

ANUARIO ARQUEOLÓGICO DE ANDALUCÍA

2010

BORRADOR / DOCUMENTO PRE-PRINT

Actividad Arqueológica Puntual de Análisis con Técnicas de Teledetección de las Colonias de Microflora de Origen Antrópico y las Manifestaciones de Pinturas Rupestres de Cuevas del Cantal (Rincón de la Victoria, Málaga)

M^a. del Mar Bañares España, Miguel J. Crespo Santiago, Álvaro Aguirre Cobos, Cristina Chacón Mohedano, Rafael Conde Álvarez, Elena Bañares España, Antonio Flores Moya

Resumen: Este documento es el resumen de los resultados de la actividad arqueológica puntual denominada "Análisis con Técnicas de Teledetección de las Colonias de Microflora de Origen Antrópico y las Manifestaciones de Pinturas Rupestres de Cuevas del Cantal".

Abstract: This document summarizes the results of archaeological activity spot called "Technical Analysis with Remote Sensing of the Colonies of anthropogenic Microflora and the Rock Art of Cantal Cave".

1. Introducción.

Esta actividad arqueológica se desarrolló por petición del OAL Cueva del Tesoro y del Cantal a la empresa Taller de Investigaciones Arqueológicas, S.L. con la finalidad de evaluar la evolución de las colonias de microflora de origen antrópico y su impacto sobre las pinturas rupestres conocidas en Cueva del Higuero y la Victoria de Rincón de la Victoria (Málaga).

La motivación de la Administración Pública para promover este proyecto se sitúa en su preocupación por determinar el impacto que tiene sobre el BIC Cuevas del Cantal la presencia de colonias de microflora en las paredes de Cueva del Tesoro y evaluar su impacto

sobre las pinturas rupestres. La presencia de una gran cantidad de colonias de microflora y su cercanía a algunas pinturas rupestres, mueve a la Administración Pública a plantearse la posibilidad de desarrollar proyectos de conservación. Para ello necesita tener un primer informe de evaluación del estado actual para determinar las bases de futuras actuaciones. En esta línea de primer estudio pormenorizado del impacto de las colonias de microflora se justifica este proyecto arqueológico.

Para ello se va a realizar un proyecto arqueológico de I+D+i como única línea científica no destructiva que puede determinar resultados avanzados y contrastados.

Este proyecto, promovido por el Ayuntamiento de Rincón de la Victoria, ha contado con la colaboración de la Obra Social de Caixa Catalunya a través de su programa de mecenazgo Cultural del año 2009. Este proyecto cuenta con miembros del área de Botánica del departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga.

Se solicitó realizar una Actividad Arqueológica Puntual bajo la modalidad de Estudio y Documentación Gráfica de Yacimiento Arqueológico, regulado por los artículos 2.f y 5.1.b del Reglamento de Actividades Arqueológicas de Andalucía aprobado por el Decreto 168/2003, de 17 de junio. En dicho reglamento se entiende el tipo de actividad propuesta como la actividad “que, no estando impuesta por una norma, se considere necesario por la Consejería de Cultura que deba ejecutarse por razones de metodología, de interés científico o de protección del patrimonio arqueológico” (art. 5.1.b), y entendiendo la modalidad de estudio y documentación gráfica de yacimiento arqueológico, como la modalidad que incluye el estudio y análisis sin ningún tipo de excavación, prospección y reproducción de arte rupestre, elementos que no entran en los objetivos de este proyecto (art. 2.f).

La Cueva del Tesoro/Higuerón y de la Victoria es un Bien Inmueble declarado BIC por ministerio de la Ley 16/1985, de 25 de junio, cuya delimitación de su perímetro fue aprobado por Decreto 92/2002, de 28 de febrero, e incluido dentro del Registro General de

Bienes de Interés Cultural y del Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz con la categoría de Zona Arqueológica. La declaración de BIC incluye las cuevas de Higuierón y de la Victoria.

El área de estudio está dividida en tres partes, dos correspondientes a Cueva del Tesoro/Higuierón y la tercera a Cueva de la Victoria. De las dos partes de Cueva del Tesoro/Higuierón se han separado las galerías turísticas de las galerías no turísticas dada la presencia de luz en la primera y ausencia en la segunda. En relación a los nombres de las salas se han mantenido los nombres por los que se conoce cada galería. En relación a la numeración de los paneles se ha mantenido la última numeración publicada de los mismos con el fin de relacionar los datos.

2. Objetivos y Metodología.

El objetivo principal de la actividad arqueológica ha sido realizar un análisis de estudio de patologías en las propias manifestaciones y del interior del medio kárstico de las Cuevas del Higuierón-Tesoro y de la Victoria. Este análisis es una diagnosis de la afección de las colonias de microflora de origen antrópico, comúnmente llamada “mal verde”, sobre las pinturas rupestres y en las paredes kársticas y espeleotemas. Este objetivo principal se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar el estado de las colonias de microflora de origen antrópico.

Por medio de fotografía multiespectral se ha obtenido una batería de fotografía digital que ha permitido, en el laboratorio, observar el estado de las colonias a través de distintos índices, como el de vegetación, hallados por la técnica de Teledetección y elaborar un mapa de dispersión de las mismas. Los índices multiespectrales han permitido conocer el grado de desarrollo de las colonias y su afección sobre las pinturas y manifestaciones rupestres.

2. Determinar el grupo taxonómico al que pertenecen las colonias de microflora de origen antrópico.

Se han tomado muestras aleatorias de varias colonias de microflora para determinar el grupo taxonómico a nivel de familia de dichos microorganismos. Dichas muestras se han tomado en lugares alejados a las pinturas rupestres y han sido tratadas en el laboratorio de la Universidad de Málaga para determinar si se trata de colonias de musgos, algas, líquenes, cianobacterias, etc.

3. Diagnosticar la afección de las colonias de microflora de origen antrópico sobre las pinturas rupestres.

A través de un SIG con los resultados de la Teledetección y ubicación espacial de los distintos agentes y factores, se ha podido evaluar la afección de las colonias de microflora sobre las pinturas rupestres y sobre las paredes del medio kárstico. Conociendo la existencia o no de colonias o microcolonias en los paneles artísticos, su entorno inmediato y en el resto de elementos geológicos de la Cueva.

4. Reportaje fotográfico para realizar el estudio con técnicas de Teledetección.

Para ello se han tomado fotografías digitales sin contacto directo sobre las pinturas rupestres en diversos lugares. No sólo se han fotografiado los paneles de pinturas rupestres, sino también otras zonas de colonias de microflora (donde no hay pintura) existente en las paredes y espeleotemas de las cavidades subterráneas

La actividad arqueológica está dividida en tres fases que a continuación se especifican con la correspondiente metodología.

La primera fase de la actividad ha correspondido a los de trabajos de campo. En esta fase se han realizado las siguientes actuaciones: Toma de fotografías digitales y Toma de muestras biológicas de las colonias de microflora.

Las tomas de fotografía se han realizado con una cámara fotográfica multiespectral digital, asistida con una escala IFRAO, con el fin de captar los espectros azul (450-520 nm),

verde (530-610 nm), rojo (630-690 nm) e infrarrojo cercano (780-900 nm). Estas fotografías digitales han servido para realizar el análisis con técnicas de teledetección (TD).

Las tomas de muestras biológicas, realizadas por biólogos de la UMA, se han ejecutado en colonias de microflora alejadas de las pinturas rupestres con el fin de protegerlas. Las tomas de muestras se han realizado con un bisturí que raspó una pequeña porción de la colonia de microflora y fue depositada en un tubo de ensaño cerrado.

Durante la fase de campo se han tomado mediciones de temperatura, humedad relativa y luz a distintas horas y en distintos lugares por medio de un termohidrógrafo portátil con el fin de conocer las condiciones climáticas del estudio.

La segunda fase del proyecto ha correspondido a los trabajos de laboratorio. En el laboratorio biológico de la UMA se ha determinado, por medio del microscopio óptico, el organismo que origina las colonias de las que se han tomado las muestras. En el laboratorio arqueológico se ha realizado el análisis y tratamiento de las fotografías tomadas en el interior de la Cueva y análisis del clima; los análisis han sido realizados con técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica a través de software especializado.

Para el análisis con técnicas de Teledetección se ha empleado el Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI). Se justifica este test como la prueba más idónea para alcanzar los objetivos fijados en este proyecto porque la relación entre las bandas Infrarroja cercana y roja del espectro visible constituyen un test de comprobación del vigor de la vegetación o por el contrario, su débil vitalidad o su marchitez.

La tercera fase del proyecto ha correspondido a la redacción de la presente memoria arqueológica.

Se han realizado los siguientes análisis en la fase de laboratorio para el estudio del impacto de las colonias de microflora: Análisis climático: Temperatura, humedad relativa y luz. Análisis con técnicas de Teledetección (TD): Índice diferencial de vegetación

normalizado (NDVI). Sistema de Información Geográfica: Análisis espacial. Estadística Aplicada: Coeficiente de correlación de Pearson y Recta de regresión.

3. Resultados.

En relación a los resultados obtenidos y observados se pueden llegar a las siguientes conclusiones en relación a las galerías turísticas de Cueva del Tesoro:

En primer lugar, las bombillas actuales, de bajo consumo, son consideradas de luz fría y la mayoría emite menos luminosidad que las bombillas de Cueva de la Victoria. Lo positivo de estas lámparas de luz fría es la baja temperatura que aporta a la Cueva, en un radio inferior a 20 cm., junto con su ahorro energético. Las bombillas actuales están ubicadas en puntos de luz antiguos, donde se pueden ver restos de la primigenia instalación de luminaria en la Cueva, la cual data de las décadas de los años 70-80 del s. XX, cuando se realizó la primera instalación de luminaria con luz cálida. Es de destacar que los reducidos puntos de luz actuales y la potencia de las lámparas no favorecen una elevada iluminación ambiental, favoreciendo de esta manera la conservación del BIC.

En relación a la luminosidad actual de la Cueva se observan que la iluminación media de las salas está debajo de los 5 luxes. Esta luminosidad se considera óptima para la conservación de pigmentos artísticos de las pinturas rupestres dado que los elementos arqueológicos más frágiles deben estar iluminados por debajo de los 50 lux. Observamos que las colonias de cianobacterias se desarrollan con valores muy bajos de luminosidad, por lo que no se aconseja superar la iluminación actual de la sala para evitar el desarrollo de las colonias. Sólo dos pinturas se ven iluminadas por la luz ambiental, el Caballo y el Pez, quedando el resto de los motivos artísticos paleolíticos preservados de la luz; el Caballo al apagar los dos puntos de luz que tiene a su lado pierde considerablemente dicha iluminación ambiental, en cambio, el Pez requiere un seguimiento periódico al tener presencia de agua e

iluminación ambiental de 2,5 lux., a este motivo pictórico no se le puede proteger de ninguna forma.

La formación de las colonias de microflora se tuvo que iniciar con la primera instalación eléctrica de la Cueva por los siguientes motivos: el primer y fundamental motivo es su ubicación inadecuada, al estar a escasa distancia de las paredes kársticas, ubicadas junto a corrientes de agua kárstica y no poseer cristal de protección; en los primeros años de iluminación de la cueva se instaló luz cálida de las que se observa la presencia de bombillas antiguas, actualmente apagadas pero que en su día fomentaron la germinación de las cianobacterias y los musgos; las bombillas actuales están en zonas reutilizadas; en segundo lugar las dos bombillas en el “Águila”, que conservan una colonia muy próxima al Caballo, han generado una colonia muy amplia la cual ha necesitado una exposición a la luz prolongada en el tiempo; el tercer motivo es el gran tamaño que presentan estas colonias; y el cuarto motivo es la localización de la zona vital de la colonia por medio de NDVI, donde se observan algunas áreas marchitas más alejadas del punto de luz (como un caso en Sala del Águila y otro en Noctiluca), indicativo de que la luminaria actual no favorece la vitalidad de toda la colonia, con signos de marchitez de las zonas alejadas.

Se observa, por los análisis de NDVI, que las colonias de microflora gozan de buena salud, en los que hay diferencia entre las colonias que reciben el agua por humedad de la roca o por corrientes continuas. Las colonias del primer caso presentan, por humedad de la roca, pequeñas zonas con mayor vigor, fomentado por la distancia de la bombilla y la menor luminosidad ambiental; algunas colonias presentan áreas marchitas en zonas más alejadas pero gozan de buena vitalidad en radios próximos al punto de luz. En cambio, en el segundo caso, por corrientes continuas, la gran parte de la colonia goza de buen estado de salud. Las colonias se localizan en un radio medio de dos metros del punto de luz y llegan a sobrevivir

con 3 lux. Muchas de estas corrientes continuas pertenecen a la dinámica kárstica propia de la Cueva.

El agua de las rocas, aportadas por los procesos de karstificación, es inherente al medio subterráneo, por lo que al igual que la humedad relativa no son parámetros modificables. Por ello, el margen de trabajo sólo se queda en el cambio de ubicación de los puntos de luz, los cuales serán idóneos localizados en el camino turístico, en el suelo.

En relación a los microorganismos se han encontrado dos especies de Briófitos, algas verdes tanto unicelulares como filamentosas, especies de cianobacterias como Gloeocapsa, Microcystis, y otras cuantas. La determinación es complicada y precisa el establecimiento de cultivos para poder realizarla. En eso estamos ahora estableciendo los cultivos para proceder a su determinación.

Con respecto a los requerimientos de humedad, irradiancia y temperatura, las cianobacterias presentan unos requerimientos mínimos ya que son capaces de sobrevivir y crecer a irradiancias inferiores a 1 micromol de fotones $m^{-2} s^{-1}$ (< 74 luxes). En el resto de los organismos se produce una graduación en los requerimientos lumínicos siendo los briófitos los más exigentes, por ello son los que encontramos siempre más cerca del foco lumínico. En cuanto a los requerimientos de humedad y temperatura necesarios van a ser dependientes de cada especie llegando a establecerse unas especies u otras dependiendo del grado de humedad que encuentren. En el caso de la cueva, dado que dichos parámetros (temperatura y humedad) no podemos modificarlos los requerimientos de las especies en estos casos no tienen repercusión. Las especies están ahí porque pueden vivir en las condiciones de temperatura y humedad que hay en la cueva... pero sobre todo por la presencia de la irradiancia suficiente.

El estudio se ha hecho en el mes de febrero, con bastante presencia de agua. Este estudio ha servido para detectar la patología y determinar el impacto. La alta presencia de colonias debe ser observada en distintas estaciones para observar su evolución y desarrollo.

En relación al microclima endokárstico observamos que hay indicios para pensar que el sistema de refrigeración de la Cueva le permite no acumular niveles de temperatura ni humedad relativa de días anteriores. Con valores bien correlacionados se ha comprobado que tras todo el día con las luces encendidas y presencia de visitas la cueva vuelve a sus niveles iniciales tras pasar la noche. De igual manera también se observa que la luz no altera los niveles de temperatura por sí sola sino que necesita de la temperatura de la roca por el día y la presencia de turistas. Si bien estos datos son parciales y deben contrastarse con la instalación de sensores fijos que realicen mediciones cada hora en diversos puntos para comprobarlo. Tanto Cueva del Tesoro como Cueva de la Victoria no poseen sensores ambientales, los cuales son fundamentales para la conservación preventiva del BIC y la preservación de las manifestaciones artísticas.

La temperatura matinal de Cueva del Tesoro, en invierno y días de lluvia, se sitúa en un media de $17,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa en $77,5\% \pm 10\%$. Al final del día la media de temperatura asciende a $20,6^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa en $80,3\% \pm 6\%$. Considerando que los parámetros óptimos para la conservación de las pinturas rupestres está en $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura podemos ver que la Cueva se sitúa dentro de los parámetros normales. Siempre que se mantenga la temperatura en su umbral óptimo, el punto de rocío de la humedad relativa es bajo, por lo que compensa cualquier subida de humedad.

□□ - 變 ↓ 劇 卍 杏 8 滄 斃 é 晃 los parámetros estudiados y análisis realizados, tres niveles de riesgo en las salas turísticas de Cueva del Tesoro: alto, moderado y bajo. En este estudio no se trabajó con el CO_2 (que deben ser inferior a 0,10%-0,15%), por lo que los riesgos inherentes en este gas no están contemplados.

En lo que respecta a los riesgos de nivel alto están:

- Las dos bombillas localizadas en la parte superior del “Águila” y que iluminan dicha escultura turística. Estas bombillas mantienen una gran colonia de microflora mencionada abajo.
- Bordeando al panel artístico del Caballo en la Sala del Águila, se localiza una gran colonia de microflora a escasos centímetros de la pintura aunque sin llegar a afectarlo de manera directa. Aunque dentro del panel no se ha encontrado presencia de la colonia, las esporas ambientales están a su alrededor, por lo que el riesgo lo determina la cercanía.
- Las siguientes bombillas que superan los 5.000 lux. y alimentan colonias de microflora con corrientes de agua. Éstas no suponen un riesgo sobre manifestaciones artísticas paleolíticas, pero al mantener colonias con gran vitalidad deben ser las primeras a cambiar. Estos puntos son: en Sala del Águila AG02 (26.000 lux), AG04 (20.000 lux) y AG01 (15.500 lux).

En relación a los riesgos de nivel moderado están todas aquellas colonias que superan los 30 cm² y presentan una vitalidad superior a 0,2 del índice de NDVI en más de 10 cm². Estas localizaciones son la gran mayoría de las colonias, las cuales pueden ser tratadas con diferentes métodos y al estar alejadas de las manifestaciones pictóricas no presentan problemas sus soluciones. Están incluidas en este nivel todas las colonias de la Sala del Águila, que sin llegar a afectar a las pinturas paleolíticas, se encuentran en una sala con manifestaciones artísticas y las esporas están en el ambiente. En relación a las bombillas que superan los 5.000 lux se incluye en este nivel las siguientes: en la Sala de Marco Craso está MC01 (27.300 lux) y MC06 (12.000 lux), en Sala de Noctiluca MO01 (24.500 lux) y en la Sala de los Lagos EL02 (13.000 lux), TL01 (9.000 lux) y LG01 (5.340 lux). Incluidos en este nivel el Pez de la Sala del Águila, dicha manifestación pictórica no se encuentra afectada por ninguna colonia de microflora, pero la presencia de una corriente de agua kárstica sobre él y

la iluminación ambiental que recibe (2,5 lux.), junto con su posición al alcance de los visitantes, aconsejan incluirlo en este nivel de precaución.

Respecto a los riesgos de nivel bajo está el resto de la Cueva. Este nivel incluye todas las manifestaciones artísticas, las cuales no corren peligro por las alteraciones ambientales ni de vegetación.

Hacemos un inciso para comentar la temática relacionada con la luminiscencia. Se entiende por "luz cálida" la obtenida con transformaciones de energía térmica (lámparas incandescentes) y por "luz fría" la obtenida mediante disociaciones moleculares (característicos son los fluorescentes y lámparas de bajo consumo). Ambas luces sólo difieren en la forma de transformar la energía en luz pero no en el ancho de luz que emiten. Es decir, sólo se diferencian en la temperatura emitida, siendo una más elevada que la otra. En lo que respecta a la luz emitida, ambas emiten ondas en todo el espectro visible.

Las colonias de microflora sólo se desarrollan por la presencia de luz visible, ya que necesitan absorber las ondas de las bandas azul y roja del espectro visible. Tanto la "luz cálida" como la "luz fría" emiten dichas bandas, por lo que las colonias de microflora se desarrollan con ambas luces.

Por consiguiente, siempre que haya luz visible, necesaria para la visibilidad del ser humano y por lo tanto convertir la Cueva en turística, se van a desarrollar las colonias de microflora. Por lo tanto, sólo cabe generar mecanismos para compatibilizar la conservación de la Cueva, la minimización de las colonias y su uso turístico, esto es posible con programas permanentes de control y con una iluminación que sólo emita las ondas verdes del espectro visible. Con las bombillas que sólo emitan las ondas verdes del espectro visible las colonias de microflora pueden seguir haciendo la fotosíntesis, pero a un ritmo muy bajo y con muchas dificultades, lo que convierte a estas bombillas como el único tipo de iluminación compatible con el uso turístico y la conservación de la Cueva.

Hay que indicar, que dentro de las condiciones kársticas, un mismo tipo de foco luminoso (mismos vatios de potencia) no tienen por qué tener la misma temperatura y humedad ya que estos parámetros también dependen de factores ambientales de la cueva como corrientes de aire (variaciones de la concentración de CO₂), el número de visitas y el tiempo de estancia de éstas en determinados puntos, existencia de filtraciones de agua, etc. Por lo que la elección del número de puntos de luz en una sala debe tener presente estos parámetros. Un aumento de temperatura conlleva la pérdida de humedad ambiental, y que en estas condiciones aumenta la población de colonias de microflora. Por consiguiente es fundamental que la luminaria aporte la menor temperatura posible.

En relación a las salas no turísticas del conjunto de Cuevas del Cantal, sacamos las siguientes conclusiones:

En la Sala de Breuil no se observa la presencia de colonias de microflora vivas, por lo que el riesgo de estos organismos no incide en la conservación del Patrimonio Histórico. Esta Sala estuvo iluminada con anterioridad al arrendamiento de Cueva del Tesoro por parte del Ayuntamiento de Rincón de la Victoria. De dicho periodo conserva el cableado y su iluminación antigua de luz cálida, que ahora está apagada. Se ha observado que junto a las bombillas hay manchas en la pared que por su análisis con técnicas de teledetección no presentan valores propios de la reflexión de la luz en la roca caliza de la Cueva. Por lo que parece, hasta que salgan los análisis biológicos definitivos, que estas manchas son restos de colonias de microflora muertas. De ser así hay esporas en esta Sala, por lo que se debería tomar ciertas precauciones si algún día se llegase a abrir al público de manera más o menos periódica, para evitar que las posibles esporas germinen. Aunque su visita puntual y esporádica no activa las esporas.

En relación al clima de Sala de Breuil, se observa que el tramo final de la Sala presenta valores de temperatura y humedad muy elevados, lo que requiere la instalación de

sensores mediomambientales para su control y conservación de las pinturas rupestres. Hasta su instalación en un proyecto de conservación, es conveniente realizar un seguimiento arqueológico con termohidrógrafo portátil.

En lo que respecta a Cueva de la Victoria es la que menor riesgo presenta. La presencia de cortinas de espeleotemas y sales en las paredes de la roca son procesos naturales de los que hoy en día poco se puede hacer. Se recomienda la instalación de sensores medioambientales y hasta su instalación en un proyecto de conservación, es conveniente realizar un seguimiento arqueológico con termohidrógrafo portátil. Cueva de la Victoria, al poseer una instalación de luz fría en el suelo, encendibles en tres tramos, estar acondicionada para el turismo, no presentar colonias de microflora y poseer buenas condiciones climáticas puede ser visitable siempre que se realice un seguimiento arqueológico del clima con aparatos portátiles y con el compromiso de la instalación de sensores medioambientales fijos en un plazo corto de tiempo

4. Análisis biológico.

La toma de muestras biológicas se realizó sobre las colonias que constituyen el mal verde que más alejadas se encontraban de las pinturas rupestres con el fin de protegerlas. Para ello, se procedió a la toma de muestras con ayuda de una lanceta y se extrajo una pequeña porción de cada colonia. Se repitió este procedimiento sobre las distintas colonias existentes en cada punto de muestreo. Las muestras se introdujeron en tubos de ensayo estériles y se preservaron en frío. Las zonas de muestreo se ilustran en la planimetría adjunta a la presente memoria.

Una vez en el laboratorio de Botánica del Departamento de Biología Vegetal de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga, las muestras fueron identificadas. Las muestras de microalgas y cianobacterias fueron fijadas en formaldehído (4%) con el fin de preservarlas. Previamente una pequeña porción de las muestras fue inoculada en un tubo de

ensayo con medio líquido de cultivo BG-11, especial para el crecimiento de cianobacterias y microalgas de agua dulce. Los tubos de ensayo utilizados disponen de un tapón especial que permite la aireación para facilitar el crecimiento de los cultivos. Todos los cultivos obtenidos se mantienen en una cámara de cultivo a una temperatura constante de 20 °C y con un fotoperiodo 16 h de luz y 8 h de oscuridad.

Con las muestras de briófitos se procedió de manera similar tomando una porción para su cultivo en la cámara de cultivo, con las mismas condiciones que los cultivos de microalgas y cianobacterias. El resto de la muestra fue sometido a desecación con el fin de incluirla en el Herbario MGC de la Universidad de Málaga.

Hasta el momento se ha podido determinar la presencia de colonias de briófitos, líquenes, microalgas y cianobacterias. Los dos últimos puntos de muestreo corresponden a la sala Breuil, en donde durante algún tiempo hubo iluminación artificial aunque actualmente no.

- Briófitos

En las muestras se ha detectado la presencia de, al menos, dos especies de musgos acrocápicos. Una de las principales características de los musgos que se desarrollan dentro de las cuevas es que no suelen presentar la fase esporofítica (Thatcher, 1947, 1949), una estructura de gran valor taxonómico y, por tanto, necesaria para su determinación a nivel de especie (Guerra et al., 1995). En este sentido, muestras de estos briófitos se mantienen en la cámara de cultivo con el fin de que desarrollen el esporofito y proceder a su determinación.

- Líquenes

Se ha detectado la presencia de un líquen crustáceo de aspecto leprarioide.

- Microalgas

Dentro de las microalgas encontradas en las muestras hay representantes tanto unicelulares como filamentosos de clorófitos (Fig. 1). En este momento se está procediendo a

realizar el aislamiento de las distintas especies para el establecimiento de cultivos monoespecíficos que faciliten su estudio y determinación.

- Cianobacterias

Se han encontrado varias especies de cianobacterias mayoritariamente de tipo colonial. Al igual que con las microalgas, se está procediendo al aislamiento de éstas y al establecimiento de cultivos monoespecíficos.

Los focos de iluminación artificial crean un gradiente lumínico a lo largo del cual se disponen las distintas especies encontradas. En las zonas de mayor iluminación se establecen, cuando el sustrato lo permite, colonias de briófitos. A medida que la intensidad lumínica va disminuyendo estas colonias de briófitos son sustituidos por líquenes, clorófitos y, finalmente, cianobacterias. Estos últimos presentan los requerimientos lumínicos mínimos llegando a establecer colonias en lugares donde la irradiancia es inferior a $1 \mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

El proyecto se encuentra ahora en la segunda fase que corresponde a los trabajos de laboratorio.

- Se han realizado hasta el momento fotografías al microscopio óptico de todas las especies que componen las distintas colonias del mal verde de la cueva para facilitar su estudio y determinación.

- Se han fijado las muestras de las distintas colonias para su conservación.

- Se han establecido cultivos masivos y se está procediendo al aislamiento de las diferentes especies.

Las modificaciones que sufren algunos de estos organismos (principalmente cianobacterias y briófitos) dificultan la determinación de dichas especies. Por lo tanto el establecimiento de cultivos ex situ podría favorecer la reversión de dichas modificaciones, facilitando así su determinación.

5. Conclusiones.

Dada la singularidad e importancia de las Cueva del Cantal y de los objetivos que nos marca el Ente Público promotor de este proyecto, hemos querido desarrollar un trabajo innovador que sea capaz de dar respuesta a las necesidades que plantea las Cuevas del Cantal con técnicas exhaustivas y no destructivas. Para ello hemos ejecutado una actividad arqueológica de estudio del yacimiento a través de análisis multiespectral, una pionera e innovadora técnica en el estudio de Cuevas y el Arte Rupestre, realizada por Taller de Investigaciones Arqueológicas, S.L., que nos ha permitido conocer el desarrollo de las colonias de microflora y su afección sobre las pinturas rupestres. Estos estudios se han complementado con análisis de cultivos vegetales de esta flora para determinar su especie, realizados por el Departamento de Biología Vegetal del Área de Botánica de la Universidad de Málaga. Todos estos análisis nos han permitido conocer que tipo de tratamientos se le pueden aplicar y como se debe ejecutar proyectos futuros para su erradicación y evitar su proliferación.

A día de hoy hemos observado algunos datos importantes. En primer lugar que no hay ninguna pintura rupestre afectada por colonias de microflora, aunque el desarrollo de estas colonias es acusado en algunos puntos y goza de buena salud, lo que permitirá en el futuro solucionar la situación actual con las máximas garantías de protección del patrimonio histórico. En segundo lugar hemos observado que la Cueva goza de sistema propio de recuperación de sus condiciones climáticas, una noticia importante que le permite conciliar las visitas turísticas con la conservación de las pinturas rupestres. En tercer lugar las colonias de microflora están compuestas por diversos géneros, musgos, cianobacterias y algas, los cuales sólo necesitan un mínimo de luz y agua para sobrevivir, observándose algunas zonas de musgos muy marchitados debido a la luz actual, la cual está compuesta por bombillas de luz fría. El actual sistema de iluminación, con bombillas de bajo consumo, no es malo, la mayoría de sus bombillas están por debajo de los 5.000 luxes y pierden más del 50% de luz tras los

primeros 20 cm. de distancia. La luminaria de Cueva del Tesoro es incluso menos agresiva que la luminaria de “luz fría” de Cueva de la Victoria, instalada en la primera década del s. XX. Por lo que el cambio de algunas bombillas, el cambio de situación y una nueva elección de puntos de luz es clave, junto con la instalación de sensores medioambientales, para evitar la proliferación de las colonias de microflora, las cuales se deben erradicar con una limpieza con productos químicos especializados en primera instancia y en última estancia con la aplicación de enzimas específicas.

Con la técnica empleada en el estudio se debe realizar un control en la conservación del arte rupestre, el cual posee un bajo coste y resultados exhaustivos a una escala mínima, lo que permite ser una excelente herramienta de conservación del patrimonio histórico pionera y empleada por primera vez en Cueva del Tesoro con resultados extraordinarios.

Con los resultados obtenidos, observamos que para solucionar las actuales patologías y mejorar la compatibilidad entre la conservación del BIC y el turismo, es necesario la ejecución de un proyecto de conservación, según lo establecido en el Título II de la Ley 14/2007, de 26 de noviembre, de Patrimonio Histórico de Andalucía, dirigido por un/a licenciado/a en Historia, con estudios de postgrado en Patrimonio Arqueológico de la Prehistoria. En este proyecto se deben limpiar las colonias de microflora, establecer mecanismos para que su desarrollo sea mínimo, instalar sensores medioambientales, cambiar la ubicación de la luminaria, la mejora de sus instalaciones minimizando el impacto turístico y un mantenimiento constante. Hasta la ejecución de este proyecto de conservación se deben ejecutar como medidas correctoras un seguimiento del desarrollo de las colonias por medio de fotografía multiespectral.

En relación a la evolución de niveles de riesgos:

- Riesgos altos: A la finalización de la actividad arqueológica se han apagado las dos bombillas del “Águila”. Respecto a la colonia de microflora junto al Caballo se propone

realizar un seguimiento periódico hasta que se ejecute el proyecto de conservación para su limpieza definitiva. En relación a los puntos de luz mencionados se propone el cambio de bombilla por una que sólo emita las ondas verdes del espectro visible; sin fijar fecha específica para ello.

- Riesgos moderados: Se propone realizar un proyecto de conservación para su limpieza, hasta la ejecución del mismo es necesario hacer un seguimiento periódico para su control.
- Riesgos bajos: No se propone ninguna medida para estas zonas.

Se observa que la entrada de agua por las torcas mantiene viva varias colonias de microflora. El agua de la lluvia llega con rapidez al interior de la cueva por la inclinación del terreno y las pendientes que se dirigen hacia la reja del edificio que protege la torca. Tapiando dichas rejillas, por donde entra el agua, a una altura media, se eliminaría este aporte de lluvia adicional.

Las colonias de microflora, comúnmente llamado “mal verde”, sólo generan dos tipos de impacto negativo una Cueva: el primero en relación a las pinturas rupestres, que las puede cubrir y por lo tanto destruirlas, junto con la presencia de esporas en el ambiente que pueden llegar a germinar dentro de los paneles. Y el segundo impacto es de tipo estético, ya que la presencia de manchas verdes tiene mala imagen para el turismo, al no destruir estos microorganismos las paredes kársticas. En relación al impacto de estas colonias en las Cuevas del Cantal, sólo abrimos un impacto estético de grado medio-bajo (debido a la extensión y localización de las colonias) y una posibilidad de germinación de las esporas en los paneles de arte rupestre; por eso es necesario su control, para no mermar el turismo y los valores patrimoniales del BIC.

6. Bibliografía.

- CANTALEJO, P.; et al. (2007): Prehistoria en las cuevas del Cantal. Rincón de la Victoria. Ed. Excmo. Ayto. de Rincón de la Victoria.
- CORTÉS, M. (2002): "El Paleolítico superior final en el sur de la Península Ibérica: los yacimientos de la provincia de Málaga". *Mainake* XXIV: 279-300.
- CORTÉS, M.; SANCHIDRIAN, J.L. (1999): "Dinámica cultural del Pleistoceno Superior en la costa de Málaga". *Cuaternario y Geomorfología*, 13 (1-2): 63-77.
- CRESPO, M.J. (2004): Actualización del registro empírico de la industria lítica epipaleolítica de la cordillera Bética para su almacenamiento en soporte informático: sistema de gestión de base de datos. Trabajo de investigación de doctorado, inédito. Dpto. de CC. Y TT. Historiográficas, H^a. Antigua y Prehistoria de la UMA. Málaga.
- CRESPO, M.J. (en prensa a): "Evaluación multicriterio y GIS para el análisis de prospección intensiva en el yacimiento de El Charcón (Alozaina, Málaga)". En Congreso Internacional de Prehistoria: "La Prehistoria Reciente en Andalucía Central en sus contextos Peninsular, Mediterráneo y Atlántico". Córdoba 2004.
- CRESPO, M.J. (en prensa b): "GIS y evaluación multicriterio del Epipaleolítico Mediterráneo de la cordillera Bética (c. 13-7,9 ka cal BP)". II Encuentro Internacional. Informática Aplicada a la Investigación y la Gestión Arqueológicas: Prehistoria. Córdoba 2005.
- CRESPO, M.J.; BAÑARES, M.M. (en prensa): Paisajes Pre-históricos en Rincón de la Victoria. Ed. Excmo. Ayto. de Rincón de la Victoria.
- FERRER, J.E., et al. (2006): "Excavaciones en Cueva del Hoyo de la Mina (Málaga, Andalucía, España). Constatación de una secuencia arqueológica clásica para el estudio del Tardiglaciario-Holoceno antiguo en el sur de la Península Ibérica." En J.L. Sanchidrian, A.M^a. Márquez y J.M^a. Fullola (Eds.): IV Simposio de Prehistoria Cueva de Nerja: La Cuenca Mediterránea durante el Paleolítico Superior 38.000-10.000 años". Nerja: 316-325.

FORTEA, J. (1973): Los complejos microlaminares y geométricos del Epipaleolítico Mediterráneo español. Salamanca.

GUERRA, J.; CANO, M.J.; ROS & R.M. (1995): Géneros de musgos. Clave de identificación. DM, Barcelona.

SANCHIDRIAN, J.L.; et al. (1996): El Paleolítico en Andalucía. La dinámica de los grupos predadores en la Prehistoria andaluza. Ensayo de síntesis. Repertorio bibliográfico de 225 años de investigación (1770-1995). Córdoba SERRANO, L. Y GUERRA, A. (2005): Geología de la provincia de Málaga. CEDMA. Málaga.

THATCHER, E.P. (1947): Observations on Bryophytes living in an artificially illuminated limestone cave. *American Midland Naturalist*, 37 (3), 797-800.

THATCHER, E.P. (1949): Bryophytes of an artificially illuminated cave. *The Bryologist*, 52 (4), 212-214.

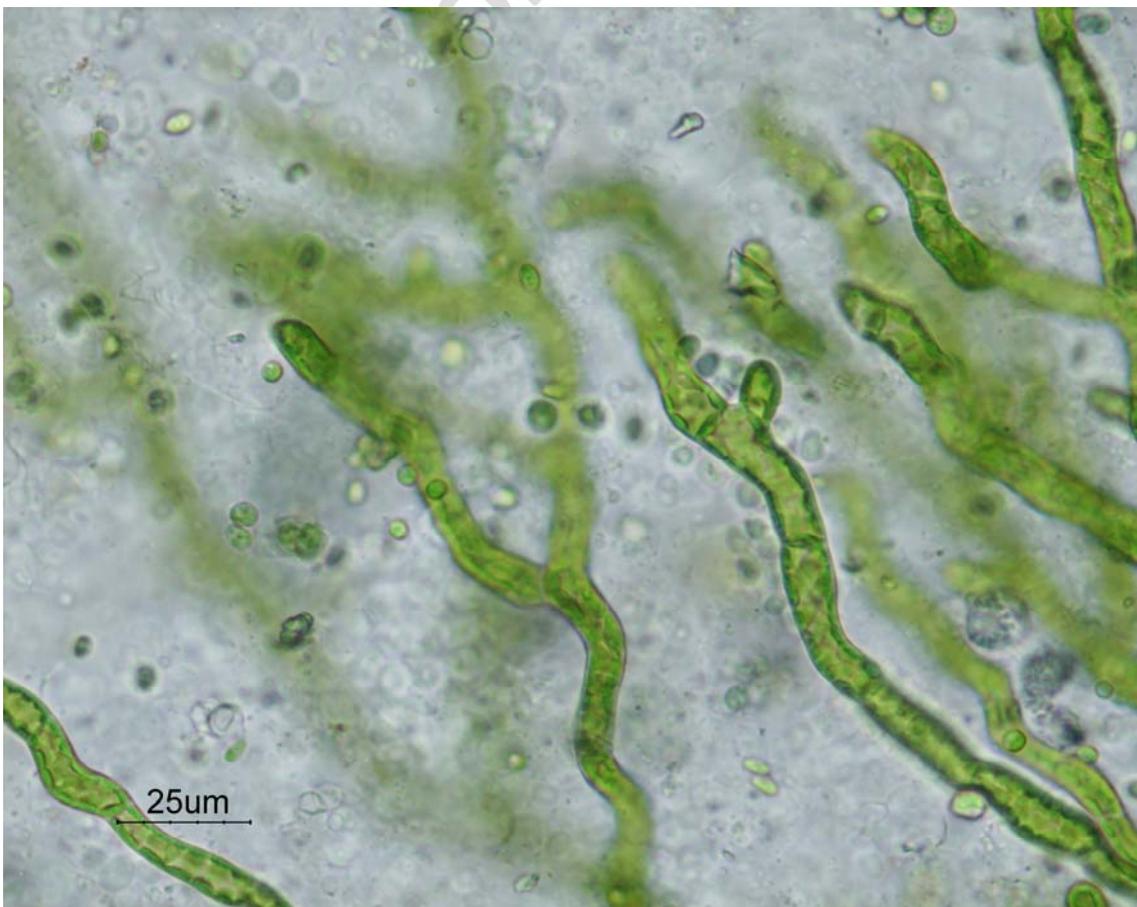


Figura 1. Imagen de microscopía óptica en donde se aprecia la presencia de algas verdes filamentosas y unicelulares.

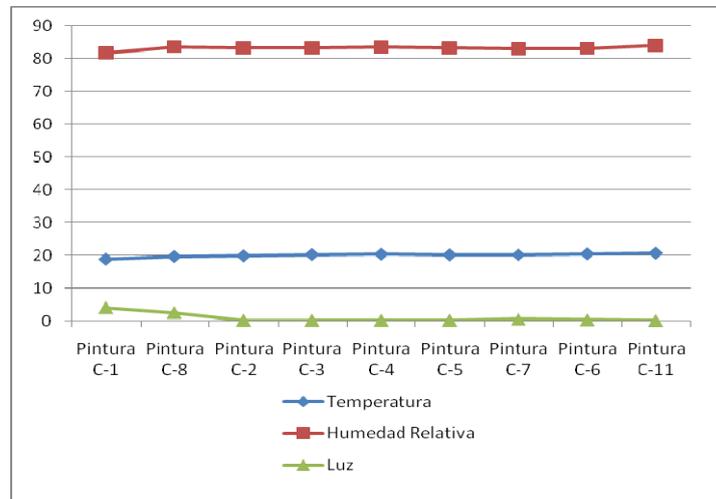


Figura 2. Gráfico de mediciones de temperatura, humedad relativa y luz en las manifestaciones pictóricas de la Sala del Águila.

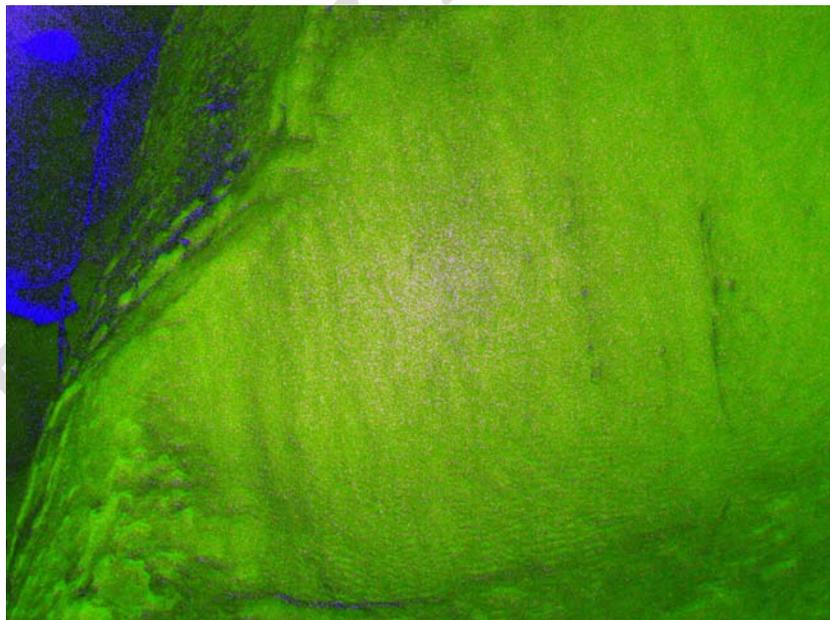


Figura 3. MDVI del panel artístico del caballo en la Sala del Águila.

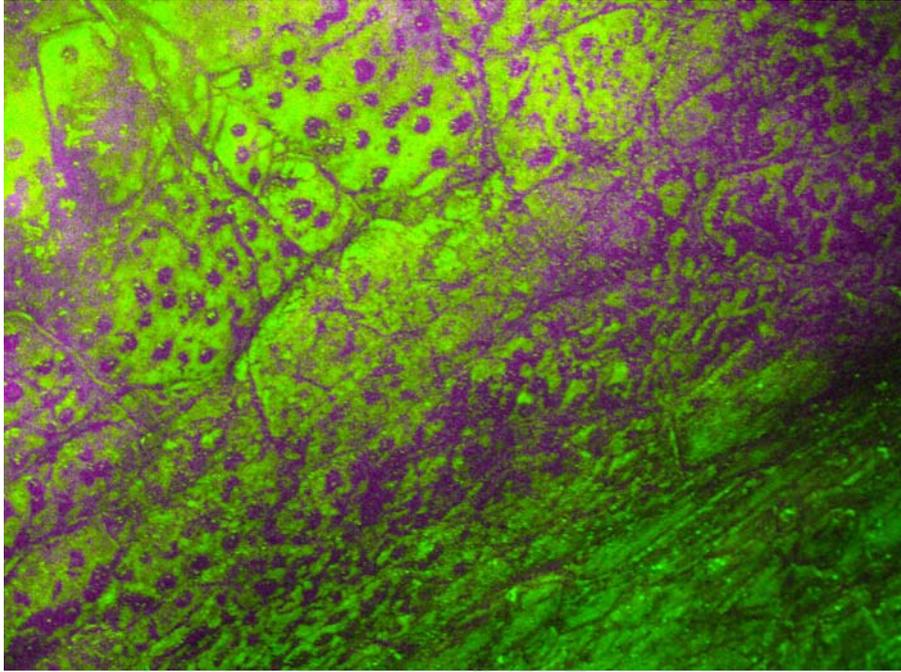


Figura 4. MDVI de la pared de la cueva en la Sala del Águila, sin panel artístico.



Figura 5. Colonia de mal verde en Sala de Noctiluca.