

# ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA

## 2021

BORRADOR / DOCUMENTO PRE-PRINT

## La Pileta (Benaoján, Málaga). Revisión del arte rupestre prehistórico

Miguel Cortés Sánchez<sup>1,2,3</sup>, María D. Simón Vallejo<sup>1,2,3</sup>, Rubén Parrilla Giráldez<sup>2,3</sup>, Sara Macías Tejada<sup>2,3</sup>, Lydia Calle Román<sup>2,3</sup>, Carlos Odriozola Lloret<sup>1,2</sup>, Inmaculada López Flores<sup>3</sup>, Juan Mayoral Valsera<sup>3,6</sup>, Miguel López Cano<sup>6</sup>, José Rodríguez Morillo<sup>6</sup>, Alejandro Téllez Gottardi<sup>7</sup>, Fco. Javier Vázquez Ríos<sup>7</sup> y Alejandro Téllez Gómez<sup>7</sup>

- 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](mailto:mcortes@us.es). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9093-3338>; Scopus Author ID: 24079481300; [msimon@us.es](mailto:msimon@us.es), <http://orcid.org/0000-0002-6885-1464>; [codriozola@us.es](mailto:codriozola@us.es)
- 2) Grupo HUM-949. Tellus. Prehistoria y Arqueología en el sur de Iberia. [lycalrom@outlook.es](mailto:lycalrom@outlook.es), [rparrilla@us.es](mailto:rparrilla@us.es), [saramaciastejada@gmail.com](mailto:saramaciastejada@gmail.com)
- 3) Proyecto HAR2016-77789-P. [lauraesparza44@gmail.com](mailto:lauraesparza44@gmail.com)
- 4) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma, Universidad de Sevilla, Ctra. Utrera, km 1, 41013 Sevilla. [arancha@us.es](mailto:arancha@us.es)
- 5) Laboratorio de series de uranio. Consorcio CENIEH. [fernando.jimenez@cenieh.es](mailto:fernando.jimenez@cenieh.es)
- 6) Grupo Plutón
- 7) Sección Espeleológica Marbellí

Resumen: En la segunda fase del proyecto de investigación se está procediendo a la revisión integral del sistema kárstico La Pileta, tanto los paneles ya conocidos como áreas que aparentemente no disponían de interés arqueológico. Los resultados pueden considerarse de gran interés, por cuanto la documentación de los paneles conocidos está permitiendo un registro más ajustado de las grafías conservadas y la ampliación de zonas con frecuentación prehistórica y vestigios artísticos hasta ahora desconocidos La documentación mediante sistemas digitales de las grafías prehistóricas, la caracterización de pigmentos y la datación de directa e indirecta de ellas (método de Uranio-Torio y C<sup>14</sup>-AMS) están permitiendo ubicar con mayor precisión la secuencia gráfica de La Pileta. Los datos obtenidos nos permitirán disponer de la base empírica para abordar la complejidad del yacimiento desde una perspectiva holística.

Abstract: In the second phase of the research project, the La Pileta karst system is undergoing a comprehensive review, both known panels and of areas that apparently had no archaeological interest. The results can be considered of great interest, as the documentation of the known panels is allowing a more accurate record of the preserved graphics and the expansion of areas with prehistoric frequentation and artistic remains hitherto unknown. The documentation of the prehistoric graphics using digital systems, the characterization of pigments and the direct and indirect dating of them (uranium-thorium and C<sup>14</sup>-AMS method)

are allowing the graphic sequence of La Pileta to be located with greater precision. The data obtained will provide us with the empirical basis for approaching the complexity of the site 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, 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, Sanchidrián *et al.*, 2001, 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, Simón *et al.*, 2021).

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

desarrollados en la campaña de 1912 (Breuil et al., 1915). En 1932 se realiza una nueva topografía, probablemente basada en otra muy similar que se encuentra en el Archivo Temboury. Más tarde, se realiza uno levantamiento topográfico 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 graffías paleolíticas.
- Estudiar aspectos técnicos, como el tipo de pigmento, técnicas de preparación de soportes y de realización.
- Articular la distribución topográfica de las graffías.
- 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 junio de 2019 y junio de 2020.

## **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. El levantamiento topográfico se ha realizado con ayuda de un medidor láser Disto-X310 (*Leica Geosystems*) modificado para los trabajos en La Pileta. 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. 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.

En este periodo hemos seguido mejorando el plano de la cavidad, no sólo al sumar nuevas capas temáticas sino al incorporar al sistema de medición nuevos trípodes no magnéticos o plegables, lo que ha sido muy útil para su uso en lugares de difícil acceso vetados al transporte de trípodes rígidos.

Toda la topografía de La Pileta se basa en una red de estaciones fijas en el suelo de las zonas de paso de la visita turística un tornillo de acero de 1 mm de diámetro con la cabeza pintada de amarillo para hacer más clara su localización. Estas nos han permitido obtener las coordenadas de una serie de puntos de interés que conforman una poligonal principal de precisión por el uso de la Estación Total. Estos puntos han servido para fijar un origen preciso de una serie de mediciones secundarias (secciones verticales, planos de detalle, alzados, etc.) y se pueden utilizar en el futuro al ser reutilizables. Estas estaciones principales forman una poligonal cerrada que empieza junto a la boca de Murciélagos (junto a la caseta de la entrada) y se une con la del exterior justamente en un punto de la boca de Grajas (Sima de los

Murciélagos), lo que permite fijar con precisión la orientación del resto de la poligonal interior de la cavidad, hasta la Sala del Pez. Hasta el momento hemos establecido estaciones con este procedimiento hasta la Galería de las Tortugas, la cabecera de la Gran Sima, y el Balcón de Tomás. El resto de la cavidad ha sido topografiado únicamente con el DistoX2 y el sistema clásico de Topodroid.

Los resultados de los trabajos de medición con la Estación Total han fijado las siguientes coordenadas UTM de los puntos principales. Consignamos:

Número de punto

Coordenadas UTM ETRS84

Zona cercana / entorno

Mediante este sistema será posible en un futuro inmediato correlacionar cualquier punto de la cavidad y para cualquier aproximación científica o de gestión a través de un sistema de control tridimensional

Por otra parte, la necesidad de referenciar espacialmente distintos motivos arqueológicos nos ha llevado a elaborar una serie de pequeños planos de detalle , sobre todo secciones transversales o longitudinales en determinadas galerías (Cabras, Bajada del Rinoceronte), que han sido utilizadas en publicaciones específicas.

La complejidad morfológica de algunas partes de la cavidad (zonas laberínticas, caos de bloques, superposición de galerías) hace que nos replanteemos una metodología distinta para confeccionar las capas temáticas específicamente destinadas al trabajo arqueológico, elaborando dibujos a partir de mediciones ad hoc, pues la metodología clásica espeleológica de representar una cavidad no satisface las necesidades del trabajo arqueológico. En lugar de representar exclusivamente el volumen de cavernamiento y los espeleotemas, hemos empezado a medir para representar las zonas de paneles o motivos arqueológicos, considerando de mayor interés aquellas alturas compatibles con el acceso y labor de los ocupantes prehistóricos de la cavidad.

En este periodo hemos ido incorporando al plano de la cavidad nuevas zonas que aún están siendo exploradas, pero respetando los ciclos de hibernación y cría de los murciélagos. Se ha topografiado la zona final de la Galería Bullón, esto es, la Galería Plutón, que según la espeleometría se encuentra a pocos metros bajo el fondo del Pozo del Lago.

Otra de las actividades que han ampliado la topografía de la cavidad han sido pequeñas escaladas para conocer algunas “chimeneas” o zonas altas de diversas galerías, así como la bajada y exploración del Pozo del Lago, que está siendo documentado debidamente.

Parte de las visitas realizadas en este periodo se han utilizado para revisar y reinstalar los puntos de anclaje espeleológico. En una cavidad con más de cien metros de desnivel y pasos técnicamente complicados, es inevitable colocar cuerdas fijas o temporales para progresar con seguridad. Por ello, hemos mejorado las cabeceras de acceso a los pozos y reemplazado los anclajes deteriorados por otros nuevos y de mayor durabilidad, así como las cuerdas fijas existentes en tres puntos de sistema kárstico.

En este periodo hemos contado con la ayuda inestimable de los compañeros de la Sección Espeleológica Marbellí y del Grupo Plutón, que han aportado equipos de exploración y topografía, así como expertos escaladores que permitieron conocer la Galería del Palco (en la Sala del Coro), la conexión de Grajas con la Sala de la Cata, etc.

El nuevo plano de La Pileta 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

Para el análisis y estudio de los pigmentos se está empleando un espectrómetro VIS-NIR-SWIR, modelo ASD TerraSpec Halo. Esta técnica permite obtener una primera identificación y caracterización mineralógica de forma inmediata de los pigmentos, logrando así una mayor comprensión global de la secuencia cronoestilística del yacimiento.

Con ello, se puede observar también si existen diferencias en las recetas pictóricas empleadas dependiendo del momento histórico. Es decir, se pueden analizar si se encuentran cambios sustanciales en la composición de las pinturas dependiendo de la cronología, reflejándose, por ejemplo, en colores predominantes o característicos en determinados periodos.

Esta técnica, combinada con otras como Espectroscopia Raman confocal, Espectroscopia Infrarroja, Difracción de rayos-X y Fluorescencia de rayos-X, permitirán obtener la receta completa empleada para elaborar las pinturas, es decir, conocer tanto la composición del pigmento como el aglutinante empleado.

A su vez, este tipo de análisis, mediante el cotejado de los resultados obtenidos con bases de datos geológicas, permite conocer también la procedencia de las materias primas empleadas en las pinturas rupestres. De esta forma, se puede estudiar, por ejemplo, si estas personas tuvieron que desplazarse o no para la obtención de los recursos necesarios empleados en elaboración de dichas representaciones.

### 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-Sanchez *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  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  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 han permitido documentar diversos indicios relacionados con la frecuentación prehistórica de La Pileta y que se conservaban en superficie (carbones, algunos artefactos, residuos de pigmentos, etc.). Así mismo estamos documentando exhaustivamente diversos restos detectados durante la primera mitad del siglo XX en diversas salas.

Estos indicios y vestigios nos están permitiendo abordar el contexto interno de la cavidad y está permitiendo recuperar información de gran interés para la interpretación de La Pileta durante el Paleolítico y la Prehistoria Reciente.

## 4. Conclusiones y perspectivas

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 están 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 y del US-1264079/I+D+i FEDER Andalucía 2014-2020. 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  $^{230}\text{Th}$  dating,  $^{230}\text{Th}$  and  $^{234}\text{U}$  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.
- Giménez Reyna, S. (1958). *La Cueva de la Pileta*. Caja de Ahorros. Provincial de Málaga.
- Hoffmann, D. L., Stish, C. D., García-Díez, 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.
- Márquez Alcántara, A. y Sanchidrián Torti, J.L. (2003). Radiodatasiones 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 arteolutrense. 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 (Benaolán, 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.
- Simón Vallejo, M.D., Parrilla Giráldez, R., Macías Tejada, S., Calle Román, L., Mayoral Valseira, J., Cortés-Sánchez, M. (2021). Cueva de La Pileta y las representaciones de manos en el arte paleolítico del sur de Iberia, en Manuel Bea, Rafael Domingo, Carlos Mazo, Lourdes Montes y José María Rodanés (eds.), “*De la mano de la Prehistoria. Homenaje a la profesora Pilar Utrilla Miranda*”, pp. 97-108
- 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.