

# ***NUEVAS TÉCNICAS PARA LA INVESTIGACIÓN Y LA CONSERVACIÓN DE LA CUEVA PINTADA DE GÁLDAR (GRAN CANARIA): MODELADO 3D Y ANÁLISIS DE IMAGEN***

## ***NEW TECHNIQUES FOR THE RESEARCH AND THE CONSERVATION OF THE CUEVA PINTADA FROM GÁLDAR (GRAN CANARIA): 3D MODEL AND ANALYSIS IMAGE***

**Jorge Onrubia Pintado<sup>\*</sup>, José I. Sáenz Sagasti<sup>\*\*</sup>, Carmen G. Rodríguez Santana<sup>\*\*</sup>, David Hernández López<sup>\*\*\*</sup>, José González Piqueras<sup>\*\*\*</sup>, Antonio Quintanilla Rodenas<sup>\*\*\*</sup>, Juan M. Vicent García<sup>\*\*\*\*</sup>, Carlos Espadas Álvarez<sup>\*\*\*\*</sup>, Diego González Aguilera<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Diego Guerrero Sevilla<sup>\*\*\*</sup>, Ángel Marchante Ortega<sup>\*\*\*\*\*</sup> y Pablo Rodríguez González<sup>\*\*\*\*\*</sup>**

**Cómo citar este artículo/Citation:** Onrubia Pintado, J., Sáenz Sagasti, J. I., Rodríguez Santana, C. G., Hernández López, D., González Piqueras, J., Quintanilla Rodenas, A., Vicent García, J. M., Espadas Álvarez, C., González Aguilera, D., Guerrero Sevilla, D., Marchante Ortega, A., Rodríguez González, P. (2017). Nuevas técnicas para la investigación y la conservación de la Cueva Pintada de Gáldar: modelado 3D y análisis de imagen. *XXII Coloquio de Historia Canario-Americana (2016)*, XXII-183. <http://coloquioscanariasmerica.casadecolon.com/index.php/aea/article/view/10207>

**Resumen:** Desde 2014 el Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada (MPACP) y la Universidad de Castilla-La Mancha se encuentran comprometidos en el desarrollo de un ambicioso programa de investigación básica e innovación cuyo objetivo último es la materialización del Sistema Integral de Documentación Arqueológica y Patrimonial (SIDAP) del MPACP. Por evidentes razones vinculadas al diagnóstico y a la monitorización de los procesos de deterioro de la cámara policromada, y a la toma de decisiones para garantizar su conservación, la máxima prioridad del SIDAP consiste, hoy en día, en el diseño y desarrollo de un sistema de documentación integral específico para la misma: el Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada. Este trabajo da cuenta de las tareas realizadas a día de hoy en el marco de la concepción e implementación de este sistema, y de sus primeros resultados.

**Palabras clave:** Gran Canaria; Cueva Pintada; arqueología prehispánica; pintura mural; modelado 3D; análisis de imagen; bases de datos espaciales.

**Abstract:** Since 2014, the Museum and Archaeological Site of Cueva Pintada and the University of Castilla-La Mancha have been engaged in the development of an ambitious basic research program and innovation whose ultimate goal is the implementation of the Archaeological and Heritage Comprehensive Documentation System (in Spanish, SIDAP). For obvious reasons, related to the diagnosis and monitoring of the deterioration process in the polychromatic chamber and to the decision-making in order to guarantee its conservation, the first priority of SIDAP consists of, nowadays, designing and developing a specific comprehensive documentation system for this chamber: the Comprehensive Documentation System of Cueva Pintada. This text gives an account of what has

<sup>\*</sup> Laboratorio de Arqueología, Patrimonio y Tecnologías Emergentes. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha. Facultad de Letras. Campus Universitario. Avda. Camilo José Cela, s/n. 13071 Ciudad Real. España. Teléfono: +34 926295300. Correo electrónico: [Jorge.Onrubia@uclm.es](mailto:Jorge.Onrubia@uclm.es)

<sup>\*\*</sup> Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. Cabildo de Gran Canaria

<sup>\*\*\*</sup> Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha

<sup>\*\*\*\*</sup> Departamento de Arqueología y Procesos Sociales. Instituto de Historia. Consejo Superior de Investigaciones Científicas

<sup>\*\*\*\*\*</sup> Ingecor Geomática S.L.

<sup>\*\*\*\*\*</sup> ITOS3D – Image to Smart to Engineering. Universidad de Salamanca

<sup>\*\*\*\*\*</sup> Grupo de Investigación Tarha. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria



been done so far within the framework of the conception and implementation of this system and of its first results.

**Keywords:** Gran Canaria; Cueva Pintada, pre-Hispanic archaeology; mural painting; 3D modelling; image analysis; spatial database

## INTRODUCCIÓN

En 1986 inició su andadura el Proyecto Cueva Pintada cuyo reto inicial residía en diseñar y ejecutar un programa integral que consiguiera frenar los daños que el paso del tiempo, y el intento de “musealización” de este sitio arqueológico llevado a cabo en 1970-1972, habían provocado. Pero su fin era, también, unir a ese esfuerzo de conservación (Onrubia Pintado et al., 2006) una línea de trabajo que permitiera investigar, salvaguardar y difundir este espacio patrimonial único, sin renunciar a la contemplación directa de las pinturas de la cámara policromada.

En el año 2006, el Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada (MPACP) abrió sus puertas al público y este hecho no supuso el final de un recorrido, sino sólo el inicio de una nueva etapa que debe ser evaluada constantemente. En esta nueva andadura, la elaboración y la aplicación de renovados protocolos y herramientas para el registro y documentación de las pinturas murales de la cámara policromada siempre han ocupado un lugar destacado. Para atender de manera precisa a esta prioridad, el MPACP y la Universidad de Castilla-La Mancha se encuentran comprometidos, desde 2014 y a través de una serie de contratos y convenios de colaboración, en el desarrollo, forzosamente dilatado en el tiempo, de un ambicioso programa de investigación básica e innovación cuyo objetivo último es la materialización del Sistema Integral de Documentación Arqueológica y Patrimonial (SIDAP) del MPACP.

El punto de partida de este programa científico y tecnológico, concebido a la postre como una Infraestructura de Datos Espaciales, se sitúa, por un lado, en la ya inaplazable necesidad de gestionar, almacenar, perpetuar y difundir, de manera integral y en su caso en libre acceso, todo el enorme caudal de datos generado desde sus inicios por el Proyecto Cueva Pintada. Y ello no sólo en relación con el ámbito específico de la Arqueología, sino, asimismo, en lo tocante a la Conservación y la Museografía. Por otra parte, esta iniciativa se propone contribuir, de manera decidida, a fijar y estandarizar los protocolos y los requerimientos técnicos para la concepción y la ejecución tanto de los sistemas de registro, como de las bases de datos a desarrollar en el futuro.

Por evidentes razones vinculadas al diagnóstico y a la monitorización de los procesos de deterioro de la cámara policromada, y a la toma de decisiones para garantizar su conservación, el diseño y desarrollo de un sistema de documentación integral específico para la misma constituye, a día de hoy, la máxima prioridad del SIDAP. El trabajo que se presenta a continuación da cuenta de las primeras tareas y logros relacionados con la concepción e implementación de dicho sistema.

## EL SISTEMA DE DOCUMENTACIÓN INTEGRAL DE LA CUEVA PINTADA

El denominado Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada concierne, con exclusividad, a la cámara policromada que da nombre a este excepcional conjunto arqueológico. Su diseño y ejecución están basados en la utilización combinada de distintas tecnologías: escaneado láser, fotogrametría, espectro-radiometría, análisis de imágenes (RGB, multiespectrales e hiperespectrales), sistemas de información geográfica... Hay que precisar que por “do-

cumentación integral” entendemos aquí un protocolo de registro que, además de a los elementos arquitectónicos y tecno-pictóricos de la cámara y su ornamentación, se aplica a documentar la integridad del sistema formado por el soporte, los recubrimientos, los pigmentos y las alteraciones de las superficies pictóricas por elementos resultantes de los procesos bióticos y abióticos de deterioro.

Así concebido, este sistema no sólo constituye un procedimiento de documentación integral no invasiva, sino, también, una herramienta para la producción de documentos de apoyo al diagnóstico y a la monitorización de procesos de deterioro, y, por ello mismo, puede completar ventajosamente los proyectos, actualmente en marcha, de investigación aplicada a la conservación de la cámara policromada. Como ya se ha dicho y en toda lógica, este sistema de documentación integral se inscribe dentro del ya citado SIDAP del MPACP (gráfico 1).

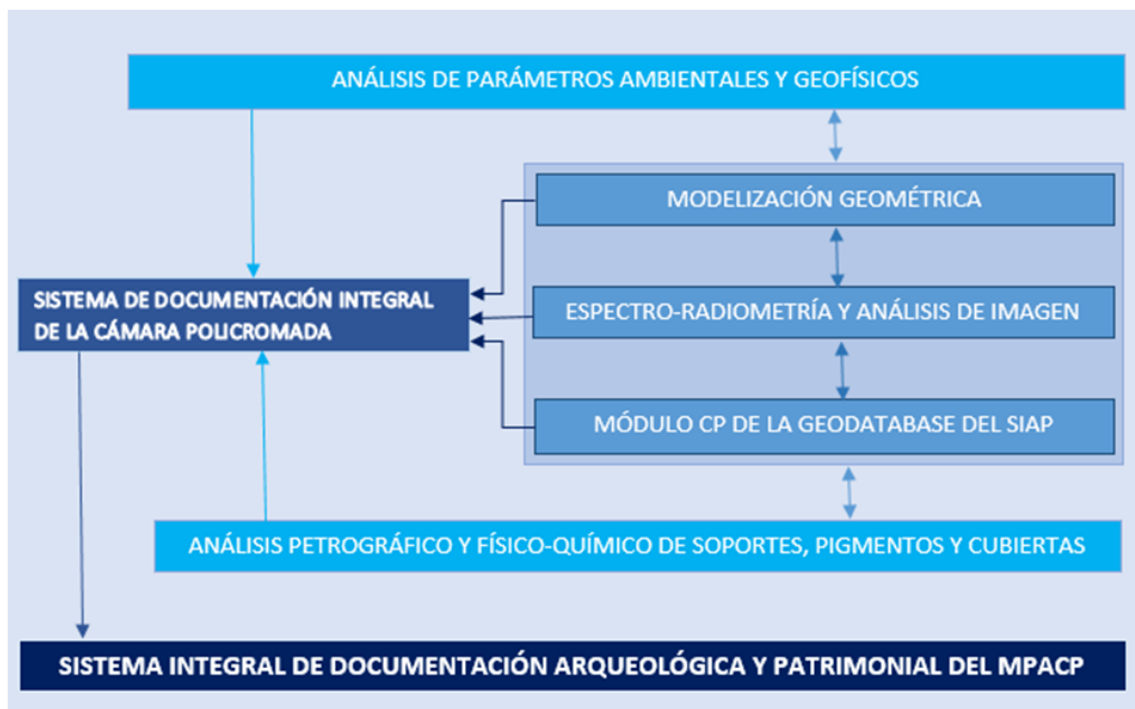


Gráfico 1. Arquitectura del Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada

Los objetivos particulares del Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada se orientan a atender tanto a las necesidades vinculadas con la documentación arqueológica en sentido estricto, como las demandas derivadas de la investigación aplicada a la conservación. En el ámbito de la documentación arqueológica, y en lo que hace a la arquitectura rupestre, se pretende obtener un levantamiento de alta precisión de la cámara rupestre y de sus elementos y acondicionamientos interiores, y elaborar un soporte cartográfico detallado para el registro y estudio de las técnicas constructivas (marcas de excavación, enlucidos y llagueados...). Por lo que respecta al registro arqueológico de los recubrimientos de origen antrópico y de las pinturas murales, los fines son múltiples: contribuir a la caracterización de preparados de base, morteros y pigmentos, obtener un registro detallado y “objetivo” de los paneles policromos y de las zonas pintadas, realzar la visualización de las pinturas y detectar posibles motivos “perdidos”, e identificar y cartografiar las superposiciones y repintes.

En lo relativo a la investigación aplicada a la conservación, este sistema de documentación integral de la cámara policromada se constituye como una herramienta eficaz para el diagnóstico y seguimiento tanto de la roca soporte y de los recubrimientos y pinturas murales, como de las cubiertas bióticas y abióticas. Se pretende, gracias a él, cartografiar y monitorizar las fisuras y despegues; localizar, evaluar y monitorizar el proceso de arenización del soporte y

los desprendimientos y pérdidas de materia; localizar, evaluar y monitorizar tanto las alteraciones y pérdidas de preparados de base y morteros, como las alteraciones cromáticas y las pérdidas de materia colorante; y, por último, identificar, cartografiar y monitorizar las cubiertas bióticas y abióticas (microorganismos, eflorescencias salinas...) de deterioro.

Hay que precisar, además, que este sistema de documentación tiene también como fin contribuir a normalizar, mediante la georreferenciación de todos sus datos de carácter espacial, los protocolos de muestreo y registro. De esta manera ha de permitir localizar con precisión, y en el mismo sistema de coordenadas en que se generan los modelos y productos cartográficos, no sólo los muestreos realizados y por realizar, sino, también, la disposición de las sondas y del resto de los equipos de medida.

Ni que decir tiene que tanto el proceso de toma de datos como la documentación generada deben cumplir, imperativamente, una serie de requerimientos técnicos estrictos. El primero de ellos es, desde luego, el de una mínima agresividad, lo que se traduce, de forma precisa, en ausencia total de contacto con el soporte, proscripción del uso de sustancias químicas (en fase líquida, gas o sólida), control estricto de la iluminación y no alteración de los parámetros micro-ambientales. Asimismo, la información obtenida debe ser de calidad geométrica y resultar espacialmente coherente, permitiendo, de este modo, la cuantificación de los datos. El sistema de documentación ha de ofrecer, de añadidura, la posibilidad de reproducir el proceso de documentación de manera recurrente con una cobertura temporal densa, de asegurar el seguimiento y monitorización, y, en fin, de comparar los resultados con los registros paralelos de datos geofísicos, petrográficos, físico-químicos, micro-ambientales y bióticos. Por último, ha de asegurarse el registro, almacenamiento, gestión y transmisión de la información a través de una base de datos espacial (geodatabase) de acceso y operabilidad compartidos.

En cuanto a los resultados esperados, el Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada, y singularmente los trabajos de los que da cuenta este estudio y los que los completarán en el futuro, han de permitir, en primer lugar, disponer de un modelo 3D texturizado de muy alta densidad y precisión de las zonas críticas de la cámara policromada que constituirá, en la práctica, una réplica virtual de las mismas. Amén de su valor como documento en sí mismo capaz de fijar y de perpetuar en el tiempo, con el máximo detalle, el estado actual de este ámbito rupestre y de sus paneles pintados, este “facsímil” puede permitir el estudio arquitectónico y tecno-pictórico de este ámbito sin necesidad de acceder al mismo. Se evitará así (o se limitará al máximo) la presencia y la actividad humana detrás de la “burbuja” y, en consecuencia, el eventual impacto de la misma en la conservación de la Cueva Pintada: iluminación excesiva, aumento de la tasa de CO<sub>2</sub> y de la temperatura... Además, llegado el caso, este modelo 3D podría fácilmente servir de base para la fabricación de una réplica “real” mediante técnicas avanzadas de impresión tridimensional.

Entre los resultados derivados del desarrollo de este sistema de documentación integral figuran, también, la producción de distintos documentos geomáticos, analíticos y analógicos. Estos habrán de ser examinados y evaluados por los especialistas que participan tanto en el programa de investigación arqueológica, como en los distintos proyectos de investigación aplicada a la conservación. A partir de este análisis y valoración mancomunados se podrá determinar su utilidad y pertinencia en orden a alcanzar los distintos objetivos establecidos. En general, el protocolo se debe integrar en un proceso recursivo de toma de datos / evaluación de resultados / calibración.

Desde la perspectiva de los resultados esperados, es importante, por ejemplo, tener en cuenta que los valores radiométricos que se obtienen en los puntos de muestreo mediante el espectro-radiómetro portátil (ver más adelante) constituyen en sí mismos datos primarios sobre las propiedades físico-químicas de dichos puntos. Una vez identificado el significado de estos valores en términos de conservación, estabilidad o inestabilidad de la roca-soporte y de los pigmentos y recubrimientos, y establecida su relación con las variables geofísicas, petro-

gráficas, físico-químicas, micro-ambientales y bióticas, la sonda radiométrica se transforma en un preciso instrumento del estado de registro de los paneles pintados, con un coste mínimo y nula agresividad sobre el conjunto. Por otra parte y en la medida en que estas pueden también interpretarse como matrices de datos radiométricos, las imágenes multiespectrales tienen idéntica utilidad, permitiendo registrar en el espacio aquellas magnitudes que se consideren relevantes.

Por su parte, las imágenes que permiten registrar la distribución de determinadas características constituirán la base para la elaboración de cartografías temáticas que facilitarán el registro espacial de dichos atributos y de su evolución a lo largo del tiempo: índices de vegetación, índices de pigmentación, análisis de componentes principales... Por otra parte, el registro de la distribución de los pigmentos servirá de base para la elaboración de precisas representaciones de las pinturas de la cámara policromada (calcos digitales), incluyendo, potencialmente, algunas características que pueden iluminar aspectos de la microhistoria del conjunto (superposiciones y repintes, motivos “perdidos”...).

Hay que destacar, por último, el particular interés que, en el marco de este proyecto, tiene la posibilidad de articular en forma de series temporales coordinadas con el registro de distintas variables (geofísicas, petrográficas, físico-químicas, micro-ambientales) tanto la generación de productos geomáticos, como la toma de datos radiométricos y la captura y tratamiento de imágenes. En la práctica, basta con la determinación de puntos focales y el establecimiento de estaciones fijas de registro para tomar datos geométricos y radiométricos, y capturar imágenes, con la periodicidad que se estime oportuna a partir de los propios resultados de evolución de diferencias encontradas entre campañas. De esta manera se podrán constituir series multi-temporales de documentos que pueden ser analizados mediante técnicas de control de cambios, ampliamente desarrolladas en el campo de la geomática y la teledetección espacial.

#### LEVANTAMIENTO MEDIANTE LÁSER ESCÁNER Y TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS DEL COMPLEJO TROGLODITA DE LA CUEVA PINTADA

Como es sabido, el complejo troglodita en el que se integra la cámara policromada constituye el centro neurálgico de un singular caserío prehispánico y colonial. En consecuencia, y en toda lógica, las tareas iniciales de documentación 3D de este conjunto rupestre se han realizado de manera conjunta y solidaria con las del resto de la zona arqueológica. Estas labores han consistido, en esencia, en un levantamiento mediante láser escáner y técnicas fotogramétricas para el que fue necesario establecer, con carácter previo, una red de señalización. El fin de esta red era permitir la referenciación en un sistema local de coordenadas de los datos láser y fotogramétricos que garantizara la máxima precisión de los productos finales.

Tal y como ha sucedido con todas las áreas de la zona arqueológica donde se documentan vestigios arqueológicos, el levantamiento con láser escáner terrestre ha permitido obtener un modelo 3D del conjunto rupestre con una resolución de 5 mm y con una precisión 3D en la posición de los puntos del orden de 2 mm. Por su parte, el levantamiento fotogramétrico, referenciado conjuntamente con el escaneado láser, ofrece una resolución espacial de 8 mm y una precisión relativa de 10 mm. Hay que reseñar que, dadas las características de estos espacios, fue necesario realizar una serie de trabajos complementarios de toma de datos en campo para el levantamiento fotogramétrico tanto de la cámara policromada como de sus habitáculos anexos. En paralelo al desarrollo de estas tareas, y una vez concluidas las mismas, se ha procedido al procesamiento de los datos obtenidos y a la generación de diferentes productos geomáticos.

Para las labores de campo relacionadas con la generación de la nube de puntos del conjunto de la zona arqueológica se utilizó un láser escáner Faro Focus 3D. Al objeto de documentar los aproximadamente 5.400 m<sup>2</sup> del yacimiento se ejecutaron 229 escaneos láser escáner con una resolución aproximada de 6 mm a 10 metros de distancia, equivalente a 44 millones de puntos brutos por estación, con una precisión de 1,5 mm. Esto hace un total aproximado de 10.100 millones de puntos brutos capturados, tanto en valor de intensidad en longitud de onda de 905 nm, como en color verdadero RGB.

Los trabajos se realizaron entre el orto y el ocaso, bajo condiciones de luz natural. No obstante, en aquellas zonas donde se proyectaban sombras por la propia estructura del recinto, se dispuso de dos fuentes de luz homogénea de tipo halógeno de 2.000 w de potencia.

Los chequeos realizados durante la ejecución del proyecto depararon un error de alineamiento del bloque de 229 escaneados inferior al requerimiento máximo de resolución de 5 mm, con una precisión individual de cada punto inferior a 2 mm en su sistema local, previamente a cualquier fase de refinamiento y procesado.

Por lo que hace al levantamiento fotogramétrico, y tras evaluar y descartar el uso de un sistema RPAS<sup>1</sup> por el nocivo efecto que las elevadas concentraciones de polvo en suspensión generadas durante el vuelo podrían provocar en el interior de la cámara policromada, se empleó un equipo específico de captura aérea de tipo pértiga diseñado expofeso. En este sistema se embarcó una cámara réflex Canon 5D de 21 Mp con un objetivo de focal fija de 20 mm en una plataforma auto-estabilizada y controlada mediante un sistema FPV<sup>2</sup>. La altura de captura oscilaba entre 2 y 4 metros, por lo que el tamaño del pixel sobre el terreno variaba entre 0,6 y 1,2 mm (en la proyección más nadiral posible).

Dada la heterogeneidad del propio yacimiento, así como las limitaciones de acceso debido a las condiciones de conservación, no fue viable emplear un protocolo de toma de datos estandarizado según criterios fotogramétricos aéreos clásicos (pasadas, baselíneas y recubrimientos constantes). Por ello, tanto la altura como el ángulo de cada toma se eligieron de acuerdo con las características de cada zona individual, siendo determinantes las condiciones de iluminación, la complejidad de las estructuras y las restricciones de acceso. En total se realizaron un total de 3.321 fotografías en formato RAW (\*.CR2), de las cuales se preseleccionaron 2.728 tomas que se revelaron en formato JPG. Las tomas de pértiga se complementaron con fotos manuales desde las pasarelas en aquellas estructuras que permitían un punto de vista lo más nadiral posible y con primeros planos de las estructuras más complejas de cara facilitar la reconstrucción 3D de las mismas.

En total se realizaron 3.589 fotografías, de las cuales, tras los primeros controles de calidad, se preseleccionaron 2800 para su posterior procesamiento. Estas fotografías se almacenaron en los formatos CR2 y JPG, con una resolución de 5.616 x 3.744 píxeles.

En las zonas más desfavorables en cuanto a iluminación y/o morfología del conjunto de la zona arqueológica, como la propia cámara policromada o la cueva anexa a la denominada estructura 12, fue necesario, no obstante, realizar tomas específicas y de refuerzo con el fin de mejorar el levantamiento fotogramétrico. Se registraron así 295 nuevas imágenes a las que hay que añadir las realizadas en la cámara policromada y sus habitáculos anexos.

En el caso concreto de la cámara policromada se elaboró y ejecutó un plan de tomas fotogramétricas paralelas para las paredes y techo por disponer de una morfología más favorable para el uso de protocolos de toma regulares. Este plan fue complementado con tomas adicionales en las zonas más irregulares: áreas próximas a la “burbuja” de cristal, zona donde se encuentran los instrumentos de monitorización y suelo. Allí donde se realizaron tomas paralelas y en la zona de instrumentos se utilizó el objetivo de 50 mm, mientras que en el resto se

<sup>1</sup> *Remotely Piloted Aircraft Systems*, más conocidos como drones.

<sup>2</sup> *First-person view*.

optó por el de 20 mm debido a su menor limitación en la profundidad de campo en distancias cortas, característica que lo hace más adecuado para tomas oblicuas o con grandes variaciones en las distancias a los objetos. Debido a su mayor irregularidad morfológica, para los dos ámbitos anexos a la cámara policromada se realizaron tomas no planificadas con un alto porcentaje de solapamiento y utilizando el objetivo de 20 mm. Tanto en la cámara policromada como en las cámaras anexas se utilizaron dos focos de iluminación fluorescente de forma cruzada para evitar la aparición de sombras (figura 1).

Para la elaboración del plan fotogramétrico de la cámara policromada se utilizaron como referencia los escaneados láser de la misma, diseñándose un plan de tomas distribuidas en pasadas paralelas con un solapamiento transversal y longitudinal del 60 %. El plan constaba de cuatro bloques de pasadas, tres para las paredes principales y una para el techo. Para cada una de las paredes se planificaron tres pasadas a distintas alturas, manteniendo las distancias entre pasadas y entre tomas de tal forma que se respetara un solapamiento mínimo del 60 %. En cuanto al techo, se programaron cuatro pasadas con al menos siete tomas por pasada de manera que se asegurara, también, un solapamiento mínimo del 60%



Figura 1. Trabajos de captura de tomas fotogramétricas en el interior de la cámara policromada y modelo fotogramétrico 3D

La ejecución de este plan fotogramétrico se completó con una serie de tomas adicionales para asegurar la integridad del modelo resultante. En total, en la cámara policromada se registraron 565 imágenes, de las cuales 431 se realizaron con el objetivo de 50 mm y las 134 restantes con el de 20 mm. Por su parte, en los ámbitos anexos se procedió a tomar un total de 670 imágenes con el objetivo de 20 mm.

Por lo que hace al procesamiento de los datos láser y fotogramétricos, hay que indicar que este se ha realizado a partir de la red de referencia local establecida. En cuanto al software empleado, para la generación de los productos láser finales fue necesaria la utilización de los programas Faro Scene, CloudCompare y Faro Scene LT. En el flujo de trabajo fotogramétrico se usó Agisoft Photoscan.

Respecto a los productos geomáticos obtenidos a resultas de estos trabajos de procesamiento, y por lo que hace al modelo láser general del yacimiento, en donde se habían co-registrado los 229 escaneos de campo con un error de  $\pm 1,7$  mm, se ha procedido a fusionar éste con los datos fotogramétricos. El objetivo de esta fusión ha sido generar un producto final homogéneo.

La fusión del modelo láser con los datos fotogramétricos ha demandado principalmente la ejecución de una corrección radiométrica de los valores RGB capturados en campo por el láser escáner terrestre. Para realizar esta corrección radiométrica se transfirieron los componentes RGB de las fotografías a los vértices de la nube de puntos. En la medida que existían múltiples fotografías susceptibles de dotar de color a un mismo punto en el espacio, debido al

proceso de captura con solapamiento propio de la fotogrametría, fue necesario combinar dicha información en un proceso de fusión, conocido como *blending*. En esta fase, en lugar de combinar directamente la totalidad de la información radiométrica y promediarla, se seleccionó únicamente la componente RGB de la fotografía más adecuada de las posibles candidatas. Dicha selección se realizó en términos de alejamiento espacial (cuanto más próxima, mejor definición) y del ángulo entre el vector normal asociado al punto 3D y el eje de toma de la fotografía (cuanto menos oblicuo, mejor definición).

Una vez finalizada esta etapa de corrección radiométrica ha quedado generada la versión definitiva de la nube de puntos con RGB del escaneado láser del conjunto de la zona arqueológica de la Cueva Pintada donde se han integrado co-referenciados todos los escaneados.

El producto final está segmentado según los cuadrantes de la cuadrícula de excavación arqueológica, en formato BIN compatible con CloudCompare 2.6.2 (figura 2). Se compone de 278.562.548 puntos, los cuales están expresados en el sistema de coordenadas del yacimiento, trasladados según la tabla que figura a continuación, a fin de evitar pérdidas de información debido a la gestión de memoria de los softwares de procesado.

| Coordenada | Valor   |
|------------|---------|
| X          | 435000  |
| Y          | 3113000 |
| Z          | 0       |

Tabla 1. Traslación aplicada a los datos láser

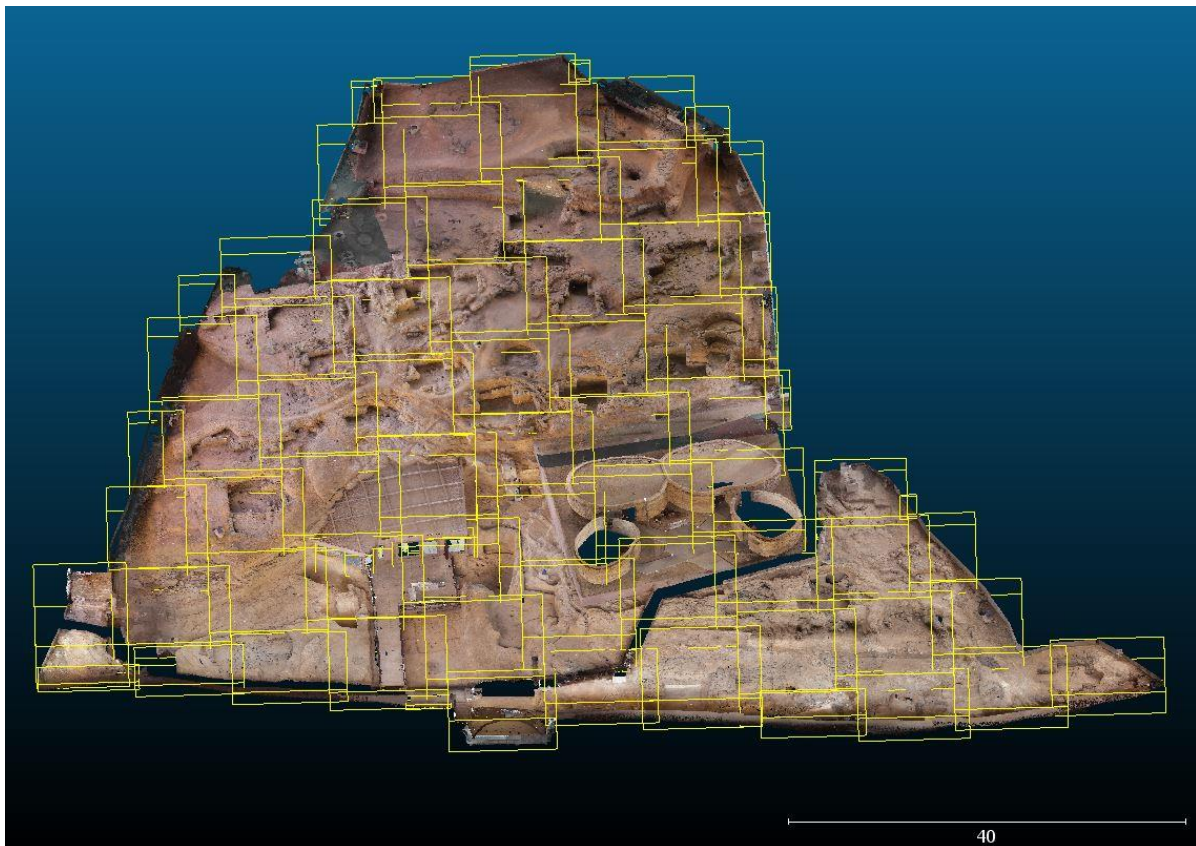


Figura 2. Modelo 3D segmentado según la retícula de la excavación arqueológica

En cuanto a los productos fotogramétricos definitivos, y a partir del procesamiento intermedio de los datos capturados en campo, se ha procedido a la mejora de la georreferenciación,



para lo que se identificaron nuevas proyecciones de las dianas sobre las fotografías originales, así como al refinamiento de las proyecciones existentes. Como resultado de esta mejora, y tras optimizar la calibración fotogramétrica, se ha obtenido un error medio de 8,4 mm utilizando dieciocho dianas.

Se ha procedido a generar la densificación de mayor resolución posible y de esta se deriva el modelo 3D texturizado. Tanto la nube de puntos como el modelo 3D se sometieron a una limpieza manual para eliminar los elementos no deseados que aparecen principalmente en las zonas marginales del área de estudio.

| Variable                         | Valor                   |
|----------------------------------|-------------------------|
| Número de puntos de la nube      | 300.433.000             |
| Número de triángulos de la malla | 43.476.666              |
| Tamaño del texturizado           | 16.384 x 16.384 píxeles |
| GSD                              | 1,42 mm/píxel           |

Tabla 2. Resumen de los productos derivados del modelo fotogramétrico

Finalmente, se generó la versión definitiva de la nube de puntos con color en formato LAS del levantamiento fotogramétrico, así como la versión definitiva del modelo 3D texturizado del conjunto de la zona arqueológica (figura 3). Como ejemplo de la reconstrucción fotogramétrica aérea de esta, se presenta la siguiente figura (figura 4), donde se muestra una vista en proyección ortogonal.

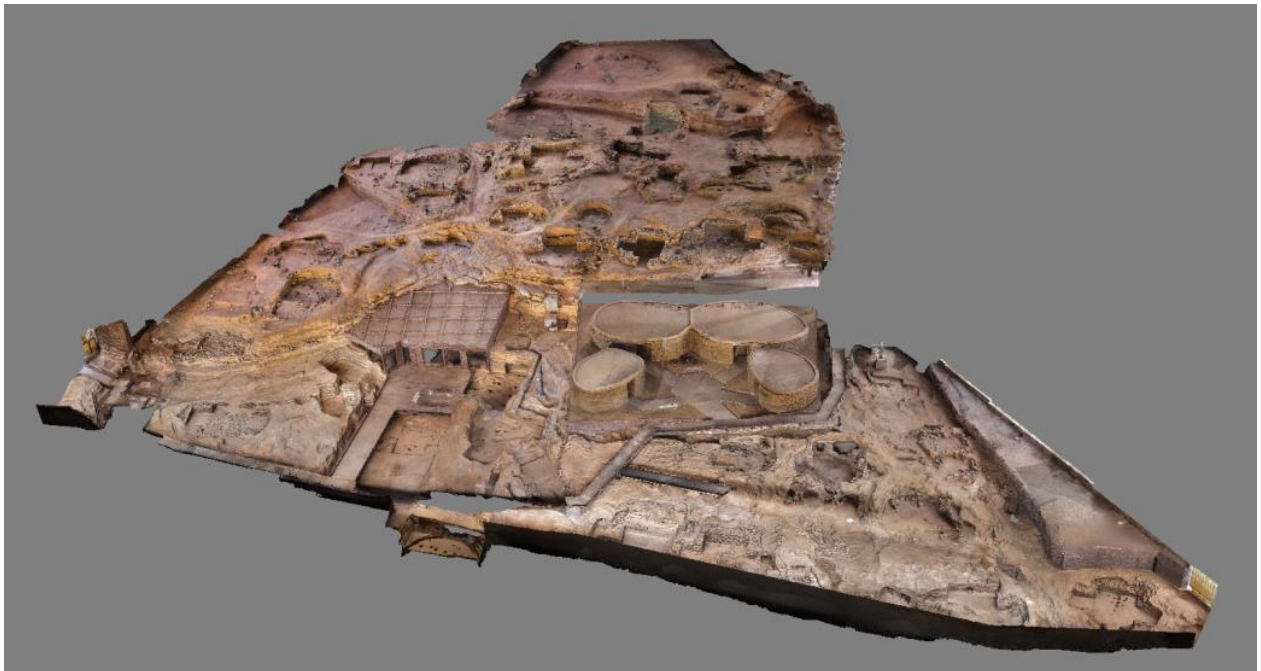


Figura 3. Modelo fotogramétrico 3D texturizado



Figura 4. Ortofotografía nadiral resultante del modelo fotogramétrico final

#### ESCANEADO DE MUY ALTA RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN DE LA CÁMARA POLICROMADA

De manera complementaria a los trabajos de documentación 3D del complejo troglodita, y de la cámara policromada, que acabamos de describir, se han realizado una serie de labores de escaneado de muy alta densidad y precisión de esta última. Dado su elevado coste y lo dilatado de los tiempos de captura, desde un primer momento se decidió que estas tareas afectarían únicamente a las zonas consideradas críticas, en términos de conservación, de este ámbito rupestre. Pese a las primeras previsiones de superficies a cubrir, las condiciones y protocolos de preservación de la cámara policromada han exigido limitar, de manera estricta, el tiempo de permanencia en su interior condicionando, en consecuencia, los flujos de trabajo y obligando a espaciar, más allá de lo inicialmente programado, las distintas campañas de trabajo de campo. De este modo, hasta el momento de redactar estas líneas se ha procedido únicamente al escaneado de los paneles pintados, incluyendo una parte del zócalo inferior. La documentación del resto del zócalo y del techo, cuyas fisuraciones y despegues son especialmente preocupantes a día de hoy, será abordada en posteriores campañas.

Los parámetros establecidos para esta tarea de escaneado han sido una resolución de 6 puntos por  $\text{mm}^2$  y una precisión tridimensional en cada punto de 100 micrómetros. A partir de este modelado geométrico se ha generado un modelo 3D fotogramétrico texturizado mediante la fusión de imágenes de alta resolución con un tamaño de pixel sobre la superficie (GSD) inferior a 0,5 mm.

Para la realización de estos trabajos se ha empleado un láser escáner de triangulación Konica-Minolta VI-9i. En lo que hace a la obtención de imágenes de alta resolución, se utilizó

una cámara *full frame* Sony ILCE-7R de 36,2 Mp con un objetivo de focal fija de 35 mm. Respecto al software usado en la generación de los productos finales, se emplearon los siguientes programas: Poligon Editing Tool, CloudCompare y Rapidform de Innus Technology. Finalmente, para el tratamiento de las imágenes del escaneado, principalmente para la ecualización del color, se acudió a un software de edición imagen: Gimp2.

Sobre el terreno se realizó la captura de 38 bloques con un total de 749 tomas escaneadas y 230 millones de puntos. Una vez concluidas estas labores, se ha procedido al procesado de toda la información obtenida y al análisis de su estructura para facilitar la gestión 3D de la misma.

Dado el gran volumen de información capturada y procesada, tanto en lo referente a información geométrica tridimensional como a textura de imagen en alta resolución, resultaba evidente que su gestión simultánea sería prácticamente imposible, incluso para equipos informáticos de gran capacidad (tipo *workstation*). Para solucionar este punto crítico se hizo necesario decidir, con carácter previo, el tipo de estructura en que había de organizarse y presentarse la información en función del uso que se iba a hacer de ella. Tras distintas deliberaciones entre los miembros del equipo, se tomó la determinación de establecer una estructura piramidal de información que, de manera relativamente ágil y sencilla, permitiera a los eventuales usuarios acceder a los productos en máxima resolución para una zona concreta deseada, incluso en ordenadores de capacidad intermedia.

En el propio proceso de escaneado, las distintas tomas realizadas se van alineando automáticamente respecto a las anteriores. A pesar de que dicha alineación es muy precisa, esta se efectúa de forma lineal lo que, en la práctica, se traduce en una degradación de la precisión 3D global, a medida que se van acumulando las distintas tomas. Por ello, una vez concluidos los trabajos de escaneado y con el propósito de obtener un modelo 3D continuo con el nivel de precisión requerida, fue necesario realizar una alineación precisa global del conjunto de las tomas obtenidas. Esta alineación, que incluye el total de los 38 bloques, las 749 tomas escaneadas y los 230 millones de puntos capturados, incorpora la siguiente información: (1) nube de puntos, (2) caras 3D, (3) modelo 3D con sombreado en color, y (4) modelo 3D con textura de imagen con resolución pixel promedio mejor de 0,4mm.

Una vez realizada la alineación precisa y con el propósito de facilitar la posterior gestión de la información, se procedió a eliminar la información redundante de las zonas de solapamiento. De esta manera se ha conseguido reducir en un 23% la carga de información.

También se ha acometido una ecualización completa de textura de imagen. Gracias a este tipo de procesamiento, realizado para todos los productos a entregar, se elimina el desagradable efecto visual de líneas de costura de las imágenes obtenidas. Este efecto se debe a los cambios de posición en las fuentes de iluminación.

La relación de productos finales, que se acomoda a la estructura piramidal de información articulada a partir de estructuras de datos y guías acordada en su momento a la que se ha hecho alusión más arriba, aparece recogida de manera pormenorizada en la siguiente tabla (figura 5).

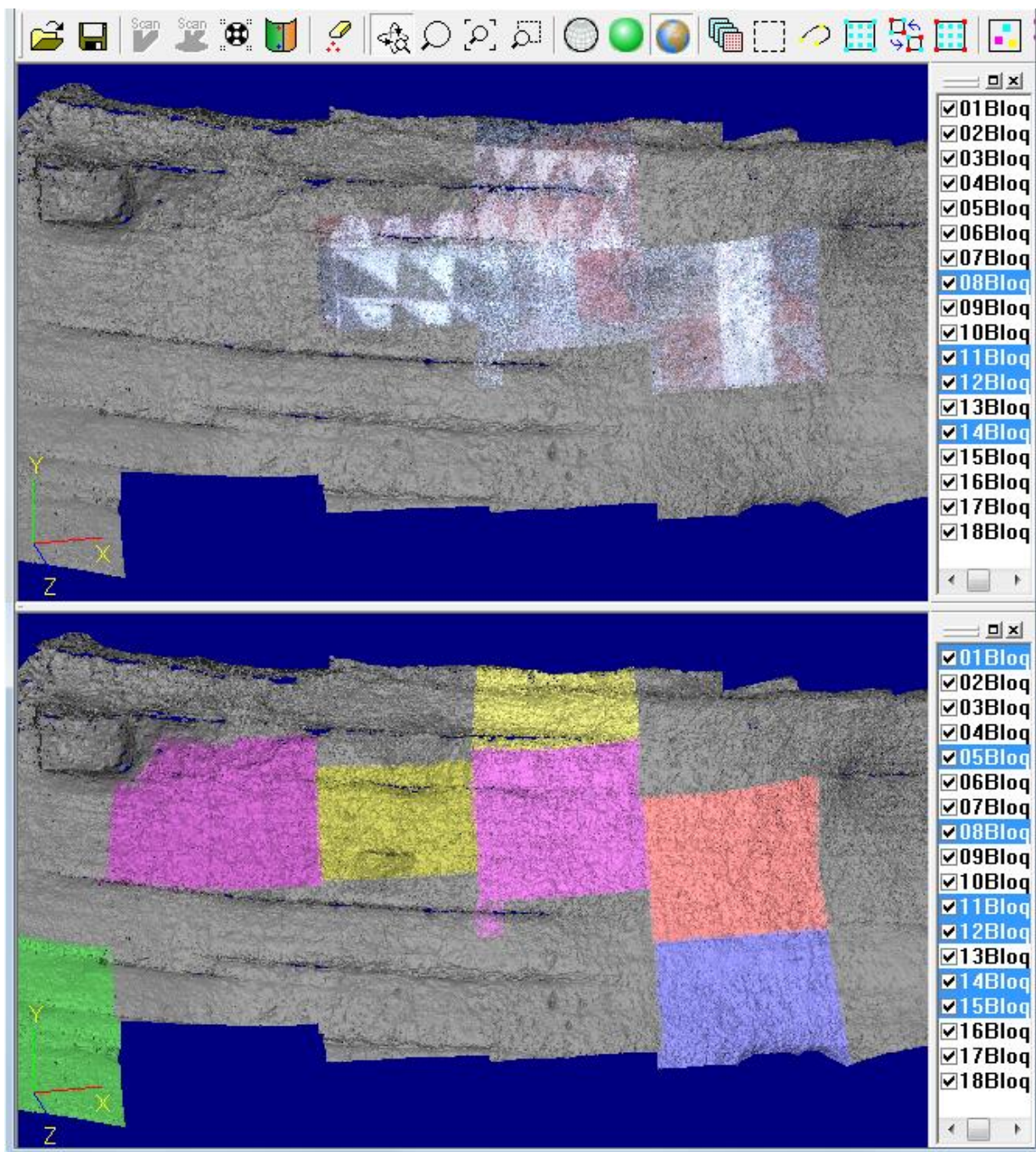


Figura 5. Guía ligera de bloques escaneados. Carga del panel frontal completo seleccionando diversos bloques mostrando textura de imagen (arriba) y sombreado de color (abajo)

| Material                                                       | Tipo de archivo | Observaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estructura completa de datos depurados en formato nativo KMS   | VVD             | Tipo de información: nube de puntos / 3Dsurface con color sólido / textura de imagen<br>Acceso a la información: por panel / por bloque / por toma<br>Resolución geométrica: completa (6 puntos/mm <sup>2</sup> )<br>Resolución en textura: completa (0,4mm/píxel)<br>Carga de gestión 3D: muy alta. Máximo recomendado: 6-8 tomas simultáneas          |
| Guía de detalle de tomas escaneadas en formato nativo KMS      | VVD             | Tipo de información: nube de puntos / 3Dsurface con color sólido / textura de imagen<br>Acceso a la información: por panel / por bloque / por toma<br>Resolución geométrica: reducida a 1/300 (en la información 3D)<br>Resolución en textura: completa (0,4mm/píxel)<br>Carga de gestión 3D: intermedia. Máximo recomendado: 100-120 tomas simultáneas |
| Guía ligera de bloques escaneados en formato nativo KMS        | VVD             | Tipo de información: nube de puntos / 3Dsurface con color sólido / textura de imagen<br>Acceso a la información: por panel / por bloque<br>Resolución geométrica: reducida a 1/300 (en la información 3D)<br>Resolución en textura: completa (0,4mm/píxel)<br>Carga de gestión 3D: ligera. Máximo recomendado: 18-24 bloques simultáneos                |
| Estructura completa de datos depurados en formato LAS          | LAS             | Tipo de información: nube de puntos con color de textura de imagen<br>Acceso a la información: por panel / por bloque / por toma<br>Resolución geométrica: completa (6 puntos/mm <sup>2</sup> )<br>Resolución en textura: completa (0,4mm/píxel)<br>Carga de gestión 3D: intermedia. Máximo recomendado: 8-18 bloques simultáneos                       |
| Guía completa ligera de bloques depurados en formato 3Dsurface | OBJ             | Tipo de información: 3Dsurface con textura de imagen<br>Acceso a la información: por panel / por bloque / por toma<br>Resolución geométrica: reducida a 1/300<br>Resolución en textura: completa (0.4mm/píxel)<br>Carga de gestión 3D: mínima. Carga completa                                                                                           |

Tabla 3. Cuadro-resumen de los productos derivados del escaneado de muy alta resolución y precisión

#### DOCUMENTACIÓN DE LAS PINTURAS MURALES DEL COMPLEJO TROGLODITA DE LA CUEVA PINTADA MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE IMAGEN: ESPECTRO-RADIOMETRÍA

Las técnicas de análisis de imagen, cuyo origen se sitúa en el campo de la teledetección, se vienen utilizando tradicionalmente en el área del medio ambiente, la geología, la agricultura, la óptica o la medicina. En la actualidad, su potencial se está extendiendo rápidamente a otros ámbitos de aplicación como la arqueología y el patrimonio gracias a la posibilidad que ofrecen de obtener información sin necesidad de entrar en contacto con la superficie a analizar y, en consecuencia, a su carácter eminentemente no destructivo (Lysandrou et al., 2016).

Si bien la aplicación de estas técnicas de análisis al registro y examen de pinturas de caballete y murales, o de manuscritos iluminados, viene siendo una práctica habitual en los últi-

mos años (Bacci, 2006; Casini et al. 2005; Cucci et al., 2013; Cucci et al., 2017; Faigenbaum et al., 2012), su extensión a entornos de arte rupestre está todavía en una fase de desarrollo incipiente (Sebastián López et al., 2013). Hasta el momento, los trabajos acometidos han estado fundamentalmente orientados a la determinación de elementos puros dentro de la escena, es decir, a la caracterización inicial de los colores más importantes dentro de un motivo pictórico para, posteriormente, adquirir una imagen y obtener un cartografiado de este (calco digital), ya sea mediante la aplicación de técnicas de retoque fotográfico, más o menos sofisticadas, sobre fotografías digitales (Rogerio Candelera, 2013; Harman, 2005), ya sea por medio de la utilización de métodos de clasificación tomados de la teledetección ambiental (Montero Ruiz et al., 1998). Estas técnicas se usan, en general, para mejorar la visibilidad de los elementos iconográficos, pero también se ha propuesto su utilización para observar estados de deterioro, delimitar elementos no visibles en el rango de percepción del ojo humano o estudiar la influencia de las técnicas de restauración (Montero Ruiz et al., 1996; Montero Ruíz et al., 2000; Guarneri et al., 2014).

No obstante, existe una carencia importante en lo relativo a las técnicas y protocolos a utilizar tanto en la observación de alta resolución radiométrica a nivel puntual, como en la extensión a imágenes multi e hiperespectrales (Liang, 2012). Y esta limitación va desde la magnitud física a registrar hasta el diseño de la iluminación, pasando por el montaje y la repetibilidad de las medidas. En este sentido, es importante destacar que todo el esfuerzo metodológico tiene que ir necesariamente orientado hacia la minimización del error en la medida. Por ello, el trabajo que se ha desarrollado en la zona arqueológica de la Cueva Pintada, y singularmente en la cámara policromada, supone un reto importante al estar la instrumentación de espectroradiometría integrada, como se ha visto, dentro de un proyecto más amplio de caracterización, modelización 3D y documentación.

En lo que hace al trabajo desarrollado en las distintas habitaciones que componen el complejo troglodita de la Cueva Pintada, en esta primera fase del proyecto se ha procedido a la caracterización radiométrica tanto de las decoraciones murales pintadas y de otros recubrimientos que se conservan en ellas, como del propio soporte. Huelga decir que la cámara policromada se ha convertido en el epicentro de estas labores.

La caracterización espectro-radiométrica se basa en la posibilidad de captar, medir y analizar parte del espectro electromagnético que toda materia refleja ante la iluminación solar. De este espectro, que se mide en longitudes de onda y nanómetros (nm), el rango visible, aquel susceptible de ser visto por el ojo humano, cubre tan sólo una región de entre 350 y 750 nm. La posibilidad de proceder a realizar capturas y medidas en una región del espectro electromagnético comprendido entre 350 y 2500 nm permite obtener información más allá de lo que nuestros ojos son capaces de ver en los paneles pintados.

El establecimiento de estas medidas espectrales desempeña un papel fundamental en el proyecto de documentación de las pinturas murales de este ámbito mediante técnicas de análisis de imagen. Se trata de un primer paso que consiste en determinar los rangos espectrales de mayor separabilidad entre los elementos principales de la escena bien de forma directa a partir de las reflectancias, bien mediante el uso de transformadas de forma análoga a como se viene haciendo en otras aplicaciones (Gilabert et al., 2011).

En la práctica, el trabajo acometido ha priorizado la captura y primer análisis de las medidas espectrales de la decoración pintada de las diversas habitaciones que componen el conjunto rupestre. Este estudio se ha consagrado a la determinación de las zonas de mayor variabilidad con el objeto de orientar el diseño de las cámaras multi e hiper-espectrales que serán empleadas en los futuros trabajos programados para el registro y documentación de estos paneles pintados. Estas labores han de entenderse, no obstante, como una primera aproximación a los principales elementos o clases. El muestreo se ha hecho a partir de observaciones visuales por

lo que no es imposible que en futuros trabajos puedan aparecer nuevos elementos no considerados en esta campaña.

Las medidas se han adquirido con un espectro-radiómetro FieldSpec-3 (ASD) 3Hi-Res en el rango de 350-2500 nm. El espectro-radiómetro incorpora su propia fuente de iluminación a través de una sonda de contacto ASD Contact probe especialmente diseñada para la adquisición puntual de medidas sobre distintos tipos de superficies. Con este dispositivo, que cuenta con un área de observación de 20 mm, se controla la orientación relativa de observación con respecto a la iluminación al estar integrada la fuente de iluminación y la fibra óptica, que iluminan imitando la radiación solar, dentro del mismo chasis. Para abordar aquellas superficies que, por su tamaño o por motivos de degradación, no se adaptasen de forma clara y homogénea el área de observación de esa sonda, se ha incorporado una fibra óptica bifurcada, conectada a una fuente de iluminación ASD *Illumination source*, que permite un área de observación circular de 3 mm de diámetro. El equipo utilizado se completa con un panel de referencia perfectamente difusor Spectralon (Labsphere) utilizado para la calibración de la radiación incidente sobre la superficie de estudio. Para la georreferenciación de cada una de las medidas radiométricas y su adecuada inclusión posterior en el Sistema de Información Arqueológica y Patrimonial del que se hablará a continuación, se utilizó paralelamente una estación total Leica Flexline TS02 Plus, que ofrece una precisión de medidas en prisma de 1,5 mm +2 ppm, y de 2mm+2 ppm sin prisma, con el fin de onseguir una localización lo más precisa posible de estas medidas es fundamental para garantizar su reproducción con carácter repetitivo.

Durante los trabajos se ha garantizado la estabilidad de la lámpara de iluminación siempre por debajo de los umbrales de iluminación recomendados y teniendo en cuenta el principio de reciprocidad, que establece que el error inducido por la luz incidente está más relacionado con la energía total acumulada que con la intensidad de la misma (Liang, 2012). Así, puede comprobarse en los registros de radiancia sobre el blanco de referencia que, en la campaña de medidas, la intensidad está por debajo de 50 lux. Teniendo en cuenta esto, el radiómetro se ha configurado para adquirir seis espectros en tiempos de integración de milisegundos, siendo el tiempo promedio de adquisición de posicionamiento, muestreo y almacenado del orden de segundos. Al ser una observación no destructiva y sin contacto, en cada una de las adquisiciones se ha mantenido la fibra óptica a una distancia menor de 5 mm de la superficie de los paneles, lo que puede ser una fuente de error en las medidas. La forma de corregir este efecto ha sido aumentar el número de medidas para reducir la variabilidad. No obstante, se debe tener en cuenta este efecto a la hora de hacer un análisis cuantitativo de variabilidad (Ramona et al., 2012).

Aunque, como ya se ha dicho, el objetivo principal del trabajo era hacer una prospección a nivel puntual para determinar los rangos espectrales de mayor variabilidad, la implementación de estas medidas abre la puerta a otras prometedoras líneas futuras de trabajo:

1. Establecimiento y mejora de los protocolos de medidas radiométricas en patrimonio rupestre
2. Desarrollo de métodos cuantitativos de variabilidad espectral
3. Fijación de las bases de una librería espectral para el conjunto del complejo troglodita y, singularmente, de la cámara policromada
4. Caracterización de las clases informacionales
5. Determinación de los diferentes estados del soporte y comparación y solapamiento de los resultados obtenidos con los extraídos mediante el análisis con técnicas distintas
6. Generación de una base experimental para probar y validar modelos radiométricos predictivos

En el conjunto del complejo troglodita se ha realizado un total de 421 medidas, de las que 353 corresponden a la cámara policromada. Estas caracterizaciones radiométricas se han efectuado tanto sobre pigmentos, preparados de base y morteros, como sobre el soporte rocoso y los recubrimientos y alteraciones no antrópicos que este presenta. Aunque aún estamos en un momento embrionario en lo que hace a la interpretación de resultados, los datos radiométricos obtenidos permiten afirmar que esta metodología está llamada a desempeñar un papel relevante de cara a la documentación y estudio de todas estas entidades.

Tal y como se ha diseñado el protocolo de muestreo, orientado en sus inicios por los elementos identificados visualmente, en esta primera exploración radiométrica se ha podido establecer para la cámara policromada una serie de clases que podrían considerarse “puras”: color blanco (600-700 nm), mortero (700-1000 nm), almagre (1150-1350 nm), “color negro” (1450-1800 nm) y soporte (2200 nm, rango de absorción en clase almagre y blanco). Hay que destacar el hecho que estas dos últimas clases no ofrecen una diferenciación clara, lo que hace suponer que el “color negro” se corresponde, como ya habían determinado los análisis de caracterización de pigmentos realizados en su día (Sánchez Moral et al., 2006), con la roca-soporte desnuda, es decir, sin haber recibido aplicación alguna de materia colorante (gráfico 2). No obstante este resultado es provisional y deberá refrendarse con un análisis de muestras radiométricas orientadas a este propósito. Por su parte, los motivos blancos no están compuestos por el mismo material pues su signatura espectral no es similar más allá del espectro visible. Por ello convendría determinar si estas pinturas han sido realizadas empleando las mismas recetas en la elaboración de los pigmentos, y siguiendo la misma técnica pictórica, o si su variabilidad obedece, al contrario, a procesos de conservación diferencial (gráfico 3). Todo parece indicar, en todo caso, que si se plantea la adquisición de imágenes hiper-espectrales, es decir con un número elevado de bandas y un ancho por debajo de 10 nm, sería posible obtener una firma espectral adecuadamente bien caracterizada para cuatro de las cinco clases establecidas en el rango de 400 a 1100 nm. Una vez conocidas las características espectrales de estas clases se podría disponer de una información colorimétrica completa acerca de las mismas, ya que a partir de dichos espectros es posible calcular valores en cualquier sistema de color y generar reproducciones de la escena con un colorido fiel al original.

Un resultado destacable de la exploración radiométrica del complejo troglodita se relaciona de manera directa con la detección, y eventual monitorización, de procesos de alteración de la roca-soporte. El análisis de las firmas espectrales documentadas en una de las paredes rocosas de la habitación rupestre situada inmediatamente al suroeste de la cámara policromada, que perdió su techo original de toba durante el proceso de abandono y fosilización del yacimiento, ha mostrado la existencia allí de actividad fotosintética (gráfico 4). Este hecho pone de manifiesto la utilidad de esta metodología para la determinación de la eventual existencia de microorganismos en otros ámbitos de este conjunto rupestre y, singularmente, en la cámara policromada.



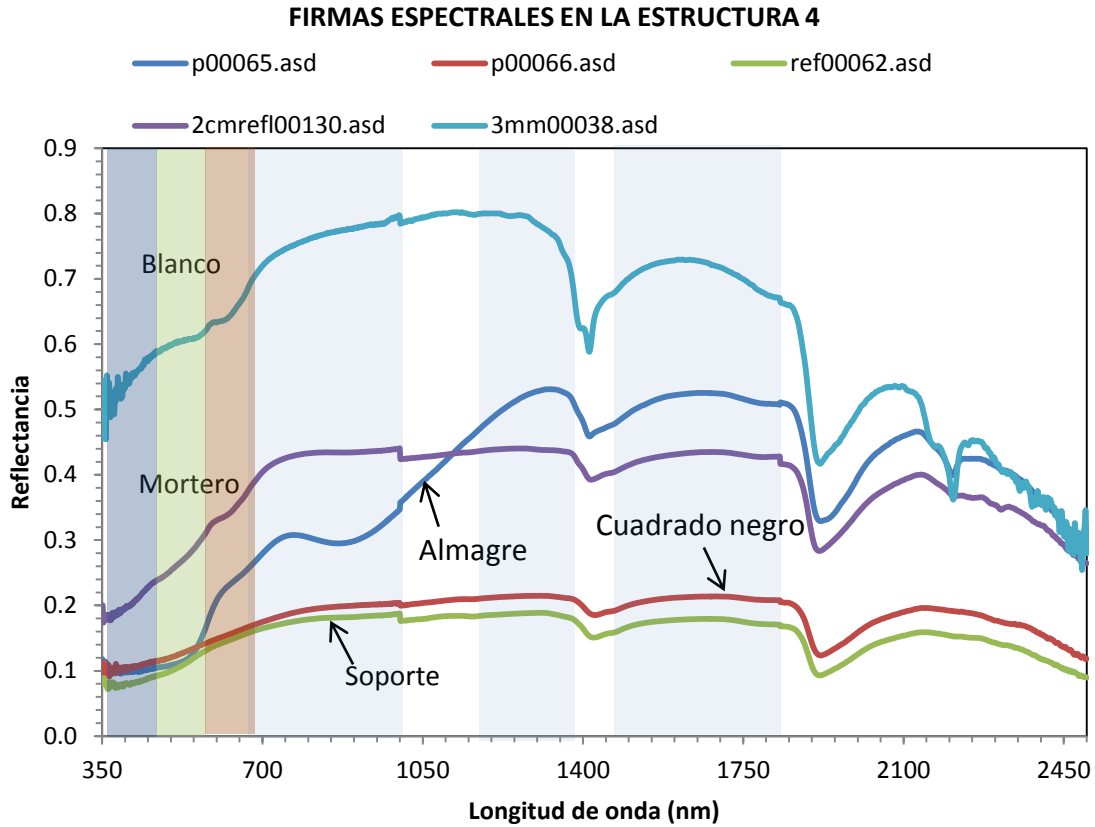


Gráfico 2. Firma espectral expresada en tantos por uno (adimensional) de cinco muestras de pigmentos y soporte tomadas en la cámara policromada

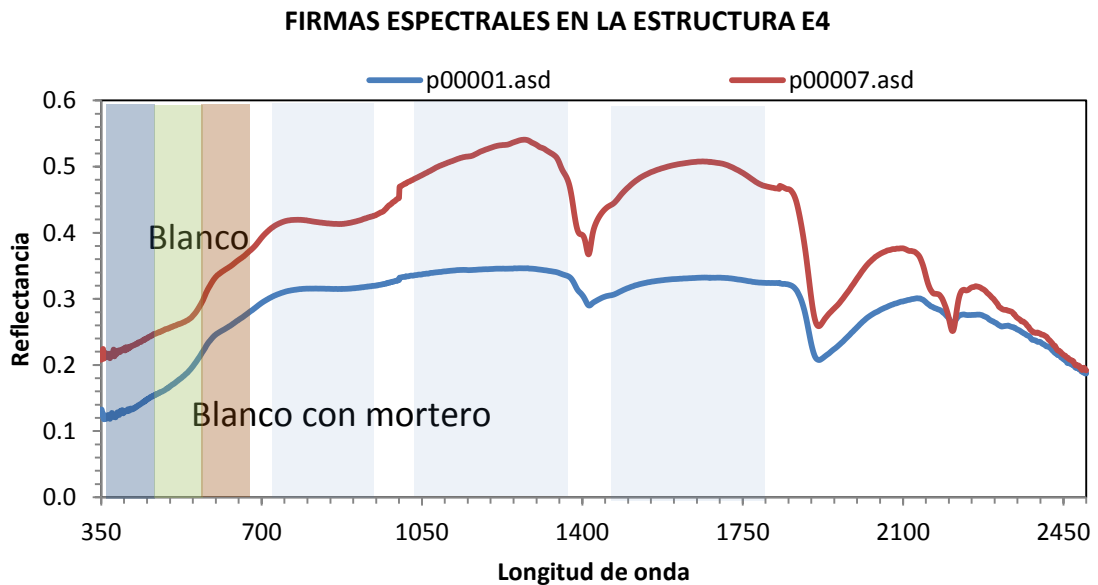
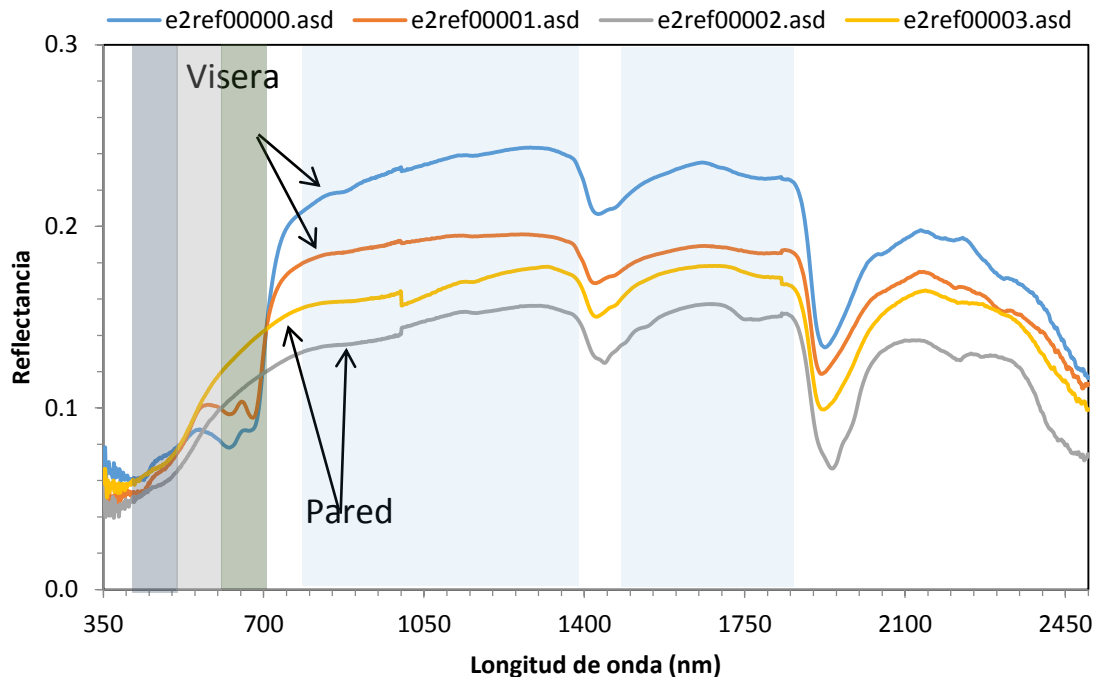


Gráfico 3. Firma espectral expresada en tantos por uno (adimensional) de dos muestras de pigmento blanco tomadas en la cámara policromada

## FIRMAS ESPECTRALES EN LA ESTRUCTURA E2



**Gráfico 4.** Firma espectral expresada en tantos por uno (adimensional) de cuatro muestras tomadas en la cámara situada al suroeste de la cámara policromada donde se aprecia la existencia de actividad fotosintética en la visera

### DISEÑO Y DESARROLLO DE UN MÓDULO ESPECÍFICO PARA LA CÁMARA POLICROMADA DENTRO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN ARQUEOLÓGICA Y PATRIMONIAL (SIAP) DEL MPACP

El almacenamiento, gestión y transmisión de la información temática y espacial generada por todos los trabajos anteriormente reseñados ha de realizarse, conforme a lo previsto, a través de un módulo, concebido y desarrollado de manera específica para la propia cámara policromada, que forma parte integrante de la geodatabase del Sistema de Información Arqueológica y Patrimonial (SIAP) del MPACP. Desde este punto de vista, y a pesar de su carácter singular, ese módulo será totalmente compatible con esta base de datos espacial. Su diseño contempla el acceso y la operabilidad compartidos para facilitar la tarea de los miembros de los diferentes equipos. En él se procederá a registrar y geolocalizar, asimismo, no solamente los datos correspondientes a las labores que completarán en el futuro los trabajos hasta aquí descritos sino, también, toda la información correspondiente a estudios y actuaciones anteriores relacionadas con este ámbito: muestreos de recubrimientos, pigmentos y cubiertas; sondas y equipos de medida de los parámetros geofísicos y microambientales; planimetrías y fotografías antiguas...

El SIAP del MPACP es una base de datos espacial que, gestionada a través de una plataforma web (SIG-Web), permitirá unificar y sistematizar, georreferenciándola, toda la información cartográfica y analógica generada, hasta hoy y desde sus orígenes como proyecto, por todos los departamentos y áreas que integran el actual organigrama del MPACP. La gestión de los datos se realizará a través de una serie de herramientas que facilitarán su almacenamiento, conservación, manipulación y difusión de manera centralizada, permitiendo, a su vez, ponerlos a disposición de los eventuales usuarios siguiendo una serie de normas y estándares.

Así las cosas, el SIAP ha de constituir uno de los soportes fundamentales sobre los que descansará la concepción y desarrollo del ya mencionado Sistema Integral de Documentación Arqueológica y Patrimonial del MPACP.

En el momento de redactar estas líneas se ha completado el modelo geométrico de las superficies y ámbitos espaciales de este módulo y, como sucede con el resto del SIAP, se está trabajando en la definición de la arquitectura del sistema.

## CONCLUSIONES

Las tareas descritas en este trabajo, y sus resultados preliminares, constituyen una primera etapa en el diseño y desarrollo del Sistema de Documentación Integral de la Cueva Pintada. La prosecución y culminación de estas labores se desarrollará en los próximos años al amparo de un nuevo convenio a punto de ser suscrito. Esta nueva fase de trabajos de campo y laboratorio contempla, por un lado, completar el escaneado de muy alta densidad y precisión de la cámara policromada con el modelado 3D del techo y el zócalo. Por lo que hace a la documentación de las pinturas murales mediante técnicas de análisis de imagen, el paso siguiente consistirá, en primer lugar, en el tratamiento e interpretación de los datos radiométricos de los que nos hemos hecho eco en este texto y, en una segunda fase, en la adquisición y procesamiento de imágenes de dicha ornamentación en distintas regiones espectrales. En este mismo campo se integrará la realización de un mosaico gigapíxel RGB de los paneles policromos. En cuanto al diseño y desarrollo de un módulo específico para el almacenamiento, gestión y transmisión de la información temática y espacial generada por el conjunto de tareas realizadas o por realizar en la cámara policromada, se prevé su puesta en marcha definitiva en paralelo con la del propio SIAP del MPACP en el que se integra.

## BIBLIOGRAFÍA

- BACCI, M. (2006). Non-Invasive instrumentation for detection and colour control of paintings and art works. *Archeometriai Műley*, 46-50.
- CASINI, A., BACCI, M., CUCCI, C., LOTTI, F., PORCINAI, S., PICOLLO, M. Y STEFANI, L. (2005). Fiber optic reflectance spectroscopy and hyper-spectral image spectroscopy: two integrated techniques for the study of the Madonna dei Fusi. *Proceedings SPIE*, 177-184.
- CUCCI, C., CASINI, A., PICOLLO, M. Y STEFANI, L. (2013). Extending Hyper-Spectral Imaging from Vis to NIR spectral regions: A novel scanner for the in-depth analysis of polychrome surfaces. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical, 03A IV*, 879009-1-9.
- CUCCI, C., CASINI, A., STEFANI, L., PICOLLO, M. Y JUSSILA, J. (2017). Bridging research with innovative products: a compact hyperspectral camera for investigating artworks: a feasibility study. (I. S. Photonics, Ed.) *SPIE Optical Metrology*, 1033106-1033106-13.
- FAIGENBAUM, S., SOBER, B., SHAUS, A., MOINESTER, M., PIASETZKY, E. Y BEARMAN, G., CORDONSKY, M., FINKELSTEIN, I. (2012). Multispectral images of ostraca: acquisition and analysis. *Journal of Archaeological Science*, 3581-3590.
- GUARNERI, M., DANIELIS, A., FRANCUCCI, M., DE COLLIBUS, M. F., FORNETTI, G. Y MENCATTINI, A. (2014). 3D remote colorimetry and watershed segmentation techniques for fresco and artwork decay monitoring and preservation. *Journal of Archaeological Science*, 46, 182-190.
- HARMAN, J. (2005). Using decorrelation stretch to enhance rock art images. *American Rock Art Research Association Annual Meeting*, 1-4.
- LIANG, H. (2012). Advances in multispectral and hyperspectral imaging for archaeology and art conservation. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 106(2), 309-323.
- LYSANDROU, V., CERRA, D., AGAPIOU, A., CHARALAMBOUS, E. Y HADJIMITSIS, D. G. (2016). Towards a spectral library of Roman to Early Christian Cypriot floor mosaics. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 1-10. doi:10.1016/j.jasrep.2016.06.029
- MONTERO RUIZ, I., CHAPA BRUNET, T., VICENT GARCÍA, J.M., RODRÍGUEZ ALCALDE, A. L. Y MARTÍNEZ NAVARRETE, M. I. (1996). Aplicación de la imagen multiespectral al estudio y conservación del arte rupestre postpaleolítico. *Trabajos de Prehistoria*, 53(2), 19-35.

- MONTERO RUIZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, A. L., VICENT GARCÍA, J. M. Y CRUZ BERROCAL, M. (1998). Técnicas digitales para la elaboración de calcos de Arte rupestre. *Trabajos de Prehistoria*, 55, 155-169.
- MONTERO RUÍZ, I., RODRÍGUEZ ALCALDE, A. L.; VICENT GARCÍA, J. M., Y CRUZ BERROCAL, M. (2000). Técnicas analíticas basadas en el proceso de imágenes digitales multiespectrales. *Arkeos*, 7, 13-34.
- ONRUBIA PINTADO, J., SÁENZ SAGASTI, J.I. Y RODRÍGUEZ SANTANA, C.G. (eds.) (2006). *La conservación en la musealización de la Cueva Pintada. De la investigación a la intervención* (Cuadernos de Patrimonio Histórico, 7). Las Palmas de Gran Canaria: Cabildo de Gran Canaria.
- ROGERIO CANDELERA, M. A. (2013). Experiencias en la documentación de pintura rupestre utilizando técnicas de análisis de imagen: avances hacia el establecimiento de protocolos de documentación no invasivos. *Cuadernos de Arte Rupestre*, 6, 53-67.
- SÁNCHEZ MORAL, S., CAÑAVÉRAS JIMÉNEZ, J.C., SANZ RUBIO, E. Y GARCÍA GUINEA, J. (2006). “Estudio de los materiales constituyentes de muestras de los paneles policromos de la Cueva Pintada”, en J. Onrubia Pintado, J.I. Sáenz Sagasti y C.G. Rodríguez Santana (eds.), *La conservación en la musealización de la Cueva Pintada. De la investigación a la intervención* (Cuadernos de Patrimonio Histórico, 7). Las Palmas de Gran Canaria: Cabildo de Gran Canaria, pp. 151-168.
- SEBASTIÁN LÓPEZ, M., PALOMO ARROYO, M., RINCÓN RAMÍREZ, J.A., ORMEÑO VILLAJOS, S. Y VICENT GARCÍA, J. M. (2013). Métodos de documentación, análisis y conservación no invasivos para el arte rupestre postpaleolítico: radiometría de campo e imágenes multiespectrales. Ensayos en la cueva del tío Garroso (Alacón, Teruel), en VVAA, *La ciencia y el arte. IV, Ciencias experimentales y conservación del patrimonio* (pp. 279-287). Madrid: MECD.