerto Real, sino “una caliza compacta y resistente, o una arenisca de grano fino”.¹⁴ Estos argumentos avalan la opinión de Manuel Izco que, en un artículo periodístico con motivo del centenario de la compra de Las Canteras por el pueblo de Puerto Real¹⁵, defiende que la extracción de piedra para la fábrica de la catedral de Sevilla no procedería del Pago de Troya, sino de un lugar conocido como Atalaya de Las Bargetas, localizada en la zona de La Zarza y Las Castellanas, también con salida fluvial por las marismas al Salado. Sería el agotamiento de aquellas canteras lo que propiciaría tiempo después la explotación de la piedra ostionera de Las Canteras, en el antes conocido como sitio o pago de Troya. La actividad extractiva aquí se iniciaría por necesidades de la obra de fortificación militar de la Bahía de Cádiz (Fuerte del Puntal y Castillo de Matagorda) a partir de 1611, una actividad que se prolongaría hasta principios del siglo XIX. El

10 LAGÓSTENA BARRIOS, Lázaro. “Prólogos”, en J.M. ESTEBAN GONZÁLEZ, Nuestra querida piedra ostionera: un estudio de este material: su procedencia, características y sus formas de empleo en el urbanismo y la arquitectura de la zona gaditana, 2020, pp. 17-18.

11 FALCÓN MÁRQUEZ, Teodoro. “El edificio gótico”, AA.VV., La Catedral de Sevilla, 1984, pp. 137-139; RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, Juan Clemente. Cantera y obra: las canteras de la Sierra de San Cristóbal y la Catedral de Sevilla, 1998, p. 31.

12 RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, Juan Clemente. Cantera y obra..., p. 38

13 RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, Juan Clemente. Cantera y obra..., p. 39; A.C.S. Libros de Fábr. nº. 64, fol. 10v.

14 RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, Juan Clemente. Cantera y obra..., p. 33, 39.

15 https://www.diariodecadiz.es/noticias-provincia-cadiz/Cien-anos-disfrute-pinos-propiedad_0_307769913.html

procedimiento de transporte de las piedras de Las Canteras sería similar al de Las Barguetas, dando lugar, en el caso de Las Canteras, a la toponimia asociada a Carretones (pozo y camino), y estableciendo un punto de embarque en las orillas del Río San Pedro.

Pues bien, para ejemplificar el potencial de las nuevas técnicas para el estudio de barreros y canteras, y concretarlo a los casos de la localidad de Puerto Real, hemos elegido el lugar de Los Barreros, asociado a la explotación fabril de la familia Lavallo, y el Parque de las Canteras, cuya actividad productiva se desarrolló al menos entre los inicios de los siglos XVII a XIX. Sobre estos espacios hemos aplicado instrumentos con sensores LiDAR que nos permite modelizar en 3D los vestigios, para procesarlos y someterlos a un análisis formal e histórico.

2. NUEVOS INSTRUMENTOS PARA EL ESTUDIO DE LAS CANTERAS HISTÓRICAS: LIDAR AÉREO Y TERRESTRE

El empleo del LiDAR aéreo y terrestre para el estudio de los paisajes históricos es creciente y ha demostrado gran utilidad. Para el análisis de las canteras históricas también se vienen produciendo aportaciones de interés, que avanzan en el desarrollo de una metodología adecuada para su aplicación rigurosa.¹⁶

Para enmarcar la aplicación de la tecnología LiDAR a este tipo de casos de estudio, y con la perspectiva propuesta, debemos hacer alusión a la categoría metodológica superior donde quedaría integrada, la Teledetección, o el término anglosajón más extendido *Remote Sensing*. Según el Instituto Geográfico Nacional, la teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas aéreas. Es la interacción electromagnética entre el sensor remoto y el terreno o superficie la que genera una serie de datos que serán procesados y decodificados con el objetivo de obtener información interpretable de la Tierra.

Uno de los principales tipos de sensores remotos que conforman la técnica de teledetección es el LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*). Consiste en un sistema láser aerotransportado que permite medir la distancia entre el pulso emitido y el objeto o superficie terrestre, midiendo con precisión el tiempo que tarda en llegar al objetivo y volver a ser captado el eco por el sensor. El pulso láser puede llegar con uno o varios retornos, según las

16 Por ejemplo, un caso de aplicación del Lidar Terrestre sobre canteras antiguas en: KARATAŞ, Lale, ALPTEKIN, Aydin, YAKAR, Murat. "Investigating the limestone quarries as geoheritage sites: Case of Mardin ancient quarry" *Open Geosciences*, vol. 15, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0473>. Otro caso de estudio es el de las canteras subterráneas de Caumont: BALLESTEROS, Daniel, NEHME, Carole, ROUSSEL, Bastien, DELISLE, François, PONS-BRANCHU, Edwige, MOURALIS, Damase. "Historical underground quarrying: A multidisciplinary research in the Caumont quarry (c. 13th-19th centuries), France", *Archaeometry* 64.4, 2022, pp. 849-865. <https://doi.org/10.1111/arcm.12758>.

superficies con las que impacte. El resultado final es la obtención de coordenadas de una gran cantidad de puntos de múltiples retornos, configurando una nube de puntos tridimensional.

2.1. EL LIDAR AEROTRANSPORTADO

Los sensores LiDAR han sido aerotransportados tradicionalmente en aviones o avionetas, debido principalmente a su tamaño y peso, por lo que no se trata de una técnica sencilla y económica. La resolución y calidad de los datos obtenidos dependen en gran medida de la altura de vuelo que se realice, aunque también de las características concretas del sensor empleado. La necesidad de cubrir grandes superficies hace que los datos LiDAR ofrecidos por los servicios oficiales se vean limitados en su resolución, al menos para su uso en estudios de espacios relativamente pequeños. Sin embargo, las mejoras y avances técnicos en los últimos años han posibilitado la reducción del tamaño y peso de los sensores posibilitando que sean transportados en vehículos aéreos no tripulados, haciéndolos más accesibles para estudios a una escala menor y en los que se necesita una mayor resolución o calidad de la información registrada.



Figura 2. Equipamiento del Matrice 300 (dron, sensor, estación RTK) y trabajos de campo.

Para nuestro estudio hemos realizado vuelos con sensor LiDAR aerotransportado en dron Matrice 300 RTK de la compañía DJI. Este cuadricóptero, con un peso máximo de despegue de 9 kg, tiene un diseño robusto, al mismo tiempo que fiable y ligero gracias a los sensores de apoyo al piloto. Por señalar algunas especificaciones, tiene un tiempo máximo de vuelo de 55 minutos en condiciones favorables, una distancia máxima de transmisión de hasta 15 km, e incorpora un GPS-GNSS que georreferencia toda la información. El sensor

LiDAR utilizado es el Zenmuse L1, de la misma compañía. Tiene un peso aproximado de un kilogramo y entre sus especificaciones destacan: el rendimiento del sistema, con una capacidad de adquirir hasta 480.000 puntos/segundo en su modo de triple retorno; la posibilidad de dar coloración a la nube obtenida gracias al sistema de adquisición de fotografías complementario; una precisión de rango de 3 cm a los 100 m; dos modos de escaneo, repetitivo y no repetitivo; o un sistema de navegación inercial (IMU) de 200 Hz (Fig. 2).

2.2. EL LIDAR TERRESTRE.

Otro instrumento de precisión óptica que ha conocido un gran desarrollo en los últimos tiempos es el escáner láser terrestre. Existe una gran variedad de equipos, desde modelos básicos, pero de reducido tamaño, hasta los potentes LiDAR terrestres, como el empleado en este trabajo, con capacidad para escanear con alta resolución grandes superficies de terreno, alcanzando hasta los 2.000 metros de distancia a la redonda. Estos instrumentos permiten escanear tridimensionalmente cualquier tipo de objeto, terreno o edificio¹⁷, en este último caso, tanto del exterior como del interior. Los formatos proporcionados son esencialmente nubes de puntos de alta densidad, a las cuales se puede añadir información adicional obtenidos por otros sensores específicos acoplados al equipo, como, por ejemplo, fotografías o lecturas térmicas.

El escáner láser empleado en este trabajo, ha sido el Leica ScanStation P50, que usa un telémetro láser de 360° e imágenes panorámicas de alta definición para crear nubes de puntos 3D con precisión milimétrica. Incluye una Tecnología LiDAR capaz de capturar 1 millón de puntos por segundo con un alcance de hasta 1 kilómetro a la redonda, dispone de un compensador de doble eje de nivel topográfico y cuenta con dos cámaras HDR (Fig. 3).



Figura 3. Equipamiento del LiDAR Leica ScanStation P50 (scáner y dianas de control) y trabajos de campo.

17 Un ejemplo de gran interés, aplicado al conjunto de la Alhambra, en MONTUFO, Antonio Manuel, LÓPEZ SÁNCHEZ, José Manuel, FERRARIO, Stefano, GÓMEZ CÁPITA, Isidoro, GARCÍA GARZÓN, Isabel. "Integración de sensores aéreos y terrestres para la producción de cartografía multiescala 3D en la Alhambra y su territorio", VAR 3.7, 2012, 50-54.

3. EL CASO DE ESTUDIO DE LAS CANTERAS

3.1. METODOLOGÍA

El proceso metodológico desarrollado en Las Canteras haciendo uso del LiDAR aéreo va desde la adquisición de los datos en campo, hasta su procesado, explotación y generación de productos, para la interpretación de los resultados obtenidos. En nuestro caso realizamos tres vuelos LiDAR para cubrir toda la superficie de interés sin poner en riesgo la calidad de los datos, o mejor, intensificando la resolución de la nube obtenida gracias a la óptima configuración de los parámetros de vuelo. Además, hicimos se empleó una base D-RTK 2 de DJI (Real Time Kinematic) para que los datos registrados tuviesen la máxima calidad en su geoposicionamiento.

En los tres vuelos se utilizaron los mismos parámetros: las mallas o transectos de recorrido se hicieron de forma longitudinal a Las Canteras, en dirección noroeste-sureste; la altura constante de vuelo fue de 80 m; la velocidad promedio del dron en la toma de datos fue de 8 m/s; se seleccionó la máxima frecuencia de pulso, 240 KHz; se empleó el escaneo repetitivo; y se utilizó el sistema de retorno triple.

El primer paso del procesado de los datos LiDAR recabados es la unificación de los tres vuelos y la creación de una nube conjunta en el software DJI Terra, obteniendo una densidad media de la nube de puntos de 441 puntos/m². En este momento tenemos una nube de alta resolución de Las Canteras, a partir de la cual pueden desarrollarse los primeros análisis, como la realización de perfiles o secciones. Sin embargo, es una nube no categorizada, es decir, los puntos no están clasificados, por lo que puede ser filtrada. Ese es siguiente nivel del procesado aplicando los softwares TerraScan y Terra Match. En este caso se ha dedicado especial atención, teniendo en cuenta la búsqueda de un modelo topográfico de calidad de Las Canteras, a la clasificación del terreno y la vegetación, con la intención de filtrarla y obtener una topografía precisa del suelo desnudo.

Haciendo uso de algoritmos y rutinas, pero, sobre todo, mediante consultas manuales sobre la nube, se categorizan todos los puntos que la integran. El primer paso es filtrar los puntos que aportan ruido o distorsiones. Esta clasificación constituye un lenguaje común para todos los datos LiDAR, que permite crear una tipología basada en grupos numerados, de los cuales, los principales son: terreno (*2-ground*); vegetación baja (*3-low vegetation*); vegetación media (*4-medium vegetation*); vegetación alta (*5-high vegetation*); edificaciones (*6-building roof*). De los más de 51 millones de puntos que contiene la nube con los que se ha trabajado, unos 8.400.000 puntos correspondían con el suelo o terreno.

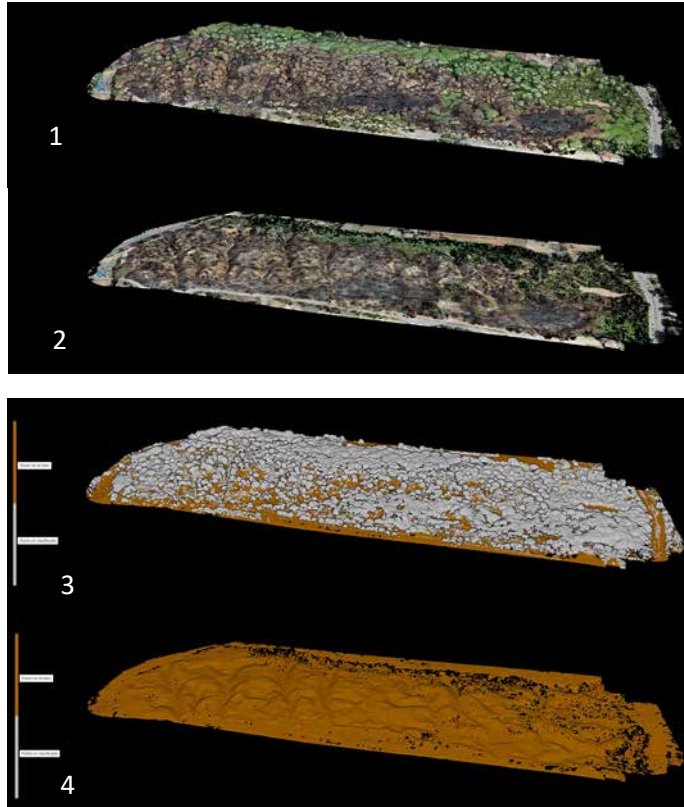


Figura 4. Las Canteras. 1.-Nube de puntos RGB completa. 2.- Nube con selección de los puntos ground. 3.- Nube de puntos con representación de lo no clasificado y los ground en vista bicromática.4.- Nube monocromática de la clasificación ground.

Una vez clasificada la nube puede ser filtrada para trabajar con los puntos que interesen en cada caso, aquí especialmente los puntos del terreno, que permiten generar un modelo 3D. El Modelo Digital del Terreno obtenido, tiene una alta resolución, para que resultase factible su manejo en los Sistemas de Información Geográfica, ha sido generado con un tamaño de 20 cm por píxel. A partir del MDT resultante se obtienen otros productos topográficos de alta resolución, como curvas de nivel o visualizaciones concretas, poniendo el foco en la diferencia entre las concavidades y convexidades del suelo del Parque de Las Canteras. Para el caso de Las Canteras también se ha obtenido, también mediante otros vuelos, fotogrametría aérea, principalmente con la intención de generar un ortomosaico de alta resolución del Parque en consonancia con los datos resultantes del LiDAR aéreo.

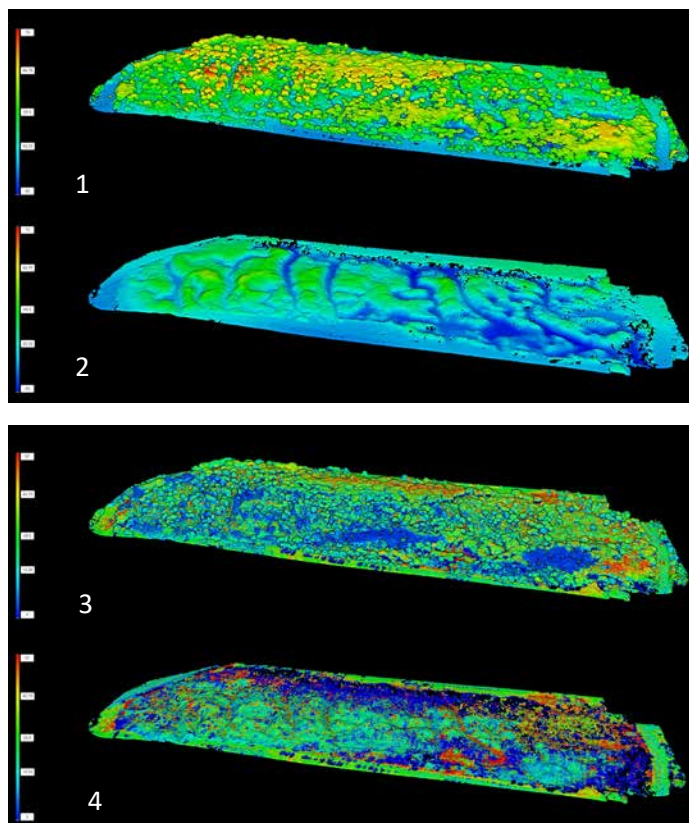


Figura 5. Las Canteras 1.- Nube de puntos completa representada por alturas. 2.- Nube de puntos representada por alturas con selección de los puntos ground. 3.- Nube de puntos completa con representación de la reflectividad superficial. 4.- Nube de puntos con representación de la reflectividad del suelo.

3.2. ANÁLISIS PRELIMINAR

En el caso de Las Canteras el principal objetivo perseguido ha sido alcanzar un modelo digital tridimensional de la superficie del parque, prescindiendo de todos los elementos que no representen el terreno desnudo, es decir, eliminando principalmente la vegetación que lo cubre. Con este tratamiento del modelo digital podemos visualizar las huellas de la explotación de la cantera en los siglos contemporáneos, especialmente lo que en la localidad son bien conocidos como caminos y patios, pero también los frentes y las tajerías de extracción de piedras. Estos elementos son en realidad partes de la organización de las canteras que explotaron la piedra en el lugar.

Respecto a la organización de los caminos se aprecia con claridad, una vez eliminada la vegetación del modelo, que éstos se organizan con tendencias paralelas y distancias relativamente regulares entre si. Además llama la atención la orientación NE-SW que muestran, en vez de una orientación Norte-Sur. Esta cuestión puede obedecer a varias circunstancias. Por una parte resultan perpendiculares transversales a la propia orientación de la parcela de Las Canteras, que

se desarrolla en sentido NW-SE en su orientación longitudinal, y en sentido NE-SW, como los propios caminos, en su orientación latitudinal. Quizá esta orientación general de las canteras respondan a la disposición topográfica primigenia del Pago de Troya, e incluso a la disposición de los sedimentos geológicos que contenía la piedra conchífera e interesaba explotar.

Sin embargo esta orientación, que muestra tanto las canteras como los caminos que se emplearon en el desarrollo de la explotación, es característica de los ejes trazados para todo tipo de intervenciones en el territorio en la Antigüedad, y especialmente para plantear el trazado edilicio de ciudades y otros elementos urbanísticos. Ya hemos expuesto anteriormente cómo disponemos de indicios para suponer la explotación de las canteras de Puerto Real en época romana, y no podemos descartar que la estructura general originaria de El Parque de Las Canteras pueda remontarse en el tiempo a épocas más lejanas que las de los siglos modernos y contemporáneos.

Aunque a partir de los modelos que hemos obtenido puede realizarse un estudio detallado de las huellas de las canteras, ello excedería el objetivo de esta contribución. Sin embargo a simple vista se puede observar cómo progresaron las explotaciones desde el SW hacia el NE, cómo los caminos se desarrollaron con el avance de las extracciones, cómo con frecuencia se bifurcan y crean pequeños espacios de cantera con tendencias cuadrangulares, y cómo finalizan la mayoría, dejando claros frentes de cantera con formas angulosas en el lateral noreste del parque (Fig. 6).

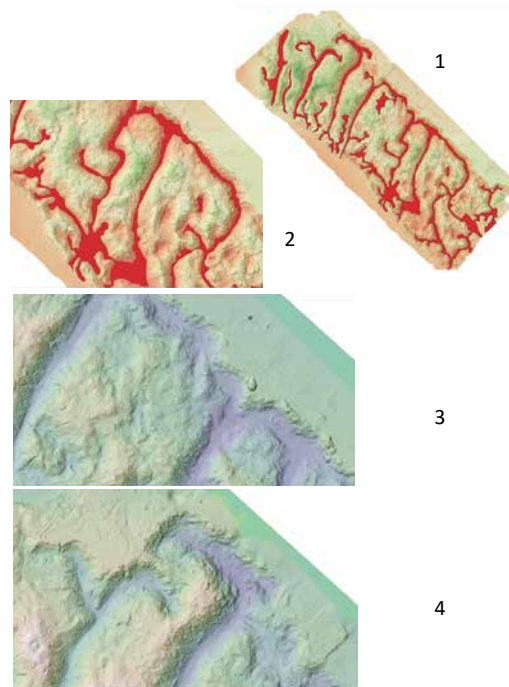


Figura 6. Las Canteras. 1.- Nube de puntos con curvas de nivel y hillshade con indicación de los principales caminos y patios de Las Canteras. 2.- Detalle de la conformación de caminos y patios. 3 y 4.- Detalles de frentes de canteras en el flanco NE de Las Canteras una vez eliminada la vegetación del modelo.

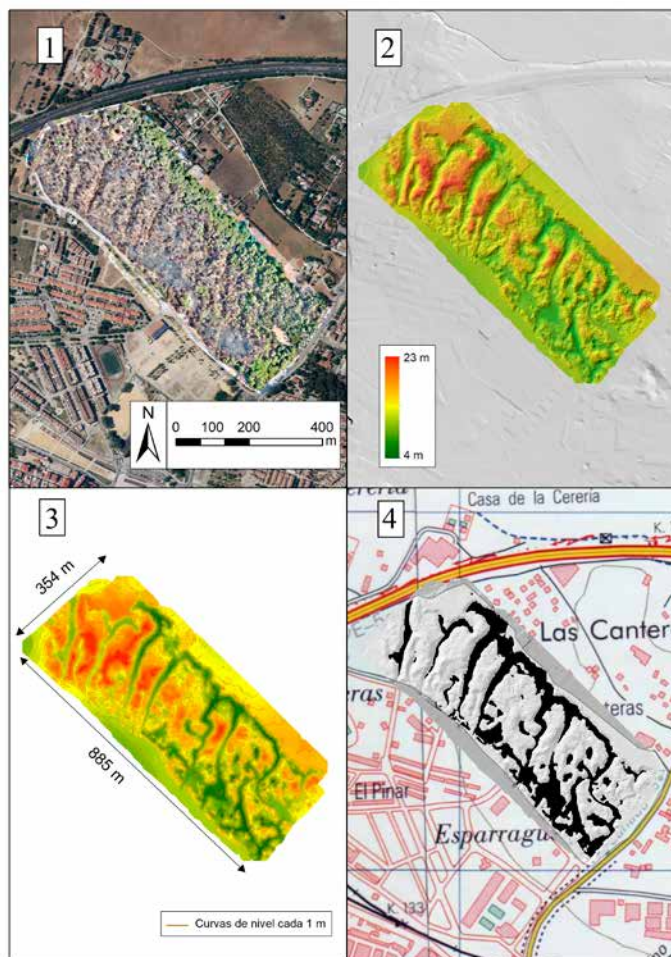


Figura 7. Las Canteras. 1- Vista cenital del ortomosaico a partir de la fotogrametría aérea. 2.- Modelo Digital del Terreno a partir del vuelo LiDAR. 3.- Modelo Digital del Terreno con curvas de nivel. 4.- Clasificación de los valores que representan las principales estructuras negativas del modelo de Las Canteras.

4. EL CASO DE ESTUDIO DE LOS BARREROS

4.1. METODOLOGÍA

En este segundo caso de estudio la técnica se ha basado en el empleo de un escáner colocado sobre un trípode topográfico, que se ha ido estacionando en posiciones previamente planificadas en laboratorio, dispuestas alrededor y en el interior de Los Barreros. Para el trabajo de campo, los procesos e instrumentos utilizados fueron: boceto o croquis, escáner láser Leica P50, tableta digital, PC y software específico.

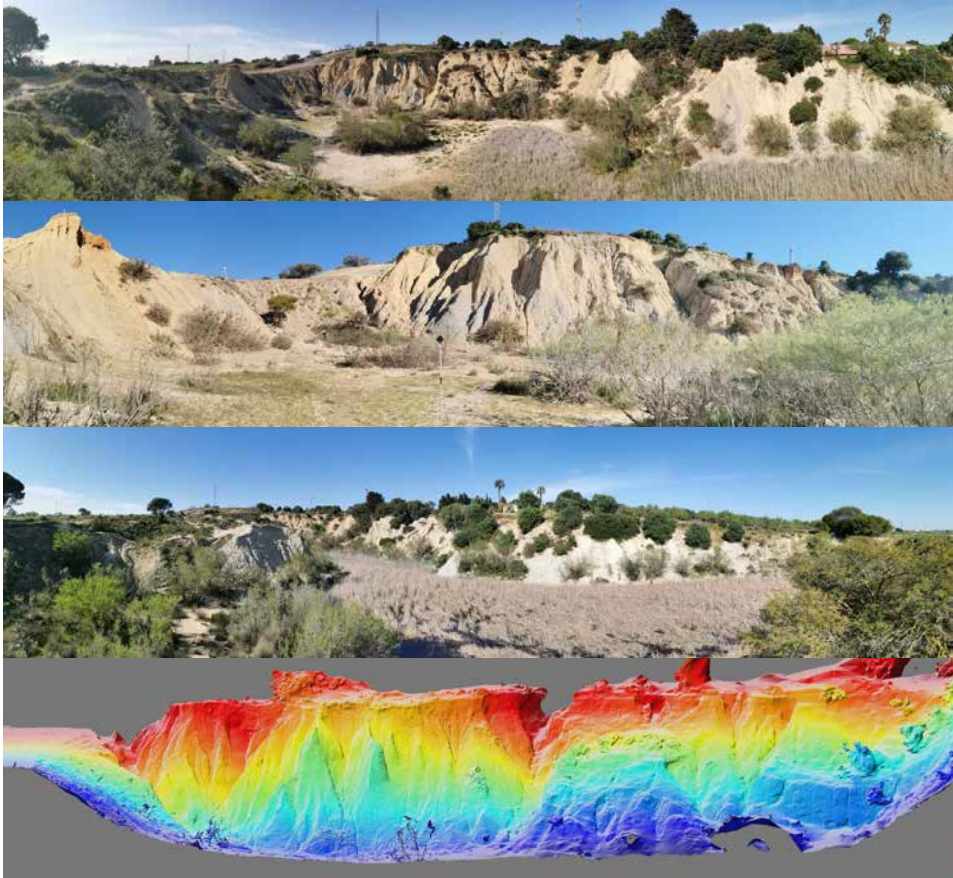


Figura 8. Distintas perspectivas frontales del estado actual de Los Barreros. Ejemplo de orto-proyección frontal a partir de la nube de puntos obtenida.

En el procedimiento de adquisición de datos se hicieron un total de siete estacionamientos, cinco en el perímetro interior de la cava de Los Barreros y dos desde la parte superior exterior. Se crearon seis enlaces entre estacionamientos. Fue necesario realizar el mayor número de estacionamientos en el interior de la estructura para poder capturar todas las aristas y vértices que definen la compleja geometría interna de este espacio (Fig. 9). También, hubo que evaluar la mejor ubicación para el estacionamiento inicial y la dirección del recorrido del resto de estacionamientos. Con esta tecnología se puede planificar el proceso de toma de datos para conseguir una nube de puntos homogénea, pues desde la tableta en tiempo real se puede ir viendo la nube de puntos que se va adquiriendo, visualizar las áreas que van quedando por cubrir y determinar el próximo estacionamiento necesario donde colocar el instrumento para completar el modelo futuro.



Figura 9. Itinerario de los estacionamientos (ET) del Escáner P50 y posición de dianas de control (d) en el escaneo de Los Barreros.

Una vez realizados todos los estacionamientos, los datos capturados en el propio escáner son transferidos al ordenador para su tratamiento a través del programa Leica Cyclone FIELD 360. A continuación, es necesario el alineamiento de las siete nubes de puntos obtenidas mediante los estacionamientos. Para la realización de este paso, se emplea el mismo programa, primero de manera automatizada, después ajustando manualmente los enlaces necesarios entre los datos de cada estacionamiento. Como último paso, y una vez generada una única nube de puntos, para el análisis de los datos y estudio de su planimetría se utilizó el programa Leica Cyclone REGISTER 3DR. El procedimiento es similar al descrito para el caso de la Noria de El Almendral.¹⁸

A continuación, y a partir de los datos anteriores, se genera la malla para posteriormente crear el modelo sólido final texturizado. Como resultado del empleo del escáner láser se ha obtenido una representación tridimensional de la estructura negativa completa que suponen Los Barreros. Al ser una representación espacial, el modelo 3D obtenido permitirá el cálculo de volúmenes y medidas que convenga, dimensionando la cava de arcilla histórica, además de posibilitar la obtención de secciones, vistas y cortes axonométricos del espacio en cuestión según interese a la investigación que se está realizando.

Para complementar el modelo y los productos obtenidos mediante escaneo láser terrestre se ha generado un Modelo Digital del Terreno a partir de los datos LiDAR disponible para

18 CALVILLO ARDILA, José Antonio, CALVILLO RISCO, José Antonio, LAGÓSTENA BARRIOS, Lázaro. "La aplicación de técnicas fotogramétricas para la documentación del patrimonio: el caso de la noria de Autrán (Puerto Real, Cádiz)", Matagorda 3, pp. 13-40.

uso público en el Instituto Geográfico Nacional. El Proyecto PNOA-LiDAR¹⁹ permite acceder a nubes de puntos ya clasificadas de distinta resolución. Se han descargado en este caso las nubes de interés de los vuelos correspondientes a la Segunda Cobertura LiDAR (2015-2021) cuya resolución es de 1,5 puntos/m². Esta resolución es mucho menor que la obtenida con nuestros equipos en Las Canteras, pero factible para complementar el LiDAR terrestre en el caso de Los Barreros. En un software SIG, (Global Mapper), hemos creado el Modelo Digital del Terreno, a partir de estos datos públicos. Utilizamos el algoritmo *Binning (Average Value)* para la interpolación de la nube y la creación del modelo resultante (Fig. 10).

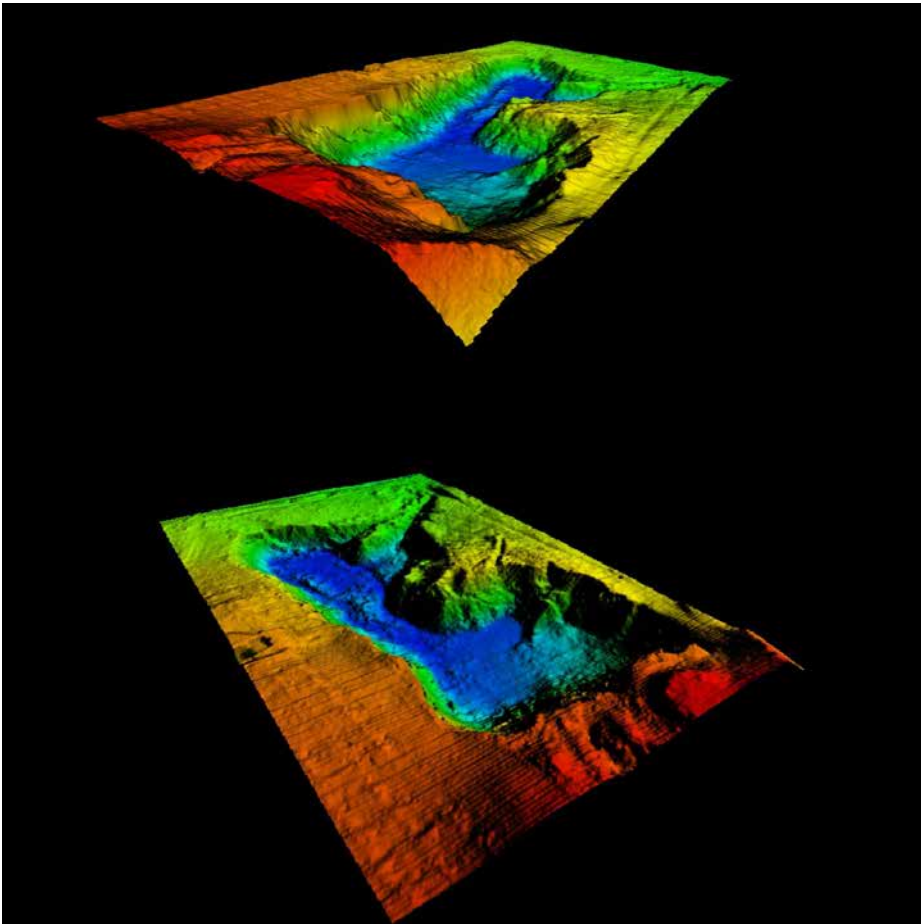


Figura 10. Distintas perspectivas del Modelo Digital del Terreno de Los Barreros a partir del LiDAR (IGN.)

19 <https://pnoa.ign.es/pnoa-lidar/presentacion>

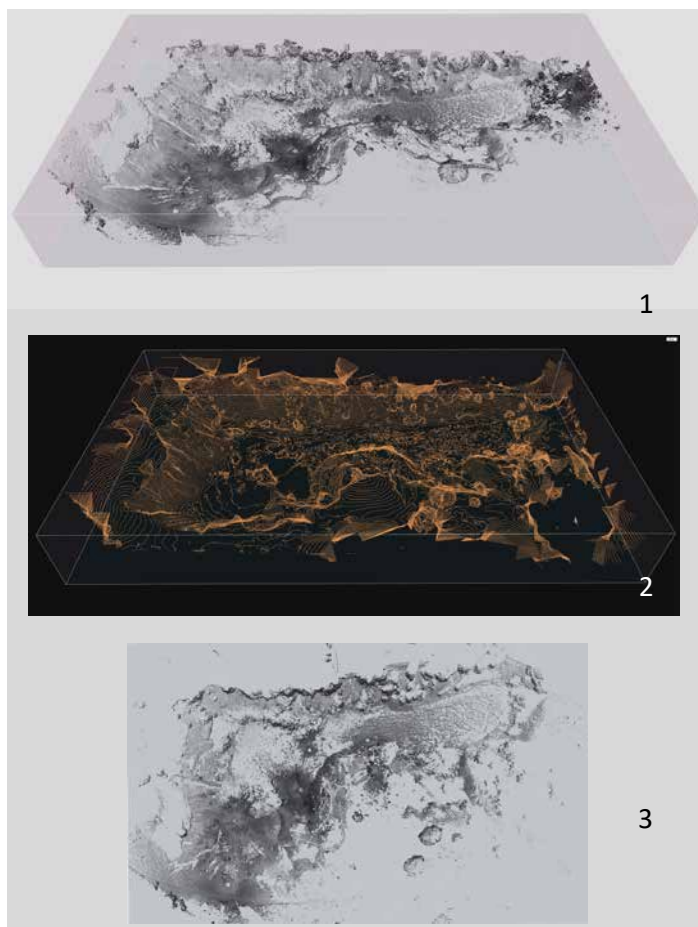


Figura 11. Distintas perspectivas del Modelo Digital del Terreno de Los Barreros a partir del escáner P50.

4.2. ANÁLISIS PRELIMINAR

El barrero que se ha escaneado forma parte de una explotación decimonónica de arcillas, destinada a la fabricación cerámica en los hornos de Lavalle. El proyecto original contempló una parcela de extracción de 200 metros por 100 metros, con una orientación NW-SE en su lado mayor. La explotación del barrero, por tanto, aunque a la vista actual no lo parezca, tenía planta rectangular, y la extracción agotó su lado NW y SE, es decir, tres cuartas partes de lo previsto en planta. Cuando se plantea la explotación de arcillas en este lugar, la planificación se adecúa al parcelario preexistente, que está delimitado por el camino de Los Barreros por el Sur y que colindaba por el Este con un extenso olivar de 16 ha, como se puede comprobar en el vuelo americano de 1956²⁰ y del que aún quedan marcos de plantación.

20 <https://www.ign.es/wms/pnoa-historico>

La metodología, aplicada en este caso sobre un elemento del paisaje conocido, del cual se guarda memoria y para el que existe documentación de archivo, puede aplicarse de la misma manera a otros casos que se remontan en el tiempo, y de los cuales no se conserven testimonios. Los resultados de la modelización permiten comprender el plan original de los promotores, permiten identificar los módulos de medidas que emplearon, pero también permiten realizar cálculos sobre el volumen de arcilla extraída a lo largo de la vida útil del barrero, es decir, nos ofrecen datos cuantitativos para restituir parte de la historia económica de la actividad (Fig. 12). Esta posibilidad es más relevante a medida que analizamos ejemplos similares de épocas remotas.

Un análisis más detallado del modelo obtenido a través del escaneado y las nubes de puntos conseguidas, podría arrojar información sobre los procesos de trabajo en Los Barreros, de la cava y extracción de arcillas, de la carga y transporte de la misma a la superficie, de los obstáculos y condicionantes geológicos que fueron apareciendo en el desarrollo de la actividad. Y como en el caso anterior, es posible contrastarlo con la información histórica disponible para una lectura más precisa de la misma a partir de los vestigios modelizados de la antigua cava arcillosa (Fig. 11).

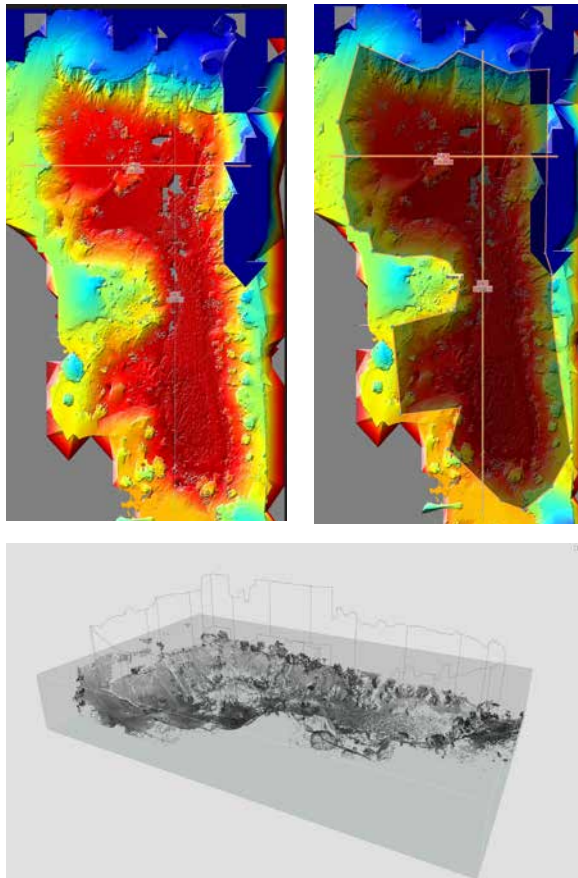


Figura 12. Delimitación de la superficie excavada en Los Barreros a partir de orto-proyección vertical. Modelo final con representación tridimensional del contorno perimetral usado para estimar superficie y volumen.

5. CONCLUSIONES

El artículo muestra cómo la aplicación de nuevos instrumentos como el LiDAR aéreo y el terrestre, con una adecuada metodología de trabajo de campo y postproceso de los resultados, pueden contribuir al conocimiento histórico de actividades extractivas como la explotación de piedra, arcilla o áridos.

Se han aplicado tanto los instrumentos como las metodologías a dos enclaves históricos relevantes del término de Puerto Real que forman parte de su identidad colectiva, Las Canteras y Los Barreros. En el primer caso nos hemos basado en el empleo del LiDAR aérea, en el segundo en el terrestre.

En el caso de Las Canteras se han avanzado algunas de las posibilidades del análisis, una vez eliminada de la nube de puntos obtenida todos los elementos que no representen el suelo que fue objeto de organización productiva y explotación extractiva. Otras líneas no se han desarrollado en esta contribución, aunque el camino está establecido. Un estudio detallado permitirá conocer por esta vía cómo se produjo la actividad que acabaría dando lugar a nuestro apreciado parque forestal.

En el caso de Los Barreros la modelización permite ubicar la materia prima extraída con destino a los procesos de producción cerámica desarrollados en la fábrica Lavalle.

En ambos espacios, la aplicación de estas técnicas permite caracterizar las huellas de las actividades, con medidas precisas, orientación parcelaria y capacidades de las áreas explotadas. En ambos casos también se podrá a partir de estos datos conocer la topografía original preexistente, gracias a la identificación de testigos geológicos de la superficie, como en Las Canteras, o de la medida de las cotas precisas en cada perfil del terreno excavado, como en Los Barreros.

En ambos casos estos trabajos de campo pueden y deben ser contrastados dialécticamente con la información de archivo, contribuyendo a un mejor conocimiento de la historia de las actividades extractivas en el territorio puertorrealeno. El empleo de estas nuevas técnicas no constituye, en definitiva, sino una forma avanzada de documentación digital y tridimensional del patrimonio histórico-arqueológico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTEROS, D., NEHME, C., ROUSSEL, B., DELISLE, F., PONS-BRANCHU, E., MOURALIS, D. “Historical underground quarrying: A multidisciplinary research in the Caumont quarry (c. 13th–19th centuries), France”, *Archaeometry* 64.4, 2022, pp. 849-865.
- CALVILLO ARDILA, J.A., CALVILLO RISCO, J.A., LAGÓSTENA BARRIOS, L. “La aplicación de técnicas fotogramétricas para la documentación del patrimonio: el caso de la noria de Autrán (Puerto Real, Cádiz)”, *Matagorda* 3, pp. 13-40.
- CAMPANO LORENZO, A. “De la producción de ánforas de salazón en la bahía de Cádiz: materiales del alfar de El olivar de los Valenciano, Puerto Real”, *AEspA* 67, 169-170, 1994, pp. 135-146.
- ESTEBAN GONZÁLEZ, J.M. *Nuestra querida piedra ostionera: un estudio de este material: su procedencia, características y sus formas de empleo en el urbanismo y la arquitectura de la zona gaditana*, 2020.
- FALCÓN MÁRQUEZ, T. “El edificio gótico”, en AA.VV., *La Catedral de Sevilla*, 1984.
- IZCO REINA, M. “Cien años de disfrute entre pinos propiedad de todos”, *Diario de Cádiz*, 23/10/2009.
- GÓMEZ PONCE, C., BORJA BARRERA, F., LAGÓSTENA BARRIOS, L., LÓPEZ AMADOR, J.J., RUIZ GIL, J.A., BORJA BARRERA, C. “Primeras fases de la evolución de la fecha litoral de Valdelagrana (El Puerto de Santa María, Cádiz)”, *Cuaternario Ibérico*, pp. 165-167, 1997.
- KARATAŞ, L., ALPTEKIN, A., YAKAR, M. “Investigating the limestone quarries as geo-heritage sites: Case of Mardin ancient quarry”, *Open Geosciences*, vol. 15, no. 1, 2023
- LAGÓSTENA BARRIOS, L. *Alfarería romana en la Bahía de Cádiz*, Cádiz 1996.
- LAGÓSTENA BARRIOS, L., REVILLA CALVO, V. “Importación y consumo de salazones del litoral de la provincia Baetica en la colonia Ulpia Traiana (Xanten)”, J. Reme-sal (ed.), *Colonia Ulpia Traiana (Xanten) y el Mediterráneo. El comercio de alimentos. Col.lecció Instrumenta* 63, 2018, pp. 239-274.
- LAVADO FLORIDO, M.L. “El complejo industrial de Puente Melchor: el centro productor, la organización del espacio y su área de influencia”, en D. Bernal, L. Lagóstena (eds.), *Figlinae Baeticae. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (ss. II a.C.-VII d.C.)*. Vol. 2, 2004, pp.473-488
- LÓPEZ AMADOR, J.J., RUIZ GIL, J.A., PÉREZ FERNÁNDEZ, E. “Historia y arqueología en las canteras del Puerto de Santa María, Cádiz”, *Revista de arqueología*, 124, 1991, pp. 36-47
- LÓPEZ AMADOR, J.J., RUIZ GIL, J.A. “Las cuevas-canteras de la Sierra de San Cristóbal en El Puerto de Santa María, Cádiz”, *La piedra postrera. Actas del Simposium Internacional sobre la Catedral del Sevilla en el contexto del gótico final*, 2007.

- MONTUFO, A.M. LÓPEZ SÁNCHEZ, J.M., FERRARIO, S., GÓMEZ CÁPITA, I., GARCÍA GARZÓN, I. “Integración de sensores aéreos y terrestres para la producción de cartografía multiescala 3D en la Alhambra y su territorio”, *VAR* 3.7, 2012, 50-54.
- RUIZ GIL, J.A., LÓPEZ AMADOR, J.J. “Humedales y lagunas endorreicas en El Puerto de Santa María (Bahía de Cádiz), en L. Lagóstena (ed.), *Lacus autem idem et stagnus, ubi immensa aqua convenit. Estudios históricos sobre humedales en la Bética* (II), Cádiz 2016, pp. 143-157.
- PARODI ÁLVAREZ, M.J., IZCO REINA, M.J. “Orígenes de la fábrica de ladrillos de Lavalle (I)”, *Diario de Cádiz*, 21/08/2000.
- PARODI ÁLVAREZ, M.J., IZCO REINA, M.J. “Orígenes de la fábrica de ladrillos de Lavalle (II)”, *Diario de Cádiz*, 28/08/2000.
- PARODI ÁLVAREZ, M.J., IZCO REINA, M.J. “La fábrica de ladrillos del señor Lavalle (I)”, Puerto Real. *Apuntes para su historia. Noticias, datos, documentos y curiosidades sobre la historia de Puerto Real*, Sevilla 2005, pp. 242 ss.
- PARODI ÁLVAREZ, M.J., IZCO REINA, M.J. “La fábrica de ladrillos del señor Lavalle (II)”, Puerto Real. *Apuntes para su historia. Noticias, datos, documentos y curiosidades sobre la historia de Puerto Real*, Sevilla 2005, pp. 246 ss.
- RODRÍGUEZ ESTÉVEZ, J.V. *Cantera y obra: las canteras de la Sierra de San Cristóbal y la Catedral de Sevilla*, Ayuntamiento de El Puerto de Santa María, 1998.
- RONDÁN-SEVILLA, I. “El asentamiento de Puente Melchor (Puerto Real, Cádiz). Integración de fotogrametría y teledetección aérea y sus visualizaciones con resultados arqueológicos en un yacimiento de carácter litoral”, *Riparia* 6, 2020, pp. 30-73.

