

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA 2016

BORRADOR / DOCUMENTO PRE-PRINT

EL COMPLEJO KÁRSTICO DE LA PILETA (BENAOJÁN, MÁLAGA). APROXIMACIÓN INTERDISCIPLINAR A LAS GRAFÍAS PREHISTÓRICAS

Miguel Cortés Sánchez^{1,2,3}, María D. Simón Vallejo^{1,2,3}, Rubén Parrilla Giráldez^{2,3}, Sara Macías Tejada^{2,3}, Lydia Calle Román^{2,3}, Carlos Odriozola Lloret^{1,2}, Aránzazu Martínez Aguirre^{3,4}, Fernando Jiménez Barredo^{4,5}, Inmaculada López Flores³, Guadalupe Monge⁶, Juan Mayoral Valsera³, Laura Esparza Sáinz³

- 1) Departamento de Prehistoria y Arqueología. Facultad de Geografía e Historia, Universidad of Sevilla, c/. Doña María de Padilla s/n. 41004. Sevilla. mcortes@us.es. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9093-3338>; Scopus Author ID: 24079481300; msimon@us.es, <http://orcid.org/0000-0002-6885-1464>; codriozola@us.es
- 2) Grupo HUM-949. [Tellus. Prehistoria y Arqueología en el sur de Iberia](http://www.tellus.us.es). lycalrom@outlook.es, rparrilla@us.es, saramaciastejada@gmail.com
- 3) Proyecto HAR2016-77789-P. lauraesparza44@gmail.com
- 4) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera, km 1, 41013 Sevilla. arancha@us.es
- 5) Laboratorio de series de uranio. Consorcio CENIEH. fernando.jimenez@cenieh.es
- 6) RNM349. Mineralogía y Geoquímica Ambiental y de la Salud, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla. gmonge@us.es

Resumen: El proyecto de investigación que se está desarrollando en cueva de La Pileta realizado en esta fase la documentación mediante sistemas digitales de las grafías prehistóricas, la caracterización de pigmentos y la datación de carbonataciones mediante el método de uranio-torio y el C¹⁴-AMS. Los datos obtenidos nos permitirán disponer de la base empírica para abordar la complejidad del yacimiento desde una perspectiva holística.

Abstract: Phase 1 of the project that is being developed in cave of La Pileta has addressed the documentation of prehistoric rock art using digital methods. In addition, we are geochemically characterizing the nature of pigments used and the dating of carbonations using the uranium-thorio method and ¹⁴C-AMS. The data obtained will allow us to have the empirical basis to approach the complexity of the deposit from a holistic perspective.

1. Introducción

La presentación más exhaustiva y completa del arte prehistórico de La Pileta se debe a Henri Breuil (Breuil *et al.*, 1915). Este autor propone dos grandes fases, una paleolítica, distribuidas en tres ciclos artísticos paleolíticos representados por otras tres coloraciones (amarillo, rojo y negro), y una segunda postpaleolítica.

Con posterioridad, cabe mencionar revisiones parciales por parte de Francisco Jordá Cerdá (Jordá, 1955) y Eduardo Ripoll Perelló (Ripoll, 1958, 1962). En la década de los años 1970, Lya y Marcel Dams trabajaron en La Pileta durante tres campañas desarrolladas en otros tantos años y publicaron diversos trabajos (Dams, 1978, Dams y Dams, 1975, 1977a-b,

1978, 1983). No obstante, el material gráfico o las lecturas de algunos paneles es bastante pobre, hecho que ha limitado mucho su uso en la historiografía posterior. Por último, en noviembre de 1985 y en el marco de su tesis doctoral, J.L. Sanchidrián Torti realiza una revisión del arte de La Pileta. Este autor ha publicado diversos trabajos sobre La Pileta (Sanchidrián, 1986, 1987, 1997, Sanchidrián y Muñoz Vivas, 1990, 1991, Medina y Sanchidrián, 2014), entre los que cabe reseñar las primeras dataciones directas mediante $^{14}\text{C}/\text{AMS}$ de pigmentos de grafismos (Sanchidrián y Valladas, 2001, Sanchidrián *et al.*, 2001, Márquez y Sanchidrián, 2003).

En el siglo XXI, pusimos en marcha una investigación integral de La Pileta de la cual hemos ido avanzando algunas novedades (Cortés y Simón, 2007, Cortés *et al.*, 2015, 2016a-b, 2019, Mayoral *et al.*, 2018).

En cuanto a los trabajos sobre la secuencia arqueológica mencionaremos los trabajos de Obermaier en la sala de las Vacas y de los Murciélagos (Breuil *et al.*, 1915) o la ampliación de ambos cortes por parte de Simeón Giménez Reyna en 1942 (1958). No obstante, ninguno de estas excavaciones ha sido presentada en detalle y de los materiales obtenidos no se conserva más que algunos de selección (*vid.* Cortés y Simón, 2007, Cortés *et al.*, 2016a-b).

En otro orden de cosas, el primer plano topográfico de la Cueva de la Pileta fue realizado por el cartógrafo Willoughby Verner en 1912, con motivo de los trabajos de H. Breuil (Breuil *et al.*, 1915). En 1932 se realiza una nueva topografía, probablemente basada en otra muy similar que se encuentra en el Archivo Temboury. Posteriormente, se realiza una topografía por parte de grupos espeleológicos participantes en el Campamento de 1971 y, años más tarde, se publica el realizado por el Grupo de Espeleólogos Marbellíes (Mayoral *et al.* 2018).

No obstante, los planos topográficos levantados hasta el momento tenían un fin meramente espeleológico y carecen de la resolución y precisión necesarias para un uso arqueológico (Mayoral *et al.*, 2018).

2. Objetivos específicos de la actividad desarrollada

Los objetivos principales de la actividad arqueológica desarrollada en La Pileta han sido los siguientes:

- Elaborar una topografía actualizada en la que poder ubicar adecuadamente los distintos vestigios gráficos paleolíticos
- Documentar mediante sistemas digitales las grafías paleolíticas.

- Estudiar aspectos técnicos, como el tipo de pigmento, técnicas de preparación de soportes y de realización.
- Articular la distribución topográfica de las grafías.
- Analizar la estructuración de las agregaciones.
- Identificar las estratigrafías gráficas.
- Identificar los paralelos estilísticos del arte paleolítico de La Pileta dentro del arte paleolítico europeo.
- Confeccionar una estratigrafía tecnoestilística.
- Elaborar una secuencia cronocultural.
- Identificar la secuencia cronoestilística del arte paleolítico presente en La Pileta.

Los trabajos de campo en La Pileta se desarrollaron entre el 5 de diciembre de 2016 y el 4 de diciembre de 2018.

3. Metodología

3.1. Topografía

La planimetría de La Pileta ha sido trazada hasta ahora siguiendo unas directrices espeleológicas, claramente insuficiente para las necesidades del registro arqueológico del presente proyecto. En este sentido, hemos abordado el levantamiento de una topografía arqueológica del cavernamiento que nos permitiera correlacionar adecuadamente las distintas zonas a prospectar y, en segundo lugar, disponer de una planimetría adecuada de la cueva antes de iniciar los trabajos de campo.

Para el levantamiento topográfico hemos recurrido a un medidor láser Disto-X310 (*Leica Geosystems*) modificado para los trabajos en La Pileta por J. Mayoral, siguiendo las instrucciones del autor del *software*, incorporando un circuito especial y una pila recargable no magnética, para mantener la precisión en los rumbos de las mediciones.

Asimismo, se ha empleado una tablet o PDA con sistema para capturar los datos tomados por el medidor mediante un sistema *Bluetooth*. La edición y revisión visual de los archivos se ha realizado mediante la aplicación *Topodroid* o *Auriga*. Los datos obtenidos se han guardado en ficheros que, posteriormente, han sido exportados al formato del programa *VisualTopo* y a *.dxf* para ser editados en los programas *Autocad* y *Adobe Illustrator*. A partir del formato vectorial se han transformado a formato de imagen, elaborando capas de dibujo en el programa *Photoshop*, que permiten dibujar los detalles de planta, alzados proyectado y desarrollado, vistas 3D, etc.

El medidor láser ha sido calibrado para obtener el mínimo error (aproximadamente +/- 1 mm cada 100 metros), mientras que para la obtención de los puntos de medición en el interior de la cavidad se ha recurrido a jalones de aluminio estabilizados y dianas reflectantes, de manera que no ha sido necesario realizar ninguna marca ni colocar ningún hito topográfico permanente en la cavidad. De esta manera, se ha evitado tener que tocar las paredes ni marcar las estaciones topográficas con los tradicionales clavos o hitos.

Además, se han empleado en las poligonales principales el sistema "de doble vuelta", para comprobar y minimizar el margen de error acumulado durante todo el recorrido. Hemos asegurado así el posicionamiento exacto de los elementos de interés y la medición de alturas y elementos normalmente inaccesibles.

En la elaboración de planos en soporte digital, una vez se han exportado los datos de las mediciones y los croquis dibujados en la tablet al formato *.dxf*, han sido analizados con extrema precisión en el programa *Autocad*, así como incorporados en forma de capas temáticas al *Adobe Illustrator* y posteriormente al *Adobe Photoshop*. De esta manera, la información ha sido agrupada en capas por zonas, con distintos atributos de color, grosores, etc., y utilizar la simbología de la UISS para la topografía espeleológica y elaborar los planos con el nivel de detalle que se requiera para ser exportados como *.PSD* o *.JPG*, entre otros formatos.

El proceso metodológico utilizado para la realización del plano 2D ha sido:

- a) Establecimiento de puntos fijos de referencia, a partir del exterior de la cavidad.
- b) Construcción de poligonales sobre estaciones móviles (trípodes no magnéticos) a partir de puntos fijos o bases de la estación total.
- c) Medición a partir de vértices de las poligonales de los datos de secciones verticales, horizontales, hitos de interés, etc. También creación de poligonales secundarias y mediciones puntuales en función de la morfología o situación ocupada.

En el caso de los pozos o las rampas de gran pendiente, así como en grandes superficies o techos distantes, hemos elaborado una sistemática específica que consiste en una construcción de mallas a partir de la toma masiva de mediciones puntuales.

- d) Exportación en formato DXF tanto de la planta como de la estructura 3D de cada sesión de *Topodroid*.
- e) Importación de los datos de planta (incluyendo dibujos realizados in situ) al programa *Adobe Illustrator*, a la capa correspondiente.
- f) Importación de los datos de estructura 3D al fichero parcial correspondiente de *Autocad*, enlazando con puntos anteriores conocidos para continuar la construcción del modelo 3D.
- g) Dibujo de los temas correspondientes a cada capa de *Illustrator*.

h) Construcción de las caras 3D en Autocad, para posteriormente convertir en una malla con textura y suavizado de cara a su utilización en animaciones, o almacenamiento de la estructura de las poligonales para el procesamiento posterior de cálculo de distancias, alturas, etc.

i) Exportación a formato JPG de las vistas elegidas en *Adobe Illustrator*, para su uso por el equipo arqueológico o para su publicación.

El equipo utilizado ha sido Medidor *Leica® DistoX2*, Estación total *Topcon GPT3000N*, *GPS Trimble R6 GNSS*, *Tablet Samsung Galaxy Tab A SM-T550*, *Apple iPad Pro*.

El *software* utilizado ha sido *Topodroid ver 2.7*, *AutoCAD® 2018*, *Adobe Illustrator CC®*, *Concepts v.4.6.2* y *Visual Topo*.

j) Hemos realizado una sesión de medición de las alturas de la Galería Principal y la Gran Sima, para la confección de un alzado proyectado E-O. Para ello, medimos 1.388 puntos en la Galería Principal, y 93 puntos en la Gran Sima, utilizando en esta última los obtenidos en sesiones anteriores y reflejados en el modelo 3D.

Utilizando el programa *Visual Topo*, elegimos la proyección más adecuada, cercana a la orientación N-S, para obtener la proyección E-O que reflejamos en el dibujo del alzado.

Para ilustrar el alzado con imágenes de la pared Oeste del mismo, realizamos 122 fotografías que montamos en un mosaico superpuesto y coincidente con los lugares correspondientes.

Los datos de alturas de los puntos medidos, tanto de poligonal como suelos, techos o paredes, están disponibles en el modelo 3D. Hemos utilizado como referencia el punto 0,0,0, que coincide con la estación 101.

La altura máxima la encontramos en la chimenea de la Gran Sima, a +64,41m, y la máxima profundidad en la Sala del Coro, a -37,62 m, lo que da un total de 102,03 m de desnivel entre ambos puntos.

El nuevo plano de La Pileta (figura 1) cuenta con más de sesenta capas temáticas para distinguir: poligonales, escaleras, barandillas, vallas, restos arqueológicos, dibujos, envolventes, puntos de control, estaciones, curvas de nivel, nombres, leyenda, simbología, etc.

Estos trabajos han ido en paralelo con la exploración arqueológica al objeto de que no afectara a restos, estructuras o depósitos arqueológicos.

3.2. Documentación gráfica del arte rupestre

El flujo de trabajo se compone de varias etapas y procesos, como la fotografía científica, el revelado digital, la mejora de imágenes, el *stitching*, los análisis estadísticos de

imagen, las operaciones matemáticas con imágenes, la segmentación y clasificación, la generación de entornos 3D y la creación de realidades aumentadas de carácter divulgativo. Esta metodología está diseñada bajo criterios totalmente objetivos, en los que la interpretación humana sólo interviene una vez se ha desarrollado todo el procesamiento informático-matemático, obteniendo datos altamente fiables.

La documentación gráfica del arte paleolítico se ha realizado mediante calcos digitales a partir de fotografías obtenidas con una cámara Nikon de 30 megapíxeles y de medio formato disponible en los Servicios Generales de Investigación (SGI) que prestan apoyo funcional e instrumental al desarrollo de la actividad investigadora y siguiendo criterios metodológicos que venimos empleando desde hace unos años (Simón et al., 2005).

En la lectura de los vestigios gráficos hemos empleado cuando ha sido necesario lupas binoculares de hasta 120 aumentos y un microscopio digital *Sony interface DFW-X 700* con apoyo de iluminación de luz fría de tipo fibra óptica. El tratamiento digital de las imágenes y la lectura tafonómica y de las técnicas de grabado se realizará mediante la observación con lupa binocular y su traslado inmediato a soporte gráfico sobre fotografía digital.

Buscando la mayor corrección en la toma de datos fotográficos, el estudio se ha centrado en cámaras de formato completo con gran profundidad de bits (Canon EOS 50D y Nikon D610), así como en la utilización de ópticas de escala media y macro (60mm 2.8, AF-S Micro 105mm 2.8, AF-S 50mm 1.4, EF 24-105mm 4.0). Toda la información obtenida emplea el formato *RAW* para su posterior revelado. Para éste se ha empleado el *software open source Darktable*.

Las imágenes digitales han sido trabajadas mediante distintos kernels u operaciones matemáticas así como con operaciones matemáticas puntuales y algebraicas (Dougherty, 2009), además de realizar operaciones de *focus stacking* en zonas de alta profundidad, *stretching* y ecualización de histograma. Los distintos resultados se evaluarán mediante la ratio señal/ruido. Estas operaciones se están llevando a cabo con el software *ImageJ*.

Mediante el uso de algoritmos de detección de imagen como SIFT (*Scale-invariant feature transformation*) se obtiene un fotomosaico de tamaño igual a la suma de todas las fotografías tomadas, gracias al solapamiento entre imágenes. Para ello se emplean *softwares* como *ImageJ*, *VisualSFM*, *CloudCompare* y *Meshlab*.

Con posterioridad se desarrollan análisis estadísticos como Componentes Principales, Correspondencia y Componentes Independientes entre otros. Las operaciones estadísticas necesarias se realizarán con los *softwares OpenCV*, *ImageJ* e *Hypercube*.

A partir de un *stitch* principal se obtienen distintas imágenes en 8 bits de profundidad. Gracias a la descomposición fotográfica en bandas RGB (*red-blue-green* o roja-verde-azul) y

HSI (*hue-saturation-intensity* o matiz-saturación-intensidad) y con el apoyo de las imágenes resultantes de los análisis estadísticos, es posible recrear una imagen en falso color en la que el objeto de interés sea visible muy por encima del fondo (González y Woods, 2003). Estas operaciones aritméticas y lógicas que usan para el correcto análisis científico del área de estudio. Estas operaciones se pueden llevar a cabo fácilmente con programas informáticos como *OpenCV* o *ImageJ*.

La segmentación y clasificación permite separar virtualmente el objeto de interés y el fondo, permitiendo una interpretación óptima. La principal utilidad de la segmentación y clasificación es la extracción virtual del pigmento y la creación de máscaras de selección y recorte que permitan el desarrollo de realidades aumentadas y su divulgación pública. Estos análisis se llevarán a cabo con *OpenCV* e *ImageJ*.

Mediante fotogrametría digital se están obteniendo modelos tridimensionales a partir de dos o más imágenes. A partir de algoritmos clave como SIFT (*Scale-invariant feature transformation*) o SURF (*Speeded-up robust features*) se generan nubes de puntos que muestran la tridimensionalidad de los objetos de estudio (Wu *et al.*, 2011).

Finalmente, la realidad aumentada y el desarrollo de videos infográficos, permitirán una transferencia de la investigación en revistas científicas y en redes sociales.

3.3. Caracterización de pigmentos

La identificación y caracterización de los pigmentos se está realizando mediante Espectroscopia Raman confocal, Espectroscopia Infrarroja, Difracción de rayos-X y Fluorescencia de rayos-X. A partir de estas técnicas de caracterización pretendemos identificar no sólo la naturaleza de los minerales usados como pigmentos sino también los agentes usados como aglutinante. En este sentido, recientes estudios han demostrado que es posible identificar la naturaleza del aglutinante mediante la combinación de espectroscopia infrarroja y raman. La espectroscopia raman confocal se ha realizado con un raman Jobin Ivon Horiba que dispone de dos láseres, uno rojo a 735nm y uno verde a 535nm.

La espectroscopia infrarroja se ha desarrollado con ayuda de un infrarrojo Jasco que dispone de un microscopio para enfocar directamente sobre la muestra la zona de interés. La difracción de rayos X se ha llevado a cabo con un difractor *PanAlytical X'Pert Pro* equipado con un detector *PixCell* y un juego de espejos parabólicos que evita la toma de muestra. La fluorescencia de rayos X se ha desarrollado con un equipo Eagle III, que enfoca a través de un microscopio, para poder determinar la composición química con precisión e intentar establecer el origen de la muestra. Todas las técnicas son completamente no destructivas.

3.4. Cronología

Se han obtenido varias decenas de muestras para la datación por Series de Uranio. El muestreo del lienzo de carbonatos en el que se encuentra el arte rupestre se realiza cuidadosamente, seleccionando la calcita a datar con medios mecánicos, desde finas hojas de bisturí hasta puntas de carburo de tungsteno, manualmente o con ayuda de microfresadora. La manipulación y obtención de las muestras se ha realizado con ayudas de guantes de látex, mascarilla y material estéril desechable.

Debido a la escasa cantidad de muestra disponible, casi siempre inferior a 10mg, y la precisión con la que se desea obtener el resultado analítico, la separación química se efectúa necesariamente en condiciones controladas de laboratorio tipo Sala Limpia (en este caso, el Laboratorio de series de uranio del CENIEH). Los métodos de separación del uranio y torio y posterior purificación, previa a la medida, implican inicialmente la adición de radiotrazadores artificiales, homogeneización, eliminación del carbonato mediante ataques ácidos, digestión de la muestra y eliminación de materia orgánica hasta obtener una disolución total y luego una separación del uranio y torio mediante el uso de resinas de intercambio iónico, casi siempre en modo columna. Existen diferentes métodos utilizados por distintos grupos de investigación, si bien los más habituales y el seleccionado para nuestro proyecto consiste en la separación con resinas de intercambio iónico sin precipitación previa del uranio y torio con hierro, y purificación con una segunda resina de intercambio aniónico (Alcaraz-Castaño *et al.* 2017, Cortés-Sánchez *et al.* 2018).

La adquisición de datos se realiza mediante espectrometría de plasma masas de multicolector MC ICP-MS a través del análisis de las proporciones entre los distintos isótopos de cada elemento analizado por separado: $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ y $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, así como la determinación de la concentración de ^{238}U y ^{232}Th mediante análisis por dilución isotópica aprovechando las relaciones entre radionúclido presente en la muestra y cantidad de radiotrazador añadido. Las ventajas del uso de esta tecnología de vanguardia está suficientemente documentada en la literatura científica (p.ej. Cheng *et al.* 2013) y es la técnica analítica de primera elección para dataciones por series de uranio, frente a otras técnicas como la espectrometría de masas de ionización térmica (TIMS) y la espectrometría alfa.

La datación de los carbonatos se basa en la resolución de la ecuación de la general de decaimiento radiactivo, cuya resolución ha de efectuarse mediante aproximación numérica o por métodos gráficos, ya que la variable a determinar (tiempo) está a los dos lados de la ecuación. Posteriormente se deben realizar correcciones a la fecha obtenida para tener en cuenta la incorporación de uranio y torio externo al sistema de datación posteriormente a la formación de la roca o de procedencia no radiogénica. Este aspecto es el considerado como

crítico para la interpretación de los resultados, con lo que puede ser conveniente explorar diferentes estrategias de medida que consoliden los datos numéricos de las medidas de las muestras, por ejemplo construcción de isócronas, modelados numéricos, validación cruzada de resultados por otras técnicas como AMS o análisis de otros isótopos naturales de las cadenas de desintegración.

La aplicación de este método en otras cavidades de Iberia está permitiendo revitalizar el debate sobre la cronología del arte rupestre paleolítico (Pike et al. 2012, Hoffmann et al. 2018).

3.5. Geoquímica y caracterización mineralógica

a) Difracción de rayos X. Para la identificación de las fases minerales, todas las muestras serán molidas y tamizadas ($< 50 \mu\text{m}$) para posteriormente ser analizadas mediante difracción de rayos X. En los difractogramas de polvo, además de la identificación de las fases cristalinas presentes, se cuantificará su contenido empleando el método de los poderes reflectantes.

Cuando sea necesario caracterizar los minerales de la arcilla se llevará a cabo el método de Agregado Orientado (AO), seguido de otros tres barridos adicionales: AO solvatado con etilenglicol, AO con tratamiento térmico y AO con dimetilsulfóxido, con idea de poder identificar correctamente las fases arcillosas presentes.

Estos ensayos se realizarán en el Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS).

b) Microscopía electrónica de barrido. Como técnica complementaria podrá utilizarse un microscopio electrónico de barrido con analizador de dispersión de energía, que permita identificar los elementos químicos que van desde el boro hasta el neptunio. Previamente a su estudio al MEB, la muestra se fijará a un portamuestras metálico, se bordeará con pintura conductora (grafito) y se recubrirá con una delgada capa de oro.

Estos ensayos se realizarán en el Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS).

c) Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier. Esta técnica por su sensibilidad en detectar constituyentes orgánicos y fases minerales poco cristalinas, permite complementar los análisis previos. Para la realización del análisis, unos pocos miligramos de muestra se pulverizan con bromuro de potasio (invisible a la luz IR) y la mezcla en polvo obtenida se

comprime dentro de un troquel, con una prensa mecánica, para formar una pastilla translúcida muy fina, que posteriormente es introducida en el espectrómetro.

Estos ensayos se realizarán en el Centro de Investigación, Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS).

3.6. Prospección arqueológica

Los trabajos de microprospección están deparando diversos hallazgos arqueológicos en superficie, entre otros los restos humanos documentados en la primera mitad del siglo XX en las salas de Gran Sima y Galerías Inferiores.

Los estudios in situ están recuperando información de gran interés para la interpretación de La Pileta durante el Paleolítico y la Prehistoria Reciente.

4. Conclusiones y perspectivas

La Cueva de La pileta constituye uno de los principales referentes en el occidente de Europa para el estudio de las manifestaciones gráficas prehistóricas.

El proyecto que venimos desarrollando ha permitido identificar el complejo kárstico de La Pileta a través de una topografía de gran resolución que será una herramienta de primer orden para el estudio y la gestión del monumento.

Los trabajos llevados a cabo en la documentación con métodos digitales de las grafías está arrojando también novedades importantes en el conocimiento de este tipo de manifestaciones gráficas. Los resultados obtenidos nos permiten dividir la cavidad en distintas zonas en función de la presencia o no de grafías prehistóricas y, en segundo término, el grado de conocimiento y estudio que tienen cada una de ellas:

- a) Ampliación de vestigios en zonas conocidas: Murciélagos, Central, Lago, Peces, Gran Pez, Cabras, Serpientes, Tortugas, Grajas, Catedral, Coro, Ciprés Nevado, y
- b) Nuevas áreas con vestigios gráficos: Vacas, Galerías Bullón, Ovas, Abismo y Gran Sima.

El estudio que hemos emprendido constituye un reto de primer orden que requerirá ingentes esfuerzos durante las próximas décadas para tener un panorama más veraz de la complejidad que supone el palimpsesto de frecuentaciones y ocupaciones prehistóricas que dejaron sus huellas a lo largo y ancho de La Pileta.

Agradecimientos

La investigación desarrollada en La Pileta ha contado con la financiación de los proyectos HAR2013-44269-P y HAR2016-77789-P del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España. Este trabajo constituye una aportación al grupo HUM-949 (Universidad de Sevilla) e ICAREHB (Universidade do Algarve, Portugal).

Los trabajos de campo han contado con todas las facilidades y apoyo de la familia Bullón, propietarios de la cavidad.

5. Referencias bibliográficas

- Alcaraz-Castaño, M., Alcolea-González, J., Kehl, M., Albert, R., Baena-Preysler, J., De Balbín-Behrmann, R., Cuartero, F., Cuenca-Bescós, G., Jiménez-Barredo, F., López-Sáez, J., Piqué, R., Rodríguez-Antón, D., Yravedra, J. y Weniger, G., (2017). A context for the last Neanderthal of interior Iberia: Los Casares cave revisited. *PloS one* 12 (7): e0180823
- Breuil, H., Obermaier, H. y Verner, W. (1915). *La Pileta à Benaoján (Málaga) (Espagne)*. Mónaco, Institute de Paléontologie Humaine.
- Cheng, H., Edwards, R.L., Shen, C.C., Polyak, V.J., Asmerom, Y., Woodhead, J., Hellstrom, J., Wang, J., Kong, X., Spötl, C., Wang, X. y Alexander, E.C. (2013). Improvements in ^{230}Th dating, ^{230}Th and ^{234}U half-life values, and U-Th isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Earth and Planetary Science Letters* 371–372 pp. 82-91.
- Cortés-Sánchez, M, Riquelme-Cantal, JA, Simón-Vallejo, MD, Parrilla Giráldez, R, Odriozola, CP, Calle Román, L, S. Carrión, J.S., Monge Gómez, G.M., Rodríguez Vidal J.R., Moyano Campos, J.J., Rico Delgado, F., Nieto Julián, J.E., Antón García, D., Martínez-Aguirre, M.A., Jiménez Barredo, F. y Cantero-Chinchilla, F.N. (2018). Pre-Solutrean rock art in southernmost Europe: Evidence from Las Ventanas Cave (Andalusia, Spain). *Plos One* 13(10): e0204651
- Cortés-Sánchez, M. y Simón-Vallejo, M.D. (2007). La Pileta (Benaoján, Málaga) cien años después. Aportaciones al conocimiento de su secuencia arqueológica. *Saguntum* 40: 45-64.
- Cortés-Sánchez, M., Simón-Vallejo, M.D., Morales-Muñiz, A., Lozano Francisco, M.C., Vera Peláez, J.L. y Odriozola Lloret, C. (2016a). La caverna iluminada: una singular lámpara gravetiense arroja luz sobre el arte parietal de la cueva de La Pileta (Benaoján, Málaga). *Trabajos de Prehistoria* 73(1): 115-127. doi: 10.3989/tp.2016.12166
- Cortés-Sánchez, M., Simón-Vallejo, M.D., Parrilla Giráldez, R. y Calle Román, L. (2015). Old panels and new readings. La Pileta and pre-Solutrean graphics in Southern Iberia, in P.

- Bueno-Ramírez y P. Bahn (eds.), *Prehistoric art as prehistoric culture. Studies in Honour of Rodrigo de Balbín Behrmann*, pp. 135-144. Archaeopress. British Archaeological Reports
- Cortés-Sánchez, M., Simón-Vallejo, M.D., Parrilla Giráldez, R., Calle Román, L., Mayoral Valsera, J., Odriozola Lloret, C., Macías Tejada, S. y Esparza Sáinz, L. (2019). La Pileta, en H. Collado Giraldo (Coord.). *Handpas. Manos del Pasado. Catálogo de representaciones de manos en el arte rupestre paleolítico de la península ibérica*, pp. 477-490. Consejería de Cultura e Igualdad de la Junta de Extremadura con el apoyo del Programa CREATIVA 2014-2016 de la Comisión Europea.
- Cortés-Sánchez, M., Simón-Vallejo, M.D., Martínez Sánchez, R.M., García Borja, P., Bretones García, M.D., Ruiz Borrega, M.P., Rubia de Gracia, J.J. de la y Parrilla Giráldez, R. (2016b). El Neolítico en la cueva de la Pileta (Benaoján, Málaga). *Archivo de Prehistoria Levantina*, XXXI: 119-136.
- Dams, L. (1978). *L'art paléolithique de la caverne de la Pileta*. Graz, Akademische Druck.
- Dams M. y Dams L. (1975). Considerations sur le figurations paléolithiques de la caverne de la Pileta (Málaga) por rapport à leur localisation topographique. *Bulletin de la société Préhistorique de l'Ariège*, tome XXX: 39-92.
- Dams M. y Dams L. (1977a). Iconographie complémentaire de la caverne de la Pileta et considération sur la Cueva de las Vacas et le réseau de las Grajas (Málaga). *Bulletin de la société Préhistorique de l'Ariège*, tome XXXII: 67-83.
- Dams M. y Dams L. (1977b). L'art de la Cueva de la Pileta essai sur l'école d'art paléolithique méditerranéenne. *Travaux de l'Institut d'Archeologie Préhistorique de l'Université de Toulouse*, XIX: 39-92.
- Dams, L. y Dams, M. (1983). Quelques considérations sur l'Art Rupestre Schématique d'Andalousie. *Zephyrus*, XXXVI: 187-192.
- Dougherty, G. (2009). *Digital Image Processing for Medical Applications*. Cambridge Press, Cambridge.
- González, R. C. y Woods, L. (2008). *Digital Image Processing*. 3rd edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Hoffmann, D. L., Stish, C. D., García-Diez, M., Pettitt, P.B., Milton, J.A., Zilhão, J., Alcolea-González, J.J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G. C., Pike, A.W.G. (2018). U-Th dating of carbonate crusts reveals Neanderthal origin of Iberian cave art. *Science* 359, (6378) pp 912-915
- Jordá Cerdá, F. (1955). Sobre la Edad Solutrense de algunas pinturas de la Cueva de la Pileta. *Zephyrus* VI: 131-143.

- Giménez Reyna, S. (1958). *La Cueva de la Pileta*. Caja de Ahorros. Provincial de Málaga.
- Márquez Alcántara, A. y Sanchidrián Torti, J.L. (2003). Radiodataciones y sus repercusiones en el arte prehistórico malagueño. *Mainake* 25: 275-292.
- Mayoral Valsera, J., Cortés Sánchez, M., Simón Vallejo, M. D. y Gavilán Zaldúa, M. (2018). Sistema híbrido de topografía espeleológica. Su aplicación en la nueva topografía de la cueva de La Pileta. *III Simposio Andaluz de Topografía Espeleológica*, pp. 77-83, Málaga, Federación Andaluza de Espeleología
- Medina-Alcaide, M.A. y Sanchidrián Torti, J.L. (2014). Los signos integrados de Pileta-E: análisis a diferentes profundidades de campo, En M.A. Medina-Alcaide, A.J. Romero Alonso, R.M. Ruiz-Márquez y J.L. Sanchidrián Torti (coord.), *Sobre rocas y huesos: las sociedades prehistóricas y sus manifestaciones plásticas*, pp. 116-129. Córdoba.
- Pike, A.W.G., Hoffmann, D.L., García-Díez, M., Pettitt P.B., Alcolea, J., de Balbín, R., González Sainz, C., Heras C. de las, Lasheras, J.A., Montes, R., Zilhão, J. (2012). U-series dating of Paleolithic art in 11 caves in Spain. *Science* 336 (6087):1409-1413.
- Ripoll Perelló, E. (1958). Antropomorfo del "santuario" de la cueva de la Pileta. En: Las representaciones antropomorfas en el arte paleolítico español. *Ampúries* 19-20: 167-192.
- Ripoll Perelló E. (1962). La cronología relativa del santuario de la Cueva de la Pileta y el arte solutrense. En: *Homenaje al profesor Cayetano de Mergelina*, pp. 739-752. Murcia, Universidad de Murcia.
- Sanchidrián Torti, J.L. (1986). La Cueva de la Pileta, hoy. *Revista de Arqueología* 66: 36-44.
- Sanchidrián Torti, J.L. (1987). Informe sobre la documentación de las manifestaciones parietales prehistóricas de la Cueva de La Pileta (Benaoján, Málaga), 1985. *Anuario Arqueológico de Andalucía/1985. II. Actividades Puntuales*, pp. 455-459.
- Sanchidrián Torti J.L. (1997). Propuesta de la secuencia figurativa en la Cueva de la Pileta, en Fullola J.M. y Soler, N. (eds.), *El Món mediterrani després del Pleniglacial (18000-12000 BP)*, p. 411-430. Gerona, Instituto de Estudios Gerundenses.
- Sanchidrián Torti, J.L., Márquez Alcántara, A.M., Valladas, H. y Tisnerat, N. (2001). Direct dates for Andalusian rock art (Spain). *International Newsletter on Rock Art* 29: 15-19.
- Sanchidrián Torti, J.L. y Muñoz Vivas V.E. (1990). Cuestiones sobre las manifestaciones parietales post-paleolíticas en la Cueva de la Pileta. *Zephyrus*, XLIII: 151-164.
- Sanchidrián Torti, J.L. y Muñoz Vivas V.E. (1991). Cueva de la Pileta. Arte rupestre post-paleolítico. *Revista de Arqueología* 117: 10-18.
- Sanchidrián, J.L. y Valladas H. (2001). Dataciones numéricas del arte rupestre de la cueva de La Pileta (Málaga, Andalucía). *Panel 1*: 104-105.
- Simón Vallejo, M.D., Cortés Sánchez, M., Finlayson, J.C., Giles Pacheco, F., Santiago Pérez, A., Gutiérrez López, J.M. y Rodríguez Vidal, J. (2005). G.I.R.A. project. Prospección y

estudio de las manifestaciones artísticas prehistóricas de Gibraltar, en: M.S. Hernández Pérez y J.A. Soler Díaz (eds.), *Actas del Congreso de Arte Rupestre en la España mediterránea*, 277-284. Alicante, MARQ.

Wu, C., Agarwal, S., Curless, B. y Seitz, S. (2001). Multicore Bundle Adjustment. *Proceedings IEEE Conferences on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3057-3064.

Borrador / Preprint

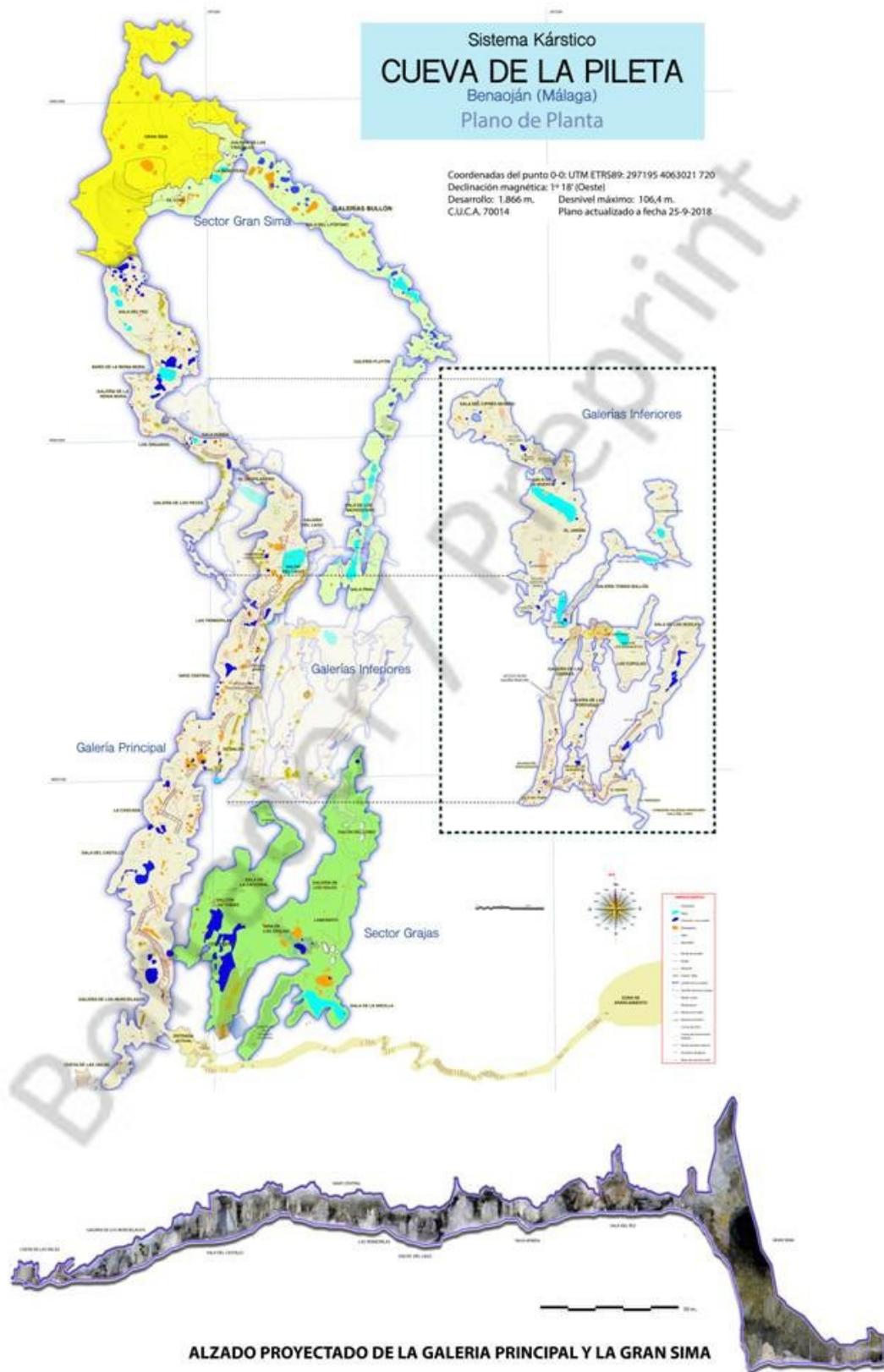


Figura 1. Planta de cueva de La Pileta