

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

MONOGRÁFICO



30

ier

Instituto de Estudios Riejanos

ZUBÍA. MONOGRÁFICO
REVISTA DE CIENCIAS,
Nº 30 (2018). Logroño (España).
P. 1-573, ISSN: 1131-5423

DIRECTORA

Patricia Pérez Matute

CONSEJO DE REDACCIÓN

Luis Español González
Rubén Esteban Pérez
Rafael Francia Verde
Juana Hernández Hernández
Alfredo Martínez Ramírez
Luis Miguel Medrano Moreno
Ana María Palomar Urbina
Ignacio Pérez Moreno
Enrique Requeta Loza
Purificación Ruiz Flaño
Angélica Torices Hernández

CONSEJO CIENTÍFICO

José Antonio Arizaleta Urarte
(Instituto de Estudios Riojanos)
José Arnáez Vadillo
(Universidad de La Rioja)
Susana Caro Calatayud
(Instituto de Estudios Riojanos)
Eduardo Fernández Garbayo
(Universidad de La Rioja)
Rosario García Gómez
(Universidad de La Rioja)
José M^a García Ruiz
(Instituto Pirenaico de Ecología)
Javier Guallar Otazua
(Universidad de La Rioja)
Teodoro Lasanta Martínez
(Instituto Pirenaico de Ecología)
Joaquín Lasierra Cirujeda
(Hospital San Pedro, Logroño)
Luis Lopo Carramiñana
(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)
Fernando Martínez de Toda
(Universidad de La Rioja)
Juan Pablo Martínez Rica
(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)
José Luis Nieto Amado
(Universidad de Zaragoza)
José Luis Peña Monné
(Universidad de Zaragoza)
Félix Pérez-Lorente
(Universidad de La Rioja)
Diego Troya Corcuera
(Instituto Politécnico y Universidad Estatal de Virginia, Estados Unidos)
Eduardo Viladés Juan
(Hospital San Pedro, Logroño)
Carlos Zaldívar Ezquerro
(Dirección General de Medio Natural del Gobierno de La Rioja)

DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Instituto de Estudios Riojanos
C/ Portales, 2
26071 Logroño
publicaciones.ier@larioja.org

Suscripción anual España (1 número y monográfico): 15 €

Suscripción anual extranjero (1 número y monográfico): 20 €

Número suelto: 9 €

Número monográfico: 9 €

INSTITUTO DE ESTUDIOS RIOJANOS

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

30 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN LA RIOJA

Monográfico Núm. 30



Gobierno de La Rioja
Instituto de Estudios Riojanos
LOGROÑO
2018

Treinta años de investigación en La Rioja: Homenaje a Ildefonso Zubía e

Icazuriaga / -- Logroño : Instituto de Estudios Riojanos, 2018

573 p. : gráf. ; 24 cm-- (Zubía. Monográfico, ISSN 1131-5423; 30).-

D.L. LR 413-2012

1. Rioja – Política científica. 2. Zubía e Icazuriaga, Ildefonso – Homenajes I.

Instituto de Estudios Riojanos. II. Serie

061.61(460.21)(091)

001.891:32(460.21)"19/20"

63:061.62(460.21)

929 Zubía e Icazuriaga, Ildefonso

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los titulares del copyright.

© Logroño, 2018

Instituto de Estudios Riojanos

C/ Portales, 2.

26001-Logroño, La Rioja (España)

© Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación

© Imagen de cubierta: Busto del Dr. Zubía delante del IES Práxedes Mateo Sagasta de Logroño. (Fotografía de Rafael Francia Verde)

© Imagen de contracubierta: Flora alóctona de las cavernas. Algas colonizando un espeleotema (gour) en la Gruta de la Paz en Ortigosa de Cameros. (Fotografía de Rubén Esteban Pérez)

ISSN 1131-5423

Depósito Legal LR 413-2012

Impreso en España - Printed in Spain

ÍNDICE

PRESENTACIÓN DEL MONOGRÁFICO

Patricia Pérez Matute (*Directora de Zubía*) 7

HOMENAJE A DON ILDEFONSO ZUBÍA

El catedrático logroñés Dr. Zubía
A. Ollero de la Torre (1990) 13

AGRICULTURA

La concentración de nitratos y sales en flujos subsuperficiales de un área agrícola en el Valle del Iregua (La Rioja)
T. Lasanta Martínez, M. Maestro Martínez, y M. Paz Errea (2007-2008) 35

BIOLOGÍA

Biodiversidad microscópica en el embalse de La Grajera (Logroño)
A. Guillén Oterino, e I. López de Munain Martínez (2015-2016) 57

QUÍMICA, VITICULTURA Y ENOLOGÍA

Resonancia magnética nuclear en el vino. Seguimiento de las fermentaciones alcohólica y maloláctica en vinos de diferentes subzonas de la D.O. CA Rioja
E. López Rituerto, A. Avenzoza Aznar, J. H. Busto Sancirán, y J. Manuel Peregrina García (2009) 143

Distribución territorial, caracterización paisajística y peligros y amenazas a los que está expuesta la única población de vid salvaje (*Vitis vinifera* L.) del Valle del Najerilla (La Rioja)
E. Prado Villar, y F. Martínez de Toda Fernández (2009) 161

Los vinos tintos españoles de calidad, ¿a qué huelen según los expertos?
M^a. P. Sáenz-Navajas, M. González-Hernández, E. Campo, P. Fernández-urbano, y V. Ferreira (2012) 187

FAUNA

Distribución de *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) y *Pipistrellus Pygmaeus* (Leacha, 1825) (Chiroptera: Vespertilionidae) en la Comunidad Autónoma de La Rioja
P. T. Agirre-Mendi, y C. Ibáñez (2004) 215

Estudio faunístico y eco-epidemiológico de los mosquitos (Diptera, Culicidae) de La Rioja (Norte de España)
R. Bueno Marí (2012) 227

FLORA

La filoxera en la provincia de Logroño. Destrucción del viñedo y su reconstitución
J. Provedo González (1987) 253

Briófitos de ríos y bioindicación del cambio climático. Una experiencia en La Rioja
E. Núñez Olivera, J. Martínez Abaigar, R. Tomás, N. Beaucourt, y M. Arróniz (2004) 319

GEOGRAFÍA

- Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados:
el valle del Jubera (Sistema Ibérico)
J. M. García Ruiz, T. Lasanta Martínez, e I. Sobrón García (1988) 345
-

GEOLOGÍA

- Geología del borde norte del Sistema Ibérico entre los ríos Iregua y Najerilla. La Rioja
F. Pérez-Lorente (1987) 365
-

- Actuaciones para la eliminación del tapiz algal presente en los espeleotemas
en la rehabilitación de las grutas visitables de La Paz y de La Viña en Ortigosa
de Cameros-La Rioja
R. Esteban Pérez (2014) 375
-

LAS MATEMÁTICAS Y SU HISTORIA EN ZUBÍA

- El problema de Dirichlet y la medida armónica
J. L. Rubio de Francia (1988) 405
- Sixto Cámara y los fundamentos del cálculo de probabilidades
J. J. Escribano Benito (2003) 429
-

MEDICINA Y FARMACOLOGÍA

- Tratamiento de aguas residuales de matadero. Comportamiento
de los microorganismos fecales
M. Cancer López (1994) 443
- Secuenciación masiva de DNA y aplicación práctica al diagnóstico
de la hipercolesterolemia familiar
M. Íñiguez Martínez, B. Ecurra García, Á. Brea-Hernando, y J. Cabello (2013) 461
-

PALEONTOLOGÍA

- Sauropod tracks and trackmakers: integrating the ichnological an skeletal records
J. O. Farlow (1992) 479
- Pistas terópodos en cifras
F. Pérez-Lorente (1996) 529
- Generalidades sobre las icnitas ornitópodos de La Rioja (Cuenca de Cameros. España)
I. Díaz-Martínez (2011) 549
-

ACTUACIONES PARA LA ELIMINACIÓN DEL TAPIZ ALGAL PRESENTE EN LOS ESPELEOTEMAS EN LA REHABILITACIÓN DE LAS GRUTAS VISITABLES DE LA PAZ Y DE LA VIÑA EN ORTIGOSA DE CAMEROS - LA RIOJA*

RUBÉN ESTEBAN PÉREZ¹

RESUMEN

Este artículo recoge el trabajo llevado a cabo para el estudio, valoración y limpieza de las comunidades algales alóctonas subterráneas que estaban deteriorando los espeleotemas de las cuevas visitables de La Paz y La Viña en Ortigosa de Cameros (La Rioja) y que crecían a favor de los focos de luz artificial instalados para las visitas turísticas.

Partiendo de la revisión bibliográfica, se valoró la posibilidad de utilizar dos tipos generales de tratamiento con la finalidad de remover la flora subterránea. Por un lado la utilización de métodos mecánicos tales como cepillado, lijado o desbastado y por otro lado, el uso de métodos químicos, como pueden ser los hipocloritos, peróxidos o biocidas.

Tras los estudios de laboratorio pertinentes se eligió el método de peróxido de hidrógeno diluido como el menos perjudicial para los espeleotemas y la fauna cavernícola.

Se realizaron ensayos in situ y tras observar los resultados, se procedió a aplicar, con la metodología ensayada, este producto a todas las áreas de las cavidades afectadas por el denominado “mal verde” o “lampenflora”.

Los resultados fueron totalmente satisfactorios, removiendo la totalidad de la flora alóctona subterránea de los espeleotemas, no produciendo afeción alguna sobre la fauna que habita estas cuevas visitables y sin dejar ningún rastro perceptible por el visitante.

La conclusión es que con un método muy económico y amigable para el medio ambiente subterráneo, se puede eliminar el tapiz algal que, a favor de los focos de luz artificial, cubre los espeleotemas de muchas cuevas adaptadas para la visita turística.

Palabras clave: *gruta, espeleotema, lampenflora, rehabilitación, limpieza, tratamiento, Ortigosa, Rioja.*

* Recibido el día 19 de septiembre de 2014 . Aprobado el día 14 de noviembre de 2014.

1. Geólogo. Investigador Agregado del Instituto de Estudios Riojanos.

This article reflects what has been done for the study, assessment and cleanup of exogenous algal communities that were deteriorating speleothems in the touristic caves of La Paz and La Viña in Ortigosa de Cameros (La Rioja) and growing in favour of artificial light sources installed for sightseeing.

Based on the bibliography review, the possibility of using two general types of treatment in order to remove the underground plant was assessed. On the one hand the use of mechanical methods such as brushing, sanding or grinding or the other, the use of chemical methods, such as hypochlorites, peroxides or biocides.

After relevant laboratory studies, the method of dilute hydrogen peroxide as the least harmful to the speleothems and caves fauna was chosen.

In situ tests were performed and after observing the results, proceeded to apply the methodology tested with this product to all areas affected by the "lampenflora".

The results were entirely satisfactory, removing all non-native flora of the underground speleothems, not producing any damage on the wildlife that inhabits these caves and without leaving any noticeable track for the visitor.

The conclusion is that with an economical and friendly method to the subterranean environment, can remove the algal mat that covers the speleothems of many caves adapted for tourist visits owing to the artificial light sources.

Keywords: *cave, speleothem, lampenflora, restoration, cleanup, treatment, Ortigosa, Rioja.*

1. INTRODUCCIÓN

La literatura científica ha llegado a demostrar, como se verá más adelante, que las áreas situadas alrededor de los puntos de luz artificial instalados en las cuevas habilitadas para el turismo favorecen la aparición y crecimiento de comunidades vegetales heterogéneas y exógenas a la biocenosis propia del ambiente subterráneo. Dichas comunidades sobreviven alimentándose gracias a los espeleotemas de las grutas, generando en su propio metabolismo productos químicos agresivos que llegan a destruir las formaciones rocosas por efecto físico y químico de su crecimiento.

Su erradicación de las concreciones calcáreas ha llevado a la publicación de una amplia colección de trabajos llevados a cabo en algunas de las grutas visitables más importantes del mundo donde se ha estudiado y tratado este problema desde hace décadas.

En todos estos trabajos, y previo a cualquier otra consideración, se tiene en cuenta el tipo de luces instaladas para la visita turística con el objetivo de que estos vegetales no puedan volver a desarrollarse una vez erradicados.

Posteriormente, y una vez determinado que el sistema de iluminación instalado no favorece el crecimiento de dichas algas, para la remoción de la

flora subterránea deben utilizarse medios mecánicos o productos químicos en dosis ensayadas, que no causen daño ni a los espeleotemas ni a los seres vivos autóctonos habitantes de las cuevas.

Es por esto que en los años 1998-1999, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros y el Programa europeo Leader II financiaron el estudio geológico y medioambiental de las Grutas turísticas de la Viña y de la Paz que se encuentran en dicha localidad y que conforman uno de los mejores exponentes del patrimonio geológico de La Rioja. Dicho estudio ponía de manifiesto el progresivo y evidente deterioro de los espeleotemas de dichas cuevas debido, entre otras razones, a la masiva afluencia de público y su interacción con el medio subterráneo y al tipo de iluminación artificial.

De entre los problemas estudiados, los que eran debidos al crecimiento de comunidades algales fueron los que se valoraron como más perjudiciales para la conservación futura de las estructuras calcáreas de dichas cuevas.

En 2013, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros y el Gobierno de La Rioja, licitan el Proyecto de rehabilitación interior de dichas cavidades, donde parte de los trabajos a realizar consisten en la remediación de este problema, denominado por la comunidad científica internacional como “mal verde” o “lampenflora”.

Algunas de las metodologías posibles, contrastadas internacionalmente, se han evaluado en las grutas de Ortigosa dentro de dicho proyecto de rehabilitación. La primera parte del trabajo ha consistido en la catalogación de cada área afectada.

Así, se han localizado comunidades vegetales de distintos tipos, tales como algas, mohos, musgos, helechos e incluso plantas vasculares. En todos los casos se han encontrado colonizando estalactitas, estalagmitas, helictitas, macarrones, gours o pisolitos, todos ellos espeleotemas existentes en estas grutas, formados por carbonato cálcico o carbonato calco-magnésico.

Posteriormente se han ensayado en laboratorio e “in situ” diferentes metodologías de erradicación del “mal verde” con el fin de elegir la más adecuada para llevar a cabo el tratamiento en las cuarenta y dos áreas de las cuevas donde se han localizado dichas comunidades algales alóctonas.

2. OBJETIVOS

2.1. El proyecto de adecuación turística de las Cuevas de Ortigosa de Cameros de 1997-1998

Entre 1998 y 1999, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros, a través de fondos del programa Leader II de la Unión Europea, lleva a cabo el Proyecto de adecuación ambiental de las cavidades cársticas visitables de su término municipal, denominadas Gruta de La Paz y Gruta de La Viña. Es la primera actuación de preservación de las grutas desde su descubrimiento en la década de los 60 del siglo XX.

Este proyecto consistió en la realización de un estudio del medio físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico y biológico de las cavidades y de su entorno. El objetivo de aquellos trabajos fue la definición de los rasgos medioambientales de las cuevas y una primera conclusión del impacto que la masiva afluencia de visitantes a dichas cavidades turísticas estaba produciendo en los espeleotemas y que era visible durante el recorrido de las mismas en diversos puntos.

Así mismo, se aportaron posibles soluciones a estos problemas, así como un cronograma de vigilancia ambiental con el fin de comprobar el funcionamiento y la rentabilidad de las medidas que se adoptasen. Finalmente, la única medida que se llevó a cabo fue la sustitución del primitivo sistema de iluminación a base de bombillas incandescentes por un sistema de focos halógenos de luz caliente.

2.2. El proyecto de rehabilitación interior de las Cuevas de Ortigosa de Cameros de 2013-2014

Durante 2013, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros con fondos del Gobierno de La Rioja, licita el Proyecto de Rehabilitación Interior de ambas cavidades cuyos objetivos generales son la sustitución de las instalaciones existentes tanto de iluminación como de accesos y la reducción del impacto de estas instalaciones en el medioambiente subterráneo y en los elementos naturales existentes en las cuevas.

A partir de estos objetivos generales el proyecto definía una serie de objetivos específicos, entre los que se encontraba la limpieza de los espeleotemas de las comunidades algales que los recubrían en diversos puntos del recorrido en ambas cavidades.

De manera literal indicaba que: “Un importante apartado en lo que a los trabajos de rehabilitación en ambas cavidades se refiere, es el de la limpieza de las numerosas zonas afectadas por el desarrollo de vida vegetal, y que se ha visto favorecido por el sistema de iluminación existente. Las labores pasan por eliminar, fundamentalmente en las zonas más transitadas, estas manifestaciones, generalmente visibles como manchas verdosas sobre paredes, suelos y espeleotemas, con el empleo de soluciones acuosas neutras que no dañen la roca y mantengan, en la medida de lo posible, su aspecto natural.” (Nájera Martínez, 2013).

3. MÉTODOS

3.1. Medio ambiente subterráneo: flora y fauna de las cavidades

En general, en el interior de una gruta turística podemos encontrar flora autóctona o alóctona, microorganismos relacionados con dicha flora o con



Foto 1. Flora autóctona de las cavernas. Musgos y helechos en la boca de la Gruta de la Viña.

la visita de turistas y en menor medida, algunas especies propias de la fauna cavernícola.

La flora autóctona que se descubre en las cavernas suele estar constituida por individuos arrastrados accidentalmente al interior por las corrientes de aire, el agua o los visitantes y que logra sobrevivir en las precarias condiciones de un medio al que no pueden adaptarse plenamente (Cigna, 2010).

Al hilo de lo anterior, es interesante recordar que según la intensidad de luz natural que entra en una cueva, se pueden encontrar cuatro zonas de crecimiento vegetal sucesivas: una zona de entrada donde encontramos tanto fanerógamas como criptógamas que necesitan una luminosidad mínima de al menos el 5% de la exterior, la zona vestibular que contiene sobre todo musgos y líquenes con una luminosidad de entre el 2 y el 1%, la zona de penumbra con líquenes y algas de luminosidad inferior al 2% y la última zona o zona oscura en donde viven hongos y algunas algas (Aley, 1972).

Sin embargo, alrededor de los puntos luminosos artificiales de luz caliente en el interior de las cuevas acondicionadas para el turismo se ha constatado la existencia de una flora alóctona en un área o aureola en la que las condiciones de luminosidad y de temperatura son óptimas para el crecimiento vegetal. El círculo central más cercano al punto luminoso artificial está privado de vegetación a consecuencia del calor excesivo.

Por último, la fauna cavernícola encontrada se reduce a murciélagos, algún coleóptero y arácnidos; lo cual no significa que no se encuentren

representadas más especies dentro del ambiente subterráneo de las grutas, pero, al no ser éste el objeto del estudio, no se ha profundizado en la búsqueda y catalogación de otros tipos de animales.



Foto 2. Flora alóctona de las cavernas. Algas colonizando un espeleotema (gour) en la Gruta de la Paz.

3.2. Investigación bibliográfica y métodos de ensayo

En diciembre de 2013, la situación de partida del proyecto de limpieza y remediación de los espeleotemas era, por una parte, que en las entradas de las grutas orientadas al norte, cerradas con puerta de reja, y hasta el punto donde alcanzaba la luz natural, crecían helechos y musgos tapizando el sustrato calizo. Por otra parte, en las áreas alrededor de los puntos de luz artificial se favorecía en mayor o menor medida el crecimiento vegetal en cualquiera de sus manifestaciones subterráneas.

La revisión bibliográfica previa nos indica una serie de puntos relevantes a valorar en el planteamiento del trabajo a realizar.

Newbould (1974) desarrolla métodos, tanto de tipo mecánico como de tipo químico, hasta dar con un sistema adecuado de limpieza de espeleotemas. Como ejemplo, el utilizado en algunas cuevas turísticas australianas es una mezcla de productos químicos biocidas con inyectoras de agua fría a presión (Anon, 1976).

Para Knutson (1974) y Johnson (1980), la movilización de la flora subterránea puede realizarse utilizando productos químicos con base de cloro en

pequeñas dosis, evidenciando que no causan daño ni a los espeleotemas ni a los seres vivos habitantes de las cuevas. También indica que para la erradicación definitiva de algas y musgos que crecen a favor de las luces artificiales en el interior de las cavidades hay que tener en cuenta el tipo de luces existentes para que estos vegetales no puedan desarrollarse.

Según Caumartin (1985) y Roth (1995), la lucha contra las algas debe iniciarse seleccionando lámparas eléctricas con espectros de emisión que se aparten lo máximo posible de los espectros de absorción de la clorofila y emitan el menor calor posible. Estos vegetales captan compuestos de la luz blanca según las diferentes longitudes de onda y no todos captan las mismas radiaciones.

Para este autor, los musgos, hongos y algas verdes captan las longitudes de onda del violeta y azul. (entre 430 y 453 nm). Las algas azules, las del rojo y naranja (entre 600 y 700 nm). La zona de longitudes de onda que no son absorbidas por las plantas clorofílicas se encontraría entre 453 y 600 nm. Igualmente indica que las lámparas no deben ser de filamentos incandescentes y que los sistemas LED dan un alto rendimiento con luz fría y se adaptan perfectamente a la iluminación de cavidades subterráneas.

También, según Lemon (1975) y Bonwick *et al.* (1986), el elevado número de visitantes de determinadas cavernas turísticas crea un tipo especial de polución y problemas de mantenimiento graves. Del mismo modo, se valora la posible existencia de una relación directa entre el incremento del número de visitantes en las cavernas y el progresivo aumento de la decoloración y corrosión de los espeleotemas que contienen (Williams, 1975; Rohde, 1982).

Tomando como base los trabajos anteriores, Faimon (2003) trata sobre la utilización de peróxido de hidrógeno para el control de flora subterránea concluyendo que este método es el más amigable con el medio ambiente de las cuevas frente al uso de biocidas o hipocloritos. Mulec (2009) trata igualmente sobre los distintos métodos ensayados de control del crecimiento de comunidades algales en diferentes cavidades europeas concluyendo que en las cuevas habilitadas para el turismo se modifican constantemente las condiciones climáticas subterráneas y que no hay un método definitivo para eliminar la flora alóctona que crece debido a estos cambios.

Cigna (2010) estudia con profusión todo lo relativo al problema del “mal verde” en cavidades subterráneas concluyendo que el uso de herbicidas es totalmente perjudicial para la fauna subterránea y flora autóctona y decantándose por otros métodos más respetuosos con el medio ambiente a la vez que aboga por el uso de lámparas LED en aquellas acondicionadas para la visita turística.

Hebelka (2013) habla igualmente sobre resultados del tratamiento con diferentes métodos sobre flora algal subterránea y concluye que aunque su método favorito es el uso de hipocloritos, entiende que puede ser perjudicial para la salud y que no es definitivo para eliminar la flora alóctona subterránea.

Aboga por la prevención para impedir que estas comunidades algales se introduzcan en las cuevas gracias a los visitantes y se adhieran y crezcan sobre los espeleotemas.

Por último, también se han tenido en cuenta los trabajos de Esteban Pérez (1998, 2011) realizados como resultado de las actuaciones llevadas a cabo en dichas cavidades subterráneas para el desarrollo del Proyecto de Adecuación Turística de las mismas en 1997-1998, anteriormente comentado.

4. SITUACIÓN GEOGRÁFICA. EL KARST DEL MACIZO DEL ENCINEDO

Este proyecto se ha desarrollado en las denominadas Gruta de la Viña ($Y= 42^{\circ} 10'49''$, $X= 0^{\circ} 58'50''$ y 113,4 m de recorrido) y Gruta de la Paz ($Y= 42^{\circ} 10'50''$, $X= 0^{\circ} 58'52''$ y 236 m de recorrido), ambas localizadas en el Macizo del Encinado, dentro del término municipal de Ortigosa de Cameros en La Rioja y del término geográfico más amplio de la Sierra de Cameros en la Codillera Ibérica.

Estas cuevas y otras más, cartografiadas en este Macizo pero no acondicionadas para el turismo, como son las Cuevas de Albercos I, II y III, Cueva del Cerrauco, Cueva de las Hijas, Cueva de los Hombres, Sima del Huevo, Cueva de las Mujeres, Sima de Orillalejo, Cueva de La Salita, Sima de San Cristóbal, Cueva de la Tajadita o Cueva del Tejón (Consejería de Educación del Gobierno de La Rioja, 1986), se localizan geológicamente en terrenos calcáreos de edad mesozoica.



Figura 1. Localización geográfica de Ortigosa de Cameros.

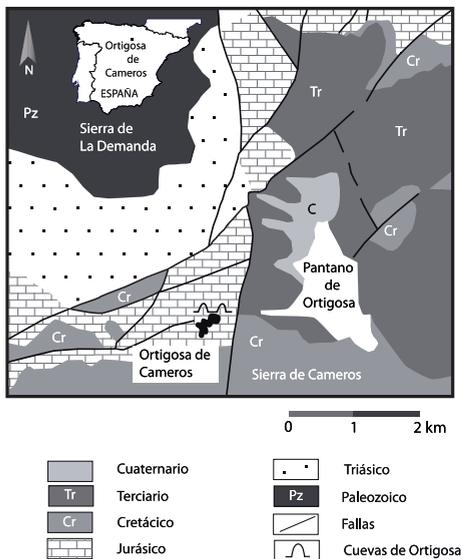
En primer lugar, y desde un punto de vista geológico, se ha de tener en cuenta que el área de emplazamiento de las cavidades de la Paz y de la Viña ocupa una extensión limitada por los siguientes conjuntos geológicos de carácter regional, por lo que el encuadre de sus unidades litoestratigráficas estará delimitado por (Casas, 1995):

- La Depresión Terciaria del Ebro al norte.
- La Cubeta Terciaria de Ortigosa-Nieva-El Rasillo al sur.
- El Cretácico de la Sierra de Cameros al este.
- El Paleozoico de la Sierra de la Demanda al oeste.

Dicho esto, el área de localización de las Grutas estaría formada por materiales mesozoicos predominantemente jurásicos, correspondientes a la Formación Carbonatada de Chelva, que se pueden describir, tomando como base los trabajos de Colchen (1974) y Ramírez Merino *et al.* (1990), como terrenos correspondientes a las calizas del Dogger de edad Bajociense-Calloviense inferior, formadas principalmente por calizas micríticas con oolitos, bien estratificadas, aunque puedan llegar a tener apariencia masiva.



Figura 2. Localización geográfica del Macizo del Encinado y de las Grutas de la Paz y de la Viña.



(*) Tomado de Osácar *et al.* (2013)

Figura 3. Mapa geológico detallado del encuadre estratigráfico de la zona

En segundo lugar, se debe definir qué es el "modelado kárstico". Se podría definir como el conjunto de características propias de la morfología e hidrogeología superficial y subterránea en las regiones calcáreas (Goy *et al.*, 1983). Los factores que condicionan su aparición y desarrollo son: el agua, siempre presente pero cuyas acciones pueden ser muy variadas; la naturaleza de las rocas, su grado de fracturación y su disposición topográfica; la climatología pasada y actual; el tiempo necesario para formarse las cavernas y finalmente diversos factores biológicos, sin olvidar también el papel del hombre y del medio ambiente geográfico (Meléndez, 1989).

Si hablamos de su formación, hay que destacar que los modelados kársticos son eminentemente erosivos y de difícil análisis ya que, aunque son persistentes en el tiempo, son poco perceptibles. A pesar de que hay varios procesos que actúan sobre el karst, la disolución es el dominante. En un modelado kárstico será la caliza compacta, de consistencia considerable, unida a una fisuración importante, la que permita que las aguas la atraviesen y ejerzan sus acciones físicas y químicas. Un bloque de caliza sin fisuras no podría contener ninguna cavidad. La alta pluviometría de la zona que alcanza los 679 mm favorece la evolución del karst camerano y la formación de su sistema de galerías y simas, además de un relieve exokárstico relevante (Calvo Palacios, 1976).

También es importante la composición de las rocas para su mayor o menor disolución por efecto del agua. Las calizas del Macizo del Encinedo presentan una gran homogeneidad en su composición mineralógica puesto que están formadas casi exclusivamente por calcita, con indicios de cuarzo y filosilicatos (De Lemus, 1990).

Por todo lo anterior podemos indicar, que es complejo conocer el modelo tridimensional de un karst ya que se trata de un modelado subterráneo donde no existe una relación clara entre las zonas endokársticas y exokársticas debido a que se da una aparente desconexión entre unas formas y otras.

El Macizo del Encinedo presenta una acumulación de bancos bien estratificados y limitados por discontinuidades de sedimentación. Además de éstas, existen grietas más o menos perpendiculares a los bancos. Es por esto que esta fracturación convierte esta masa calcárea en una especie de amontonamiento de paralelepípedos que permiten a las aguas infiltrarse fácilmente y crear una red de cavidades, mientras la compacidad y coherencia de la roca gracias a su composición mineralógica aseguran la conservación de los huecos (Coloma, 1996).

En lo referente a su encuadre geomorfológico, las formaciones calcáreas que albergan las cuevas de Ortigosa de Cameros se encuentran afectadas por una densa red de fracturas de orientación predominante NE-SO, en el sector occidental de la Cordillera Ibérica. Sobre estos materiales se desarrollan suelos calcáreos de montaña que soportan una cobertera vegetal formada por *Quercus rotundifolia* y *Quercus ilex* y un importante desarrollo de estructuras exokársticas, principalmente lapiares y pequeñas dolinas (Osácar *et al.*, 2013).

Ambas cavidades se presentan subhorizontales, se localizan superpuestas topográficamente, como se puede observar en las figuras y planos adjuntos, y se caracterizan por un importante número de espeleotemas, con muy buena conservación en su mayor parte y cierta dinámica actual de crecimiento. En el interior la temperatura media anual es 11,5°C y la atmósfera está saturada en vapor de agua. El goteo es máximo en otoño y primavera y mínimo, incluso puede cesar, en verano e invierno (Osácar *et al.*, 2013).

Por último, indicar que estas Grutas cuentan con una afluencia turística considerable que, según datos del Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros,

ronda unos 16.000 visitantes anuales de media, repartidos durante todo el periodo estival, los fines de semana de primavera y otoño y las vacaciones de Semana Santa. A este cómputo habría que añadir los grupos organizados a lo largo de todo el año.

5. RESULTADOS

5.1. Visitas de campo y toma de muestras

Tras las visitas de campo realizadas en diciembre de 2013, los problemas de crecimiento vegetal alóctono detectados sobre los espeleotemas de las Grutas de Ortigosa de Cameros fueron:

1. Algas verdes
2. Algas azules
3. Musgos
4. Líquenes
5. Pátinas de color negruzco en estalactitas
6. Plantas vasculares

Los musgos y plantas vasculares crecían a favor de la luz natural en la entrada de ambas Grutas y por lo tanto no eran plantas invasoras ni afectaban a los espeleotemas.

Las coloraciones negras detectadas en la gruta de la Viña se dedujo que eran producto de filtraciones de ácidos húmicos de la superficie, generados en el metabolismo de las encinas que pueblan el Macizo del Encinedo y por lo tanto también eran un efecto de la evolución natural del propio sustrato rocoso sin mayor problemática, más allá de su impacto visual, para los espeleotemas (Conclusiones a partir de las conversaciones con el Prof. Arsenio Muñoz).

La problemática más patente se centró en las algas (verdes y azules) y en menor medida, hongos y líquenes que crecían a favor de los focos artificiales de luz del interior de las cavidades.

Se tomaron muestras de algas verdes y azules, líquenes y musgos con su sustrato rocoso, en enero de 2014. Los ensayos de laboratorio han tenido lugar en el propio de Cervanco Geoconsultora (subcontratista de los trabajos de limpieza de los espeleotemas), con el asesoramiento puntual del Dr. Arsenio Muñoz del Área de Estratigrafía de la Universidad de Zaragoza y del Dr. Jiri Faimon de la Universidad de Brno, República Checa. También se ha tenido en cuenta lo recogido en Durán (2007) en lo referente a ensayos y resultados en algunas cuevas turísticas de España.

Se preparan 6 muestras (Localizadas en el plano adjunto):

M1.- estalactita con pátina negra (Gruta de la Viña).

M2.- muestra con musgo (Gruta de la Paz)

M3.- muestra con algas azules (Gruta de la Paz)

M4.- muestra con algas verdes (Gruta de la Paz)

M5.- muestra de pátina con algas verdes y líquenes (Gruta de la Paz)

M6.- muestra con pisolitos (Gruta de la Paz)

5.2. Ensayos previos y elección del método de limpieza

A partir de la revisión bibliográfica, se valoró la posibilidad de utilizar dos tipos generales de tratamiento en las Grutas de Ortigosa de Cameros con la finalidad de remover la flora subterránea:

1. Métodos mecánicos (cepillado, lijado o desbastado).
2. Métodos químicos:
 - a. Hipocloritos
 - b. Peróxidos
 - c. Biocidas

A priori, teniendo en cuenta el apartado correspondiente a limpieza de espeleotemas del Proyecto de Rehabilitación, así como la bibliografía consultada, se descartó el uso de cualquier tipo de biocida por los efectos negativos hacia la fauna cavernícola (especialmente quirópteros) y hacia las aguas de percolación del macizo calcáreo, muy importantes en época de lluvias o nieves y que afloran al exterior a través de varias surgencias del Macizo del Encineto al río Albercos (Coloma, 1996).

Los métodos mecánicos también se descartaron, dado lo delicado de algunos de los espeleotemas existentes (principalmente helictitas, macarrones y otros muy visibles en los recorridos) y la posible alteración de los mismos debido a su rayado o desbastado si se usaban cepillos para eliminar las algas que, por otra parte, aparecen calcificadas en muchos espeleotemas, por lo que este tipo de métodos mecánicos sería poco efectivo sin dañar la estructura calcárea externa.

En cuanto a los hipocloritos, se valoraron y ensayaron en laboratorio dos tipos, el sódico y el cálcico. En ambos casos se descartaron porque están basados en el ión Cl. El cloro causó un descenso del pH del agua y produjo la disolución del CaCO_3 de los espeleotemas ensayados. Igualmente puede producir un efecto biocida no deseable para la fauna subterránea y la generación de una coloración rojiza en la calcita por la oxidación del Fe que precipita como hidróxido de Fe (FeOH) (Hebelka, 2013).

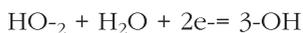
En este sentido, la probable generación de gas en el interior de las cavidades por efecto del uso de productos con base en el cloro, puede producir efectos adversos en la fauna debido a la formación de cloraminas que influenciarían negativamente en el agua y medio ambiente subterráneo (Mulec, 2009), pudiendo llegar a producir la mortandad de las especies que habitan en las cavidades.

El método ensayado, finalmente elegido, fue el del peróxido de hidrógeno (Faimon, 2003). Este método químico ha sido utilizado en muchas cavidades visitables europeas y según los autores consultados es el que resulta más amigable para el medio ambiente subterráneo y el que mejores resultados conlleva tras su utilización.

Para ello se ha utilizado como base el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) comercial al 30% rebajado con agua destilada. Para el tratamiento se han preparado dos concentraciones de H₂O₂: al 15% y al 25% sobre la base del comercial.

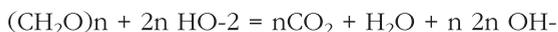
Además, según lo recogido en Faimon (2003) y Cigna (2010), para impedir el efecto de picado del H₂O₂ sobre los espeleotemas, se ha presaturado la solución con CaCO₃ de la propia cueva (trozos de caliza recogidos en las grutas) durante las quince horas previas a su uso. Del mismo modo, para impedir la decoloración de los espeleotemas se han utilizado concentraciones de H₂O₂ no superiores en ningún caso al 25%, dado su fuerte efecto blanqueante.

Teniendo en cuenta que las propiedades de oxidación en un medio alcalino del H₂O₂ se expresan por la siguiente ecuación:



Es destacable que el valor de potencial redox estándar $-E^0 = 0,88 \text{ V}$ (Gazo *et al.*, 1974), indica propiedades de oxidación similares a las de los hipocloritos.

Por ello, el proceso de oxidación conjunto del peróxido de hidrógeno se puede expresar por la siguiente ecuación (Hebelka, 2013):



A pesar de ser el proceso más lento, el producto y sus soluciones resultantes se ha comprobado que son más amigables con el medio ambiente, no acidifican las aguas subterráneas y no generan gases nocivos para la fauna.

5.3. Pruebas de laboratorio con la metodología de limpieza elegida

Se ensayan las muestras con H₂O₂ presaturado al 15%. Tras seis horas de tratamiento se vuelven a rociar con la solución. Tras veinticinco horas de tratamiento, las estalactitas con ácidos húmicos están limpias, las muestras de algas azules están limpias y las muestras con algas verdes se encuentran limpias al 75% en áreas de estalactitas y pisolitos, pero en las pátinas con líquenes no se aprecia una limpieza aparente y se vuelven a tratar con la solución.

Tras tres días de tratamiento, la muestra de estalactita con algas verdes se encuentra limpia, pero la muestra de tapiz calcáreo con algas verdes (M5) sigue con un porcentaje de limpieza del 60%.

Se utiliza H₂O₂ presaturado al 25% y se aplica sobre la pátina calcárea (M5). Tras cuatro días de tratamiento la limpieza es total.

Para terminar el proceso se rocía con agua destilada a presión para eliminar las posibles pátinas que sigan adheridas a las muestras.

En el caso del musgo no se aprecia más que una decoloración hacia el amarillo. El H_2O_2 no es eficaz para eliminar el musgo. Todo ello sin perjuicio de que dicho musgo en estas Grutas no va a ser tratado ya que crece a favor de la luz solar solo en la entrada de las mismas.

Indicar que todo este proceso está documentado en el Anexo Fotográfico 1.

5.4. Pruebas “in situ”

Tras los ensayos de laboratorio y una vez analizados sus resultados, se procede a iniciar los ensayos “in situ” en áreas localizadas y controladas de las Grutas. Se elige principalmente la Gruta de la Paz para dichas pruebas dada la mayor proliferación de algas verdes y azules en la misma y en ella se eligen cuatro áreas (localizadas en el plano adjunto). También se elige un área en la gruta de la Viña donde se localizan estalactitas con pátinas negras. Las áreas de ensayo se codifican de la siguiente forma:

E-1: Tapiz calcáreo con algas azules

E-2: Estalactita con algas verdes

E-3: Área de pisolitos con algas verdes y azules

E-4: Colada calcárea con algas verdes

E-5: Área de estalactitas ennegrecidas por humus (Gruta de la Viña)

Es necesario indicar que en el momento de realizar estas pruebas “in situ”, la temperatura media de las grutas es de 13°C y la humedad relativa de las mismas se acerca al 100%.

Se inician las pruebas el día 14 de enero de 2014 en las cuatro áreas seleccionadas rociándolas con H_2O_2 presaturado al 15%. Se repite el tratamiento el 16 de enero de 2014 y se vuelve a repetir el 21 de enero de 2014.

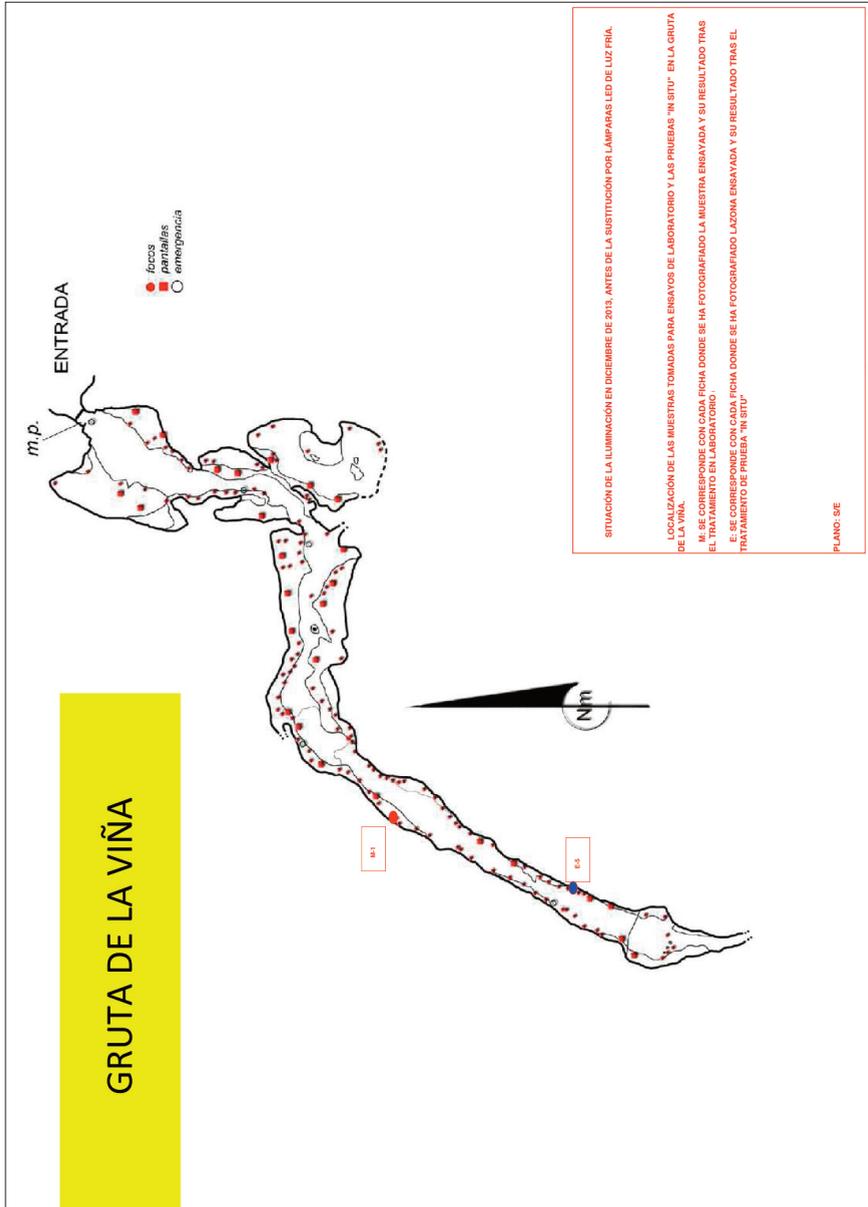
Se observa la rápida hidrolización de la solución, ya que la efervescencia del producto que en las pruebas de laboratorio duraba en el tiempo, en los ensayos “in situ” acaba a las pocas horas. Se deduce que este efecto es debido a la alta humedad relativa del aire de la cueva.

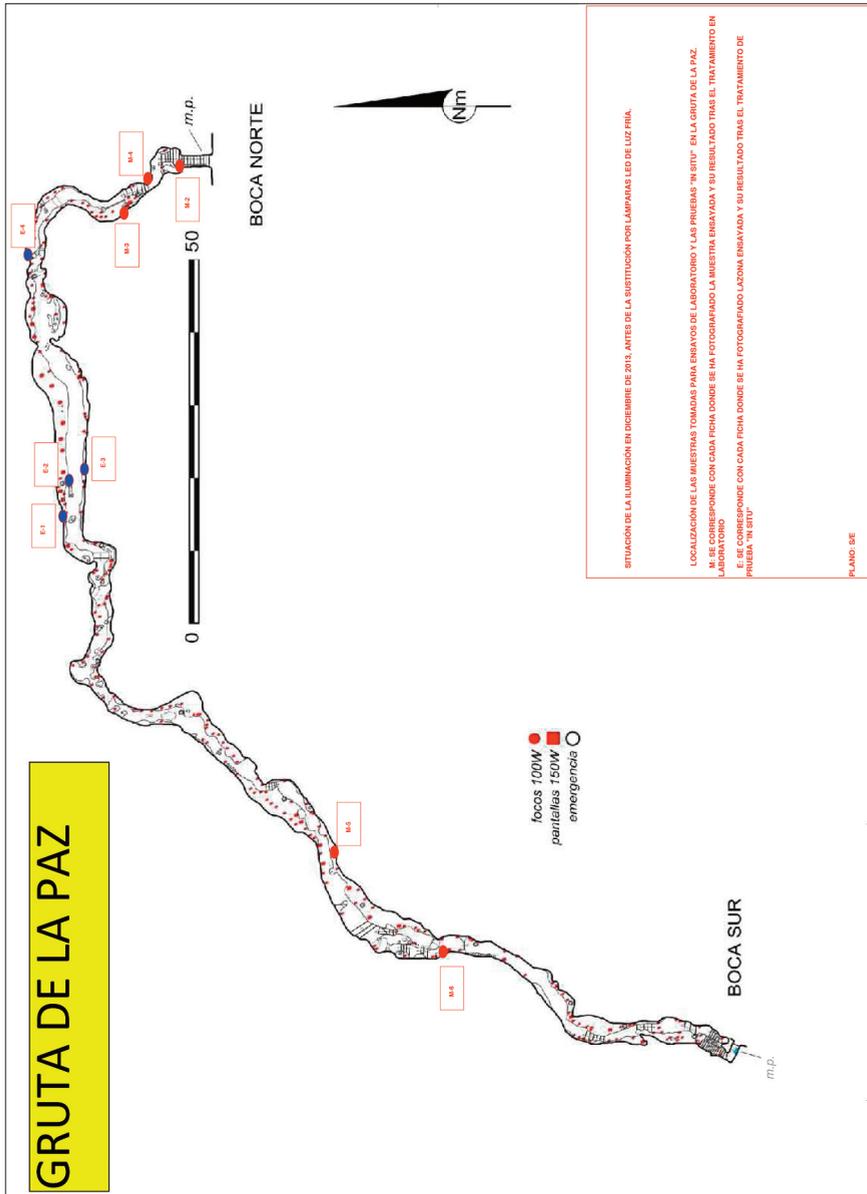
A pesar de ello, el proceso químico actuante es el mismo que se produce en el laboratorio. La única diferencia es la necesidad de repetir más veces la operativa del rociado sobre el espeleotema con la solución limpiadora.

El 24 de enero de 2014 se lavan las áreas con agua de manantial de Ortigosa de Cameros (Manantial de Santa Teodosia), ante la imposibilidad de lavar amplias áreas con agua destilada embotellada.

Es un agua de baja mineralización y lo más importante, no tiene tratamiento de cloración (Coloma, 1996).

Tras el lavado es destacable que las algas azules desaparecen en su totalidad, las algas verdes en un 60%. Las algas verdes en áreas pisolíticas se eliminan en un 75%. Las estalactitas ennegrecidas también se blanquean en un 75%.





El día 24 de enero, se vuelven a rociar las zonas que no se habían limpiado completamente, ésta vez con H_2O_2 presaturado al 25%. El 3 de febrero de 2014, la limpieza de estas áreas era total.

Indicar que todo este proceso está documentado en el Anexo Fotográfico 2.

5.5. Trabajo de limpieza

El trabajo de limpieza en las Grutas se inició el 4 de febrero de 2014. Se aplicó la solución de H_2O_2 al 15% a todas las áreas localizadas con proliferación algal (31 áreas en la gruta de la Paz y 11 áreas en la gruta de la Viña).

Se volvió a aplicar la solución el 7 de febrero y el 19 de febrero. Todas las aplicaciones se llevaron a cabo utilizando una bomba manual de presión para poder llevar la pulverización o chorro de solución a todos los rincones de las grutas donde habían crecido comunidades algales invasoras.

El 24 de febrero se procedió a aplicar agua de manantial mediante una bomba manual de presión sobre todas las áreas previamente tratadas con la solución de H_2O_2 .

Algunas áreas, sobre todo de algas verdes con mayor o menor calcificación, no quedaron limpias y se procedió a aplicar sobre estos puntos una solución de H_2O_2 al 25% durante el mes de marzo de 2014.

La limpieza se ha llevado a cabo con éxito en todos aquellos puntos donde la calcificación de las algas verdes no ha tenido lugar o ha sido muy somera. La cubrición de dichas algas con $CaCO_3$ de forma natural ha impedido que el H_2O_2 al 25% actúe eliminando la comunidad algal.

No se ha utilizado H_2O_2 en mayor concentración por ser perjudicial para los espeleotemas al acidificar las aguas subterráneas y al ser un elemento muy blanqueante que puede llegar a decolorar exageradamente aquellas estructuras calcáreas sobre las que se actúe.

Como se ha explicado anteriormente, el H_2O_2 presaturado con $CaCO_3$ convierte el peróxido en ácido carbónico (H_2CO_3) y por lo tanto y según la investigación bibliográfica y las pruebas de laboratorio a concentraciones de H_2O_2 superiores al 25%, el efecto del ácido carbónico sobre los espeleotemas es perjudicial ya que decolora en exceso el carbonato cálcico.

Por motivos de seguridad hacia la fauna y personal que estaba trabajando en el interior de las cavidades no se procedió a utilizar ningún proceso químico más agresivo como se ha explicado anteriormente.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En 2013 se licita el Proyecto de rehabilitación interior de las Grutas de La Paz y de La Viña en Ortigosa de Cameros (La Rioja) con un apartado específico de sustitución del sistema de iluminación existente por uno de luz fría

tipo LED y otro apartado específico de limpieza y regeneración de los espeleotemas colonizados por comunidades algales.

Dentro de este proyecto y durante 2014 se ha llevado a cabo una investigación bibliográfica detallada sobre el tema e igualmente se ha desarrollado el estudio integral de los métodos más adecuados para eliminar dichas comunidades algales que crecen a favor de las luces artificiales.

Se han llevado a cabo ensayos de laboratorio sobre muestras tomadas en las propias grutas. Posteriormente estos ensayos han sido testados en las propias cavernas. Finalmente, como método elegido se ha utilizado el peróxido de hidrógeno presaturado con CaCO_3 al 15% y al 25% para actuar sobre las áreas colonizadas por algas.

Una vez visto el resultado de los ensayos “in situ”, se ha procedido a actuar sobre todas las áreas afectadas siguiendo la metodología y parametrización que ha tenido éxito en dichas pruebas.

El resultado final ha sido muy satisfactorio en las cuarenta y dos zonas colonizadas por comunidades algales de las Grutas de Ortigosa de Cameros, las cuales han sido completamente removidas sin dañar los espeleotemas y sin riesgo para personas y fauna, devolviendo a estas cuevas visitables el aspecto con que sus descubridores las encontraron hace décadas.

Es por esto que podemos asegurar que la puesta en práctica del método científico y su aplicación en un Proyecto de obra como el que nos ocupa, reflejan la importancia de la ciencia experimental en la preservación de áreas de interés geológico, así como la extrapolación de resultados de investigación internacionales en el patrimonio natural de La Rioja.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Turismo del Gobierno de La Rioja y al Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros que han financiado el Proyecto. A D. Jesús Nájera como Arquitecto Director del Proyecto y a Construcciones y Rehabilitaciones Rafael Vega, S.L., por haber contado conmigo como asesor especialista en la materia.

Igualmente, al Prof. D. Arsenio Muñoz (Profesor de Estratigrafía de la Facultad de CC. Geológicas de la Universidad de Zaragoza), al Prof. D. Jiri Faimon (Profesor de la Facultad de Geología de la Universidad de Brno, República Checa) y al Dr. D. Juan José Durán (Presidente de la Asociación de Cuevas Turísticas de España), por sus consejos y recomendaciones antes y durante el desarrollo de estos trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

Aley, T. (1972): *Control of unwanted plant growth in electrically lighted caves. Caves and Karsts*, 14(5): 33-35.

- Anon, J. (1976): *The “clean” caves. Panorama*, 18(6): 1. *The Journal of Ansett Airlines of Australia*.
- Bonwick, J. et al. (1986). *Adequation and preservation of touristical cavities*. <http://www.jenolancaves.org.au/>.
- Calvo Palacios, J.L. (1976): *Los Cameros*. Instituto de Estudios Riojanos, 297 pp., Logroño.
- Casas, A.M. (1995): *El frente norte de las Sierras de Cameros: estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos*. *Zubía Monográfico* 4. 220 pp.
- Caumartin, V. (1985): *Review of the microbiology of underground environments*. *Bull. Nat. Speol. Soc.* v-25, pp. 1-14.
- Cigna, A. (2010): *The problema of lampenflora in show caves. Proc. Int. Environmental Changes in Karst Areas*. I.G.U.-U.I.S. Univ. De Padova, pp. 289-298.
- Colchen, M. (1974): *Geología de la Sierra de la Demanda*. IGME (Madrid), 436 p.
- Coloma, P. (1996): *Zonas húmedas de interés medioambiental relacionadas con la descarga de aguas subterráneas. Cuencas de los ríos Albama, Cidacos, Leza-Jubera e Iregua*. *Zubía monográfico* 8. Instituto de Estudios Riojanos. Pp. 187-204.
- Consejería de Educación, Cultura y Deportes (1986): *Catálogo de Cavidades de La Rioja*. Gobierno de La Rioja.
- De Lemus, C. et al. (1990): *Composición mineralógica de suelos desarrollados sobre calizas jurásicas de la Sierra de cameros. Cuadernos de Geología Ibérica* nº 14, pp. 269-281. Ed. Univ. Complutense. Madrid.
- Durán J. et al. (2007): *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*. IGME, 320 pp.
- Esteban Pérez, R. (1998): *Estudio Geológico y Ambiental de las cuevas de Ortigosa de Cameros*. Proyecto de adecuación turística de las cuevas de Ortigosa de Cameros: Programa Leader II de la U.E. y Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros. Inédito
- Esteban Pérez, R. (2011): *Estudio de las medidas tomadas para la remediación del impacto ambiental en las cuevas visitables de Ortigosa de Cameros (gruta de la Viña y gruta de la Paz) – La Rioja*. *Zubía Monográfico*, 23, pp. 221-250. Instituto de Estudios Riojanos. Gobierno de La Rioja.
- Esteban Pérez, R. (2014): *Memoria Final del Proyecto de Rehabilitación Interior de las cuevas de la Paz y de la Viña: Limpieza de espeleotemas*. Cervanco Geoconsultora. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, nº SV-889-02 (abril de 2014). Inédito.
- Faimon, J. et al. (2003): *Environmentally acceptable effect of hydrogen peroxide on cave “lamp-flora”. Calcite speleothems and limestones. Environmental Pollution*, pp. 417-422. Elsevier Science Ltd.

- Gazo, J. *et al* (1974): *Všeobecná a anorganická chemia. General and inorganic chemistry*. Alfa Bratislava, SNTL Praha.
- Goy, A. *et al* (1983): *Tectónica y estratigrafía mesozoicas: el Jurásico*. Tomo II. *Geología de España*: pp. 62-79. I.G.M.E. Madrid.
- Hebelka, J. *et al*. (2013): *Methodology of lampenflora removal in caves accessible for tourists. International Conference of cave lighting*, Budapest, 151-157.
- Johnson, K. (1980): *Control of lampenflora at Waitomo Caves, New Zealand*. Robinson, A.C. (Ed.), *Cave Managements in Australia* 111, National Parks and Wildlife Service and Australia Speleological Federation. Sydney, pp. 105-122.
- Knutson, S. (1974): *Cleaning calcite formations. Speleograph* 10(1): 9-10. Reprinted in Mixon, B., 1981. *Speleo Digest* 1974, National Speleological Society: Alabama, p. 226.
- Lemon, L. (1975): *Algae control and removal from cave formations in National Cave Management Symposium Proceedings 1975. Speleobooks*: Albuquerque, New Mexico, pp.: 64-65.
- Meléndez, A. (1989): *Estratigrafía del Jurásico de las hojas nº 241 (Anguiano) y Munilla*. C.G.S. Madrid
- Mulec, J. y Kosi, G. (2009): *Lampenflora algae and methods of growth control. Journal of Cave and Karst Studies*. V. 71, nº. 2, pp. 109-115.
- Nájera Martínez, J. (2013): *Proyecto de Rehabilitación Interior de las Grutas de la Paz y de la Viña en Ortigosa de Cameros*. Inédito.
- Newbould, R.L. (1974): *Steam cleaning of orient cave, Jenolan Caves, NSW, Jenolan Caves Hist. And preservation Soc., Occ. Pap. No 1. J.C.H. & P.S. Jenolan Caves*. 17 pp.
- Osácar, M. C. *et al*. (2013): *Geoquímica de elementos trazas en espeleotemas con laminación estacional de las cuevas de Ortigosa de Cameros (La Rioja). Geogaceta*, 53, pp. 109-112.
- Ramírez Merino *et al*. (1990): *Mapa Geológico de España* (1990). Hoja nº 241 (Anguiano). I.T.G.E. Madrid.
- Roth, J. (1995): *A remedy for «green sickness»*. Oregon Caves national Monument.
- Rohde, K. (1982): *Cave restoration and cave management*. Wilson & Lewis Ed. National Cave management Symposium Proceedings 1978, 1980. Pygmy Dwarf Press: Oregon, pp. 205-207.
- Williams, P. (1975): *Report on the conservation of Waitomo Caves*. N.Z. Speleol. Bull., 5(93): 386.

ANEXO FOTOGRAFICO I

MUESTRA DE ESTALACTITA CON MATERIA ORGÁNICA. GRUTA DE LA VIÑA (M-1)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO AL 15%



3/enero/2014



7/enero/2014

MUESTRA DE MUSGO. GRUTA DE LA PAZ (M-2)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO AL 15%



3/enero/2014



7/enero/2014

MUESTRA DE ALGA AZUL. GRUTA DE LA PAZ (M-3)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO.



3/enero/2014

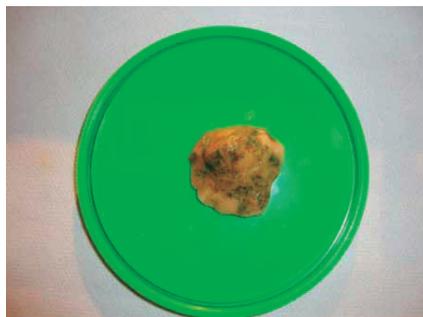


7/enero/2014

MUESTRA DE ALGA VERDE. GRUTA DE LA PAZ (M-4)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO AL 15%



3/enero/2014



7/enero/2014

MUESTRA DE ALGA VERDE. GRUTA DE LA PAZ (M-4)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (25%) SATURADO CON CaCO_3



11/enero/2014



14/enero/2014

MUESTRA DE PÁTINA DE ALGAS VERDES Y LÍQUENES. GRUTA DE LA PAZ (M-5)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 15% SATURADO CON CaCO_3



3/enero/2014



10/enero/2014

MUESTRA DE PÁTINA DE ALGAS VERDES Y LÍQUENES. GRUTA DE LA PAZ (M-5)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 25% SATURADO CON CaCO_3



10/enero/2014



17/enero/2014

MUESTRA DE ALGA VERDE EN FORMA DE PISOLITOS. GRUTA DE LA PAZ (M-6)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 15%



3/enero/2014



7/enero/2014

MUESTRA DE ALGA VERDE EN FORMA DE PISOLITOS. GRUTA DE LA PAZ (M-6)
TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (25%) SATURADO CON CaCO_3



11/enero/2014



14/enero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-1)

ALGAS AZULES

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO AL 15%



14/enero/2014



24/enero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-2). ALGAS VERDES SOBRE ESTALAGMITA

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SATURADO AL 15%



14/enero/2014



24/enero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-2)

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 25% SATURADO CON CaCO_3



24/enero/2014



3/febrero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-2)

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 25% SATURADO CON CaCO_3



3/febrero/2014



1/abril/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-3)

PISOLITOS

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 15% SATURADO CON CaCO_3



14/enero/2014



24/enero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-3)

PISOLITOS

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 25% SATURADO CON CaCO_3



24/enero/2014



3/febrero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-4)

COLADA CALCÁREA

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 15% SATURADO CON CaCO_3



14/enero/2014



24/enero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA PAZ (E-4)

COLADA CALCÁREA

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 25% SATURADO CON CaCO_3



24/enero/2014



3/febrero/2014

ENSAYOS IN SITU. GRUTA DE LA VIÑA (E-5)

ESTALACTITAS ENNEGRECIDAS POR HUMUS

TRATADA CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO AL 15% SATURADO CON CaCO_3



14/enero/2014



24/enero/2014



ZUBÍA

30



Gobierno de La Rioja
www.larioja.org



**Instituto
de Estudios
Riojanos**