

ZUBÍA

REVISTA DE CIENCIAS

MONOGRÁFICO

23

ier

Instituto de Estudios Riojanos

ZUBÍA. MONOGRÁFICO
REVISTA DE CIENCIAS,
Nº 23 (2011). Logroño (España).
P. 1-258, ISSN: 1131-5423



DIRECTORA

Purificación Ruiz Flaño

CONSEJO DE REDACCIÓN

Luis Español González

Rafael Francia Verde

Juana Hernández Hernández

Luis Miguel Medrano Moreno

Enrique Requeta Loza

Rafael Tomás Las Heras

CONSEJO CIENTÍFICO

José Antonio Arizaleta Urarte

(Instituto de Estudios Riojanos)

José Arnáez Vadillo

(Universidad de La Rioja)

Susana Caro Calatayud

(Fundación Patrimonio Paleontológico de Enciso)

Eduardo Fernández Garbayo

(Universidad de La Rioja)

Rosario García Gómez

(Universidad de La Rioja)

José M^a García Ruiz

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

Javier Guallar Otazua

(Universidad de La Rioja)

Teodoro Lasanta Martínez

(Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC)

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)

Eduardo Viladés Juan

(Complejo Hospitalario San Millán-San Pedro de 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

ZUBIA

REVISTA DE CIENCIAS

Monográfico Núm. 23

EL CAMBIO GLOBAL: ESTUDIOS EN LA RIOJA

Coordinador

TEODORO LASANTA MARTÍNEZ



Gobierno de La Rioja
Instituto de Estudios Riojanos

LOGROÑO

2011

El cambio global: estudios en La Rioja/ coordinador, Teodoro Lasanta Martínez. – Logroño : Instituto de Estudios Riojanos, 2011
258 p. : gráf. ; 24 cm – (Zubía. Monográfico, ISSN 1131-5423; 23). – D.L. BI 428-1991
1. La Rioja-Clima. I. Lasanta Martínez, Teodoro. II. Instituto de Estudios Riojanos.
III. Serie
551.58(460.21)
556.5

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse ni transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún 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, 2011
Instituto de Estudios Riojanos
C/ Portales, 2
26001-Logroño, La Rioja (España)

© Diseño de cubierta e interior: ICE Comunicación

© Imagen de la cubierta: Revegetación en el Alto Oja.
(Fotografía de Teodoro Lasanta)

Imprime: INO Reproducciones, S.A.

ISSN 1131-5423
Depósito Legal BI-428-1991

Impreso en España - Printed in Spain

ÍNDICE

TEODORO LASANTA

El cambio global: estudios en La Rioja

Global change studies in La Rioja 7-16

ANA PÉREZ SANZ, PENÉLOPE GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, BLAS L. VALERO-GARCÉS, ANA MORENO, MARIO MORELLÓN, CARLOS SANCHO, ANCHEL BELMONTE, GRACIELA GIL-ROMERA, MIGUEL SEVILLA, ANA NAVAS

Clima y actividades humanas en la dinámica de la vegetación durante los últimos 2000 años en el Pirineo Central: el registro palinológico de la Basa de la Mora (Macizo de Cotiella)

Climatic and human activity in the vegetation dynamics of Central Pyrenees during the last 2000 years: the Basa de la Mora record (Cotiella Massif) 17-38

RAFAEL FERNÁNDEZ ALDANA

La presencia de robles entre los siglos XVIII y XX en el valle del Ebro (La Rioja)

Presence of deciduous oaks in the Ebro Valley (La Rioja) during XVIII, XIX and XX centuries 39-54

TEODORO LASANTA, MARÍA PAZ ERREA ABAD, SERGIO M. VICENTE-SERRANO, JOSÉ ARNÁEZ

La diversidad de la cubierta vegetal en campos abandonados del Leza y Jubera (Sistema Ibérico, La Rioja) a partir del SIOSE

Land cover diversity in abandoned fields in the Leza and Jubera valleys (Iberian System, La Rioja) from SIOSE 55-78

FERNANDO PÉREZ-CABELLO

Actividad vegetal de las cuencas de los ríos Cidacos y Alhama (La Rioja): análisis diacrónico mediante imágenes Landsat

Vegetation activity of the Cidacos and Alhama Rivers Basins (La Rioja): diachronic analysis using Landsat imagery 79-102

JESÚS JULIO CAMARERO MARTÍNEZ

Dinámica post-incendio de la vegetación en un valle del Alto Najerilla

Post-fire vegetation dynamics in the High Najerilla Valley 103-124

JAVIER MARTÍNEZ-ABAIGAR, RAFAEL TOMÁS LAS HERAS, GABRIEL FABÓN, LAURA MONFORTE, ENCARNACIÓN NÚÑEZ-OLIVERA

Bioindicadores del cambio global: los briófitos ante la degradación de ozono estratosférico y el aumento de radiación ultravioleta en la Biosfera

Global Change bioindicators; impacts of stratospheric ozone degradation and increased ultraviolet radiation in bryophytes 125-162

**ENCARNACIÓN NÚÑEZ-OLIVERA, RAFAEL TOMÁS LAS HERAS,
MARÍA DE LOS ÁNGELES DEL CASTILLO, GABRIEL FABÓN, LAURA MONFORTE,
JAVIER MARTÍNEZ-ABAIGAR**

Radiación ultravioleta y fotosintética en dos observatorios de montaña

(Valdezcaray, La Rioja)

Ultraviolet and photosynthetic radiations in two mountain observatories

(Valdezcaray, La Rioja) 163-186

ALFREDO OLLERO OJEDA

Los cauces fluviales como indicadores de cambio global: propuesta metodológica

Rivers channels as geoindicators of global change: methodological approach 187-200

BELINDA GALLARDO, CECILIA ESPAÑOL

El mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*, Pallas 1971) en La Rioja: situación actual
y evolución potencial

The zebra mussel (Dreissena polymorpha, Pallas 1971) in La Rioja (NE Spain):

current situation and potential evolution 201-220

RUBÉN ESTEBAN PÉREZ

Estudio de las medidas tomadas para la remediación del impacto medioambiental
en las cuevas visitables de Ortigosa de Cameros (Gruta de La Viña y Gruta
de La Paz), La Rioja

Study of the steps taken to the environmental remediation on the tourist caves of

Ortigosa de Cameros (Cave of La Viña and Cave of La Paz), La Rioja (Spain) 221-250

ESTUDIO DE LAS MEDIDAS TOMADAS PARA LA REMEDIACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL EN LAS CUEVAS VISITABLES DE ORTIGOSA DE CAMEROS (GRUTA DE LA VIÑA Y GRUTA DE LA PAZ). LA RIOJA

RUBÉN ESTEBAN PÉREZ¹

RESUMEN

Las Grutas turísticas de Ortigosa de Cameros (Gruta de la Viña y Gruta de la Paz) son uno de los mejores exponentes del patrimonio geológico de La Rioja. Su cuidado y preservación debe ser una prioridad para las autoridades con competencias en la materia. En los años 1998-1999, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros y el Programa europeo Leader II, financiaron el estudio geológico y medioambiental de dichas cavidades subterráneas para poner de manifiesto los problemas que la masiva afluencia de público a dichas cavernas generaban en los espeleotemas y que eran patentes para el público en general. Los problemas de sequedad y decoloración y los generados por comunidades algales y microorganismos fueron los que se encontraron como más perjudiciales para la conservación de las estructuras calcáreas que se han formado en dichas cuevas. También se incluyen en el texto diversos métodos para la remediación de dichos problemas y una serie de valoraciones del resultado de la puesta en marcha de dichas medidas en estos once años que han transcurrido desde la realización del proyecto.

Palabras clave: Gruta, espeleotema, medio ambiente, remediación, Ortigosa (La Rioja).

Tourist caves of Ortigosa de Cameros (Cave of La Viña and Cave of La Paz), are one of the best examples of the geological heritage in La Rioja (Spain). Their care and preservation should be a priority for the authorities with competence in these caves. In the years 1998-1999, the Council of Ortigosa de Cameros and the European Leader II Programme, financed the geological and environmental project of these caves to highlight the problems that

1. Geólogo. Investigador Agregado, Instituto de Estudios Riojanos, Consejería de Educación, Cultura y Deporte, Gobierno de La Rioja, c/ Portales, 2, 26071 - Logroño.

the massive number of visitors generated in the speleothems and that were evident to the public. The problems of dryness and discoloration and those generated by algae or bacteria communities were found to be more harmful to the conservation of the calcareous structures that have formed in the caves. Also included in the text are several methods to remediate these problems and a series of assessments of the result of the implementation of such steps in the eleven years that have elapsed from the realization of the project.

Key words: *Cave, Speleothem, Environment, Remediation, Ortigosa (La Rioja).*

1. INTRODUCCIÓN

Desde los albores de la historia, el ser humano ha sentido un gran interés por las cavidades subterráneas naturales, denominadas generalmente grutas o cavernas. Este mundo a lo largo de los siglos siempre ha estado rodeado de misterio, leyenda y atracción irresistible.

Aunque en un principio produjeron terror ya que se les consideraba como los “respiraderos del Infierno”, las cavernas poco a poco fueron ocupando un lugar dentro del romanticismo y posteriormente pasaron a ser un atractivo para el turismo y la ciencia, campos que corrían paralelos a un mundo nuevo e ideal, jamás antes imaginado, de logros deportivos.

Fue el francés Edouard Alfred Martel el que definió el término “espeleología” hacia el año 1890 a partir de los vocablos griegos *spelaiion* (caverna) y *logos* (tratado), siendo el creador de la espeleología moderna. Más adelante, en 1892, el también francés Louis de Nussac propondría otro término, el de “espeleología”. Sin embargo, éste tenía el inconveniente de proceder del griego *speos*, que designa específicamente las cavidades artificiales.

En realidad, Martel, como otros espeleólogos de la época, tales como Gaupillat o Launay, era más un explorador de cavernas que un científico en el sentido actual de la palabra. Sin embargo, estaba en lo cierto al pensar que la exploración de las cavidades subterráneas no era una simple extravagancia propia de la moda de aquel entonces, sino una actividad seria y útil, y puesto que en el siglo XIX la ciencia se consideraba una actividad bienhechora para la Humanidad, desde entonces las aventuras subterráneas fueron entendidas por definición como una actividad científica. Actualmente el término “espeleología” designa más la exploración deportiva de las cavernas que el estudio científico de las mismas.

En España, el estudio de las cavidades subterráneas se introduciría en el siglo XIX por el antes citado Martel, realizando la exploración de las cuevas del Drach en Mallorca en 1896. Le seguirían mosén Norbert Font y Segué, geólogo catalán de finales del siglo XIX, quien escribió el Catálogo Espeleológico de Cataluña; Vilanova y Piera, geólogo y paleontólogo valenciano de comienzos del siglo XX y Mariá Faura y Sans, espeleólogo catalán de comienzos del siglo XX, quien realizó el Mapa Geológico de Barcelona, entre otros trabajos.

En el ámbito de La Rioja, y más en concreto en Cameros, Melchor Vicente (maestro de la escuela de Ortigosa de Cameros durante la primera mitad del siglo XX y gran aficionado a la paleontología) nombra en su libro “La Villa de Ortigosa de Cameros” al geólogo francés Lartet (no queda claro si Edouard o su hijo Louis), quién exploró unas veinte cuevas en Torrecilla en Cameros, Nieva de Cameros y Ortigosa de Cameros hacia 1866. De todo esto se deduce que treinta años antes de que Martel viniera a España ya se habían realizado exploraciones espeleológicas en La Rioja.

Por último, cabe mencionar al ingeniero Garin y Modet y su estudio en 1913, centrado, principalmente, en hallazgos arqueológicos sobre varias cuevas en la cuenca del río Iregua.

Sin embargo, todos los ingredientes esenciales de la moderna investigación subterránea ya se encuentran contenidos en un texto atribuido a Leonardo Da Vinci en el siglo XVI: *“Impelido por un vivo afán, ansío ver la gran confusión de las formas diversas y extrañas obradas por la artificiosa naturaleza; tras vagar entre umbrosos peñascos, llegué a la entrada de una gran caverna ante la cual detúveme estupefacto, ignorante de su existencia, doblado mi espinazo en arco y posando la cansada mano en la rodilla, cubriendo con la diestra mis párpados entornados; y agachándome ora a un lado ora a otro para ver si allá adentro discernía alguna cosa. E impidióme hacer tal cosa la gran oscuridad que allí dentro reinaba, y, transcurrido algún tiempo, de súbito se despertaron en mi dos cosas: temor y deseo; temor inspirado por la amenazadora y oscura espelunca; deseo de ver si dentro de ella hubiese algo milagroso“.*

2. EL CARST. RELIEVE CÁRSTICO EN LA RIOJA

Las primeras investigaciones sobre cavernas subterráneas en macizos calcáreos se realizaron en la región situada entre Trieste y Ljubljana que ha recibido sucesivamente los nombres de Karst, Carso y Kras, según perteneciese al Imperio Austrohúngaro (hasta 1918), a Italia (hasta 1945) o a la antigua Yugoslavia.

Por consideración histórica se denominan “fenómenos cársticos” al conjunto de características propias de la morfología e hidrogeología superficial y subterránea de regiones calcáreas. Los estudios del karst se iniciaron con Jonan Cvijic, quién en 1893 definió sus formas y procesos.

Los relieves cársticos actuales se han generado sobre rocas de la Era Mesozoica o Cenozoica; suponen, aproximadamente, un 10% de las rocas aflorantes en la corteza terrestre (Hom, 1962).

En cuanto a los factores que condicionan la aparición de un karst y su desarrollo podemos nombrar el agua, siempre presente pero cuyas acciones pueden ser muy variadas, la naturaleza de las rocas y su grado de fracturación, su disposición topográfica, la climatología pasada y actual, el tiempo necesario para crearse las cavernas y, finalmente, diversos factores biológicos, sin olvidar tampoco el papel del hombre y el del medio ambiente geográfico.

Si hablamos de su constitución, hay que destacar que los modelados cársticos son eminentemente erosivos y de difícil análisis, ya que aunque son persistentes en el tiempo son poco perceptibles (de 5 a 10 mm. de disolución cada 100 años). Aunque hay varios procesos que actúan sobre el carst, es la disolución el dominante. De igual forma, es complejo conocer el modelo tridimensional de un carst, ya que son modelados subterráneos y, por último, no hay una relación clara entre las zonas endocársticas y exocársticas debido a que se da una aparente desconexión entre unas formas y otras.

La caliza compacta, con consistencia considerable unida a una fisuración importante, permite que las aguas penetren profundamente y ejerzan sus acciones físicas y químicas. Un bloque de caliza sin fisuras no podría contener ninguna cavidad.

Las calizas del Encinedo, nombre local que se le atribuye al área donde se localizan las cuevas objeto de este estudio, presentan una gran homogeneidad en su composición mineralógica, puesto que están formadas casi exclusivamente por calcita, con indicios de cuarzo y filosilicatos. En el proceso de edafización que sufren, se produce una importante y progresiva disminución de la calcita, con el consiguiente aumento de filosilicatos y cuarzo, que llegan a ser mayoritarios. En el suelo se detectan indicios de feldespatos que debían ser muy escasos en la roca madre.

La mayoría de las masas calcáreas se presentan como una acumulación de bancos bien estratificados y limitados por discontinuidades de sedimentación llamadas juntas de estratificación. Además de éstas, existen grietas más o menos perpendiculares a los bancos.

Esta fracturación convierte los macizos calcáreos 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 aseguran la conservación de los huecos.

Hay rocas en las que pueden producirse cavernas y otras en las que difícilmente se podrían producir. Así, en arcillas o arenas, se puede decir que nunca hay verdaderas grutas. Si por alguna causa se provocase el nacimiento de una cavidad en estos materiales, la plasticidad de aquellas y la falta de coherencia de éstas, provocaría su obstrucción casi inmediata.

Las condiciones topográficas desempeñan un papel primordial en la formación de cuevas subterráneas. Cuando se trata de relieves escarpados, el agua de lluvia y de fusión de nieve mostrará tendencia a correr por la superficie en vez de penetrar en la roca y habrá pocas cavernas. Los fenómenos cársticos se inhiben con precipitaciones menores de 250 a 300 mm.

En el caso de mesetas de altitud relativa considerable respecto a los valles circundantes, la desaparición de las aguas será máxima, las simas verticales serán numerosas e importantes, pero raras las galerías horizontales. Las mesetas de escasa altitud relativa, presentarán grandes redes de galerías, unidas por pozos más sencillos.

La historia de una red subterránea será el resultado de las alternancias climáticas acaecidas entre el comienzo de su desarrollo y su estado actual.

Las aplicaciones de los estudios sobre relieves cársticos son importantes para diversas disciplinas científicas y técnicas:

- Sirven para conocer la hidrogeología de un área ya que pueden contener importantes potenciales hídricos.
- Desde el punto de vista geotécnico, conocer un relieve cárstico minimiza posibles riesgos geológicos que pueden afectar a las construcciones que se asienten sobre ellos ya que están continuamente modificándose por el efecto de procesos físico-químicos. Una de sus más importantes aplicaciones la encontramos en el diseño de embalses y presas.
- Desde un punto de vista medioambiental, las cavidades que se crean en un relieve cárstico suelen utilizarse y de hecho son demasiados los casos, como vertederos incontrolados. Como consecuencia estos vertidos están alimentando y, por lo tanto, contaminando la red endocárstica.
- Las calizas pueden albergar metales y de esta forma, al disolverse su carbonato cálcico, queda un residuo insoluble rico en mineral (Fe^{2+} a Fe^{3+}). Los relieves cársticos en ocasiones, cumplen un importante papel como reservorios minerales explotables.
- Por último, son muchas las cavidades y cuevas cársticas que han sido acondicionadas para el turismo, aportando un gran desarrollo económico a las áreas donde se localizan.

3. EL PROYECTO DE ADECUACIÓN TURÍSTICA DE LAS CUEVAS DE ORTIGOSA DE CAMEROS

En 1997 y 1998, el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros, a través de fondos del programa Leader II de la Unión Europea, encarga la realización del Proyecto de adecuación ambiental de las cavidades cársticas visitables de su término municipal, denominadas Gruta de La Paz y Gruta de La Viña.

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 estos trabajos fue la definición de los rasgos medio ambientales de las cuevas y 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 pretendía aportar soluciones a estos problemas y un cronograma de vigilancia ambiental para comprobar el funcionamiento y la rentabilidad de las medidas que se adoptasen.

Los trabajos realizados, tanto en el interior como en el exterior de las cuevas, para definir los problemas ambientales más notables y tomar los datos necesarios para su evaluación fueron:

- Rasgos geológicos generales de las cavidades. Caracterización litoestratigráfica de los materiales. Observación de las estructuras geológicas. Análisis de los procesos geomorfológicos que afectan a los materiales.
- Reconocimiento centrado en definir los procesos físico-químicos que afectan a las grutas, rasgos climáticos, hidrogeológicos y aspectos geológicos de las cavidades que pudieran influir en el deterioro de los espeleotemas que albergan.
- Caracterización de la red hidrográfica, análisis de la situación geográfica, morfológica y descripción de los elementos hidrológicos y surgencias de agua.
- Definición de las características acuíferas de la zona.
- Mediciones de temperaturas, humedad relativa y corrientes de aire.
- Observaciones respecto a la flora y fauna cavernícola que puedan afectar o verse afectadas por las variaciones climáticas y posible influencia antrópica en las cavidades.

A partir de este desarrollo, se evaluarían los impactos medioambientales más significativos y se plantearían una serie de medidas para paliar o eliminar las afecciones a los espeleotemas. Estas medidas se pondrían en funcionamiento a partir de 1999-2000 y se evaluarían en periodos de tiempo determinados y lo suficientemente largos como para poder valorar si dichas medidas surtían el efecto deseado.

4. ÁMBITO DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

El estudio se centró en el Macizo del Encinedo, dentro del término municipal de Ortigosa de Cameros y en las cavidades cársticas acondicionadas para el turismo que alberga, denominadas Gruta de la Viña (Y= 42° 10'49", X= 0° 58'50" y 113'4 mts. de longitud) y Gruta de la Paz (Y= 42° 10'50", X= 0° 58'52" y 236 mts. de recorrido).

Estas cuevas cuentan con una afluencia turística de magnitud considerable, que según datos del Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros ronda unos 16.000 visitantes anuales de media (con picos de 35.000 visitantes en los años 2005-2007), repartidos durante todo el periodo estival, los fines de semana de primavera y otoño y las vacaciones de Semana Santa. Además, hay que añadir los grupos organizados: estudiantes, jubilados, ... a lo largo de todo el año.

En el Macizo del Encinedo existen otras cavidades, no acondicionadas para el turismo, denominadas Cuevas de Albercos I, II y III; Cueva del Cerauco; 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 y Cueva del Tejón.



Fig. 1.



Fig. 2.



Foto 1. Vista general del Macizo del Encinado con la entrada/salida norte de la Gruta de La Paz y la entrada/salida única de la Gruta de la Viña.

5. MEDIO AMBIENTE SUBTERRÁNEO. FLORA Y FAUNA DE LAS CAVIDADES

En el interior de las cavidades podemos encontrar flora, microorganismos relacionados con dicha flora y en menor medida, algunas especies propias de la fauna típica cavernícola.

La flora 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, logrando sobrevivir en las precarias condiciones de un medio al que no pueden adaptarse plenamente.

Según la intensidad de luz natural, se pueden encontrar cuatro zonas de crecimiento vegetal sucesivas en las cavernas: la 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.



Foto 2. Vista de la entrada norte de la Gruta de la Paz donde se observa el crecimiento vegetal por zonas de plantas criptógamas y musgos.

Por otro lado, los vegetales manifiestan siempre un fototropismo positivo, es decir, que la planta suele tener un alargamiento de los tallos y una curvatura en dirección a la boca de la gruta. Las cuevas de la Viña y de la

Paz, de bocas estrechas orientadas hacia el Norte, son particularmente pobres en vegetales superiores, y como el umbral de luz está por debajo del inferior, las plantas sobreviven con tendencia al enanismo o simplificación general simultánea del aparato vegetativo.

Así mismo, la reducción de luminosidad repercute gravemente en las funciones reproductoras de los vegetales. En las fanerógamas, las flores y las semillas prácticamente desaparecen. En los helechos, puede subsistir el aparato esporífero, pero las propiedades germinativas de las esporas llegan a ser nulas. Los hongos pueden prescindir de la luz para vivir, pero entonces tienen que disponer de materias minerales y orgánicas fácilmente asimilables por los fermentos que segregan. Esto raramente se cumple en las cavernas y es por ello que los hongos no podrán tener función reproductora plenamente desarrollada. Los musgos suelen vivir en forma de "*protonema*" verde sin convertirse nunca en adulto y son estériles, así como las hepáticas. Las algas verdes pueden reproducirse por escisiparidad (multiplicación asexual por escisión de partes donde cada una de ellas origina un ser completo) hasta en la oscuridad más absoluta lo que hace que puedan preparar el terreno para el crecimiento de musgos e incluso de helechos alrededor de puntos de luz artificiales hasta el punto de poder formarse verdaderos jardines verdes. Los líquenes también dejan de tener esporas y conidios.

En este sentido, alrededor de los puntos luminosos artificiales en el interior de las cuevas se constata una clara zonación de vegetales desarrollados. Una primera zona se desarrolla a una cierta distancia de la luz. Una segunda zona se desarrolla como una aureola, en la que las condiciones de luminosidad y de temperatura son más óptimas para el crecimiento y, finalmente, un círculo central privado de vegetación a consecuencia del calor excesivo producido por la luz artificial.

El factor de la climatología exterior desempeña un papel importante en el desarrollo de la vegetación subterránea. En las aberturas cálidas (sacos de aire ascendentes como lo es la Gruta de la Viña, como se verá más adelante), se favorecen más las condiciones para el crecimiento vegetal. Otro factor importante en el desarrollo de la vegetación cavernícola es la humedad existente en el interior de la cavidad.

Respecto a los microorganismos subterráneos, en la mayor parte de los casos son bacterias relacionadas con algas, levaduras relacionadas con los hongos e intermedios entre ambos o actinomicetos. Se encuentran en todas partes, polvo en el aire, en el agua, en las arcillas de descalcificación, en los espeleotemas y en poros y microfisuras de las rocas. Su misión subterránea es poco conocida; pero se cree que todas las concreciones calcáreas se hallan bajo la influencia de estas bacterias, ya que, como se ha dicho, existen en las aguas y son las causantes del "*moonmilk*" que va destruyendo los espeleotemas. En ambas grutas existen zonas donde los espeleotemas están cubiertos de este "*moonmilk*", pero aparecen especialmente bien desarrolladas en las proximidades de la entrada SO de la cueva de La Paz. Su forma de interactuar con los espeleotemas se resume en un proceso de corrosión bio-



Foto 3. Vista del crecimiento algar alrededor de un punto de luz generador de calor donde se observan las distintas zonas de crecimiento.

química, seguida de un redimensionamiento microcristalino, ya que bajo tierra es posible para muchos de estos seres vivir como organismos autótrofos, obteniendo la energía necesaria para su existencia de las reacciones químicas que provocan en su substrato mineral.



Foto 4. Vista de un espeleotema cubierto de *moonmilk* relacionado directamente con crecimiento algar.

Y 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 ese el objeto del estudio no se ha profundizado en la búsqueda y catalogación de otros tipos de animales.

6. PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS EN LAS GRUTAS QUE AFECTAN A LOS ESPELEOTEMAS

Martel en 1849 ya había demostrado la existencia de ciertos fenómenos que condicionan la climatología subterránea.

Andrieux, en 1967 demostró que eran las variaciones de temperatura, humedad y presión del aire exterior quienes desencadenaban los movimientos de aire en las redes subterráneas y que siguiendo las amplitudes y las frecuencias de estas variaciones, las cuevas podían estar sometidas a velocidades de ventilación elevadas.

La ecuación en la que trabajó indica que son las variaciones de la masa volúmica del aire exterior y no solamente las variaciones de temperatura, quienes producen los movimientos del aire subterráneo. Es por esto que si llamamos respectivamente W_{ext} y W_{sub} a las masas del volumen de aire exterior y del aire subterráneo, para una altitud y para un tiempo dado se demuestra que:

a) si $W_{ext} > W_{sub}$

Cueva con una abertura:

Suelo _____> aspirante

Bóveda _____> soplante (inyector del aire).

Cueva con varias aberturas:

Abertura baja _____> aspirante

Abertura alta _____> soplante

b) si $W_{ext} < W_{sub}$

Cueva con una abertura:

Suelo _____> soplante

Bóveda _____> aspirante

Cueva con varias aberturas:

Abertura baja _____> soplante

Abertura alta _____> aspirante

c) si $W_{ext} = W_{sub}$

Todos estos mecanismos se han observado en las grutas de Ortigosa según las estaciones:

El a) corresponde a la estación fría.

El b) corresponde a la estación cálida.

El c) a las interestaciones (hay dos a lo largo de un ciclo anual).

El desplazamiento de las masas de aire es el responsable de toda la evolución climática de la red subterránea siguiendo la velocidad con la cual el aire

exterior penetra a través de los orificios del macizo. Este desplazamiento tiene como consecuencia el hecho de que se produzcan transformaciones termodinámicas, por lo que el calor puede transmitirse de maneras distintas en función de los calores máscicos de diferentes cuerpos en contacto con la atmósfera y del tipo de aire que consideremos (Schuellerh., 1962; Schlichting, 1965).

Por otro lado, al mezclar varios gases que no reaccionan entre sí (en las cuevas, el exterior y el interior) en un compartimento estanco sometido a la acción de la gravedad, el equilibrio se alcanza por difusión, resultando una temperatura homogénea y una estratificación de componentes ordenados en densidades decrecientes con la altura.

En el caso de la Gruta de la Viña, de una sola boca, se produce una circulación llamada en “saco de aire” y en este caso el desplazamiento del aire depende de que la cavidad sea en cada uno de sus tramos de tipo ascendente, horizontal o descendente y de la estación climática.

La Gruta de la Paz, sin embargo, posee dos bocas situadas aproximadamente a la misma altitud con lo que las corrientes de aire que se producen por el sistema en “tubo de viento” son de muy poca intensidad.

En cuanto al régimen de aireación, en las Grutas es permanente y siendo el flujo de aire laminar, turbulento o mixto dependiendo de la rugosidad relativa del substrato sobre el cual éste circula. Para detectar y localizar posibles células de convección se ha utilizado el método de los globos libres poco lastrados. Estos circulan en masas de aire de la misma densidad que ellos y nos informa sobre el régimen de ventilación. Si éste es en régimen laminar, los movimientos son ordenados y estratificados en hilos paralelos y los globos se desplazarán de forma paralela entre ellos. Si la ventilación es de régimen turbulento, los globos chocan entre ellos y contra las paredes, pueden estar parados algunos instantes y luego seguir sus movimientos, dar vueltas sobre sí mismos, etc.

Respecto a los fenómenos de evaporación y de condensación, también son estacionales. En las cuevas, este fenómeno debido a la variación de temperatura que sufren con el paso de visitantes y el efecto de las luces artificiales, no se ha observado tan claramente como en otras cavidades no turísticas donde se observan paredes llenas de pequeñas gotas de agua o fenómenos de niebla.

El aire de las cuevas está más enriquecido en nitrógeno y empobrecido en oxígeno debido a los suelos y se da así mismo una acumulación mayor de lo normal en anhídrido carbónico en las zonas profundas.

También tiene este aire un mayor porcentaje en vapor de agua debido a las características intrínsecas de las calizas que hacen que el agua mantenga elevada siempre su humedad relativa al evaporarse en las cuevas, favoreciendo al arrastre de CO₂.

7. VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LAS GRUTAS

Las cuevas de Ortigosa de Cameros fueron descubiertas y exploradas en la década de los años 60 del siglo XX. Después de instalar los equipos de iluminación artificial que consistieron en bombillas incandescentes de luz amarilla que han perdurado hasta finales de los años 90 y de construir la boca artificial en la Gruta de la Paz, se ha observado que con el paso de los años se ha creado una correlación entre el número cada vez mayor de visitantes anuales y la rápida decoloración, deterioro y colonización por vegetales de los espeleotemas de las cavernas.



Foto 5. Vista desde la entrada sur de la gruta de la Paz donde se observa la extrema sequedad y decoloración de los espeleotemas.



Foto 6. Vista de un espeleotema cubierto de una película algar recubriendo totalmente el sustrato mineral.

La decoloración y desecación de los espeleotemas es máxima en la entrada de las dos grutas siendo mucho más importante en la boca artificial de la Gruta de la Paz (boca sur).

Según Sánchez Castillo y Bolívar (1995) son varias las comunidades de microalgas (Cyanophyceae, Chlorophyceae y Bacillariophyceae) que pueden producir el deterioro superficial asociado a patentes alteraciones cromáticas en los espeleotemas. Podemos localizar los siguientes tipos de deterioros producidos por comunidades algales en los espeleotemas de ambas grutas:

Las pústulas, constituidas por núcleos poblacionales que representan estadios iniciales de colonización. Presentan forma semiesférica de tamaño variable, aunque en la mayoría de los casos son pequeñas y de color verde más o menos oscuro hasta negras. Están asociadas al deterioro denominado picado o “*pitting*”.

Las películas son finas láminas bastante homogéneas correspondientes a la fase secundaria de desarrollo que supone un gran aumento de la cobertura del sustrato, sin suponer un incremento de la complejidad de especies y biotipos. Estas comunidades dan origen a numerosas pátinas coloreadas y a delaminaciones.

Los tapetes son láminas gruesas que se caracterizan por presentar especies del biotipo filamentososo y estar normalmente estratificadas. Dan lugar a separación de películas y a diversos tipos de biomineralización.

Y por último, las bacterias asociadas a las algas también destruyen las concreciones y son las responsables del “*moonmilk*”.



Foto 7. Vista de un tapete algar con diferentes tipos de algas que cubre totalmente un sustrato mineral.



Foto 8. Vista de detalle de un espeleotema afectado por el moonmilk.

8. TÉCNICAS DE SUPRESIÓN Y MEDIDAS PREVENTIVAS

8.1. Respecto a la decoloración y sequedad

8.1.1. GRUTA DE LA PAZ

La Gruta de la Paz tiene dos aberturas a diferente altitud sobre el nivel del mar, generando una circulación de aire con independencia de la distancia que las separa a pesar de tener actualmente su boca artificial (boca sur) cerrada con una puerta maciza. Desde la instalación de esta puerta la cueva actúa en determinados momentos como si sólo tuviera una salida al exterior y cuando ésta se abre, como si tuviese dos. Su mecanismo de termocirculación se denomina en *tubo de viento*, antes mencionado.

Existe una corriente de aire muy suave que se deja notar más en las zonas profundas de la cueva. La boca natural está orientada al NE y la artificial hacia el SE. En una galería de estas características la corriente circulará siempre de N a S durante el día, para debilitarse al atardecer y anularse por la noche. Se comprobó que el aire de la cueva durante las horas de la tarde soplaban en dirección hacia la boca artificial y conforme avanzaba la tarde la corriente seguía en sentido aproximado de N a S.

En relación con lo anterior y teniendo en cuenta que la mezcla de dos masas de aire de diferentes características físicas tiene lugar bajo las siguientes condiciones:

- Aire proveniente del exterior de temperatura y humedad relativa variable dependiente de las estaciones.
- Aire de la cueva, mucho más inerte y frío, de temperatura constante y humedad relativa aproximada del 100%.

Aun suponiendo que estemos en la estación cálida, si la cueva se comporta como si tuviese una sola abertura, el suelo sería el soplante o inyector de aire y la bóveda el aspirante. Si se abre la otra entrada, la abertura a menor altitud será el soplante y la abertura natural la aspirante.



Foto 9. Vista de un área de la gruta de la Paz con los espeleotemas secos y con una importante decoloración.

En cuanto al proceso de humidificación del aire es de destacar que es endotérmico. Esto quiere decir que durante el proceso el sistema absorbe calor hacia adentro desde el entorno. En resumen, el aire del exterior que entra en la cueva aumenta su humedad poco a poco, baja enfriándose, mientras que el aire de la cueva permanece prácticamente invariable ya que la porción de humedad cedida al aire entrante es rápidamente recobrada por el goteo existente. Para ayudar a este proceso de humidificación del aire interior de la cueva

se colocaron varios bidones de 250 litros de capacidad llenos de agua en dos puntos de la misma. El proceso de humidificación del aire a partir de agua procedente del exterior se ayudaba con la que contenían los bidones, ya que al transmitirse vapor de agua al aire se igualaban presiones. Es decir, en la cueva la temperatura del aire es mayor que la del agua y ésta recibe calor del aire. El agua al evaporarse transmite calor al aire sucediendo el fenómeno que al final lleva al equilibrio entre el calor recibido y el aportado.

En 1999, con la modificación del sistema de iluminación de esta cueva, sustituyendo las bombillas incandescentes de luz amarilla por focos de luz blanca, los bidones se retiraron por motivos puramente estéticos.

TABLA 1.

Ejemplo de Hoja de datos de temperatura en la Gruta de la Paz tomados en una fecha concreta con el sistema de iluminación de bombillas incandescentes de luz amarilla tradicional que fue sustituido en 1999 por el sistema de iluminación actual

Gruta de la Paz. 18 - X - 97	
Temp. Exterior	20°C
Temp. Boca artificial, arriba de las escaleras.	17,5°C
Temp. Boca artificial, abajo de las escaleras	14°C
Temp. Media (28 medidas) suelo	13°C-13,5°C
Temp. Media (28 medidas) media altura aprox. Entre 4 - 5 mts. del suelo	14,5°C
Temp corredor estrecho suelo	13°C
Temp. Corredor estrecho techo	14°C
Temp. a 20 cm. Bombilla 100 W	15°C
Temp. Suelo arcilloso	11°C
Temp. Agua encharcada	12°C
Temp. Roca	11°C
Temp. Salida abajo de las escaleras	13°C
Temp. Salida Boca natural arriba de las escaleras	14°C
Nº bombillas 100 W	63

8.1.2. GRUTA DE LA VIÑA

En la Gruta de la Viña se produce una termocirculación en *saco de aire*, mencionado anteriormente. La renovación del aire se debe a la diferencia de densidad entre el aire del exterior y el aire del interior gracias a las variaciones de temperatura sufridas por aquel en los ciclos climáticos anuales y diarios.

Esta cueva al ser de tipo horizontal, cuando la temperatura exterior es mayor que la del interior (verano) se produce una salida de aire a ras de suelo y, por lo tanto, una entrada simultánea de aire en las proximidades del techo. El fenómeno es inverso cuando la temperatura exterior es más fría que

la de la caverna (invierno). La parte final de esta caverna es de tipo ascendente y en invierno, al ser su temperatura más alta que la del exterior, el aire de ésta es menos denso que el de fuera, permaneciendo ocluido.

TABLA 2.

Ejemplo de Hoja de datos de temperatura en la Gruta de la Viña tomados en una fecha concreta con el sistema de iluminación de bombillas incandescentes de luz blanca sustituido en 1997 por el sistema de iluminación actual

Gruta de la Viña. 18 - X - 97	
Temp. Exterior	21°C
Temp. Boca cavidad	17'5°C
Temp. Media (28 medidas) suelo	13'5°C
Temp. Media (28 medidas) techo	14'5°C
Temp. con 30 personas dentro. Altura del suelo	13°C
Temp. con 30 personas dentro. Techo	14°C
Temp. a 20 cm. Foco 100 W	17°C
Temp. a 30 cm. Foco 500 W	17°C
Temp. Suelo arcilloso	13°C
Temp. Agua encharcada	12'5°C
Temp. Roca	11°C
Nº focos 100 W	140
Nº focos 500 W	20

En relación con la circulación del aire, es destacable que en ambas Grutas la temperatura es constante y viene definida por la de la roca y los fenómenos de humidificación y evaporación que ocurrirán sin aporte de calor externo (lo cual no es del todo exacto porque tanto las luces artificiales como el público visitante aportan calor al medio).

Cuando las cuevas permanecen cerradas (de Noviembre a Marzo) y las luces artificiales apagadas, el sistema se considera térmicamente aislado y las transformaciones que se producen en el mismo son adiabáticas. La temperatura del aire desciende hasta que se satura en vapor de agua y se producen fenómenos de condensación de gotas sobre todo en las zonas más cercanas a las bocas.

De lo anterior se deduce que la existencia de un sistema de humidificación del aire contribuye a la aparición del fenómeno de condensación, con lo que la sequedad de los espeleotemas puede contrarrestarse de manera notable tal y como podemos observar en la Gruta de la Paz sobre algunos cables eléctricos y raíces de encina que cuelgan de paredes y bóvedas. Los bidones llenos de agua contribuían a este efecto y, lamentablemente, no han sido sustituidos por un sistema de humidificación automático desde su retirada.

TABLA 3.

Medición de humedades relativas en la Gruta de la Paz

Gruta de la Paz	Medida de las humedades relativas. Octubre de 1997
Temp. Exterior	21°C
Temp. Exterior	20°C
Tw exterior	15°C
Humedad relativa (H.R.) exterior	aprox. 60%
Temp. int. en la zona seca de la gruta	13'7°C
Tw en la misma zona	13°C
H.R. en dicha zona	92'87%
Temp. Zona húmeda (12 medidas)	12'5°C- 13°C
Tw Zona húmeda (12 medidas)	11'80C-12'2°C
H.R. zona húmeda	96%
Temp. Agua encharcada	12°C
Temp. Roca	11°C

TABLA 4.

Medición de humedades relativas en la Gruta de la Viña

Gruta de la Viña	Medida de las humedades relativas. Octubre de 1997
Temp. Exterior	20°C
Temp. zona seca (entrada)	15°C
Tw zona seca	13°C
H.R. zona seca	92%
Temp. Zona húmeda (14 medidas)	14°C
Tw zona húmeda (14 medidas)	12'5°C
H.R. zona húmeda	96% (Hay puntos del 100%)

8.2. Respecto a las algas, musgos y plantas

Las entradas a las grutas cerradas con puerta de reja y las áreas alrededor de los puntos de luz artificial favorecen el crecimiento de algas, musgos y plantas. Respecto a su eliminación de las concreciones calcáreas, la bibliografía es bastante extensa especialmente en Estados Unidos y Australia, donde en algunas de las grutas visitables más importantes del mundo se ha estudiado y tratado este problema con éxito.

Según Bonwick *et al.* (1986), el elevado número de visitantes de determinadas cavernas turísticas crea un tipo especial de polución y problemas de mantenimiento graves. Existe 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.

Según Newbould (1974), se hicieron muchas pruebas hasta dar con el sistema adecuado de limpieza. El utilizado en algunas cuevas turísticas australianas se compone de inyectores de agua fría a una presión de 750 psi (Anón, 1976), a una velocidad de 2.5 GPM. Si la caverna tiene espeleotemas delicados, la presión es recomendable que no pase de 750 psi ya que cualquier presión superior podría dañarlos.

En el mismo sentido, Aley (1972) y William (1975) tratan este problema creando superficies a 70°C con agua caliente durante un minuto para eliminar plantas y algas en cuevas. También es apropiado, según estos mismos autores, el utilizar vapor de agua a presión, excepto en grietas o espeleotemas frágiles.

En macarrones y helicitas, estos sistemas pueden ser muy perjudiciales. El sistema que da mejor resultado sobre estos espeleotemas frágiles es el dispersar vapor o agua caliente sobre sus superficies y dejar que el goteo posterior realice la limpieza. Puede mezclarse el agua con detergente para que las burbujas limpien la superficie sobre todo en helicitas.

En general y como indica Lemon (1975), el uso de vapor a menos de 100°C no debe causar daño a los cristales de calcita, así como el uso de las máquinas a presiones inferiores a 750 psi. La utilización de vapor frente al agua a presión es preferible ya que el agua puede dañar las estructuras calcíficas incluso a 20 ó 30 mts. de distancia y el vapor se disipa en forma de neblina.

Según Johnson (1980), para la removilización de la flora subterránea también se pueden utilizar productos químicos en pequeñas dosis, ya que se ha evidenciado que no causan daño ni a los espeleotemas ni a los seres vivos habitantes de las cuevas. Estos productos pueden ser el hipoclorito sódico, hipoclorito cálcico, el cual es mejor ya que no deja residuos (Rohde, 1982), o el butil-alcohol concentrado (Ootshuizen, 1981).

Para la erradicación definitiva de algas, musgos y hepáticas 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), 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. 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.

Por otro lado, las lámparas no deben ser de filamentos incandescentes. Un buen sistema eléctrico es el de lámparas de vapor de Hg a presión donde las longitudes de onda de luz ultravioleta que emiten se transforman en visibles al ponerse en contacto con los polvos fluorescentes del interior de la lámpara. Los modelos existentes en el mercado tienen una vida larga y un bajo consumo. También existen los sistemas de vapores de Na y de una mezcla de Na, Th e

Ir. Estos sistemas dan un alto rendimiento y se adaptan perfectamente a la iluminación de cavidades subterráneas. Para iluminar las cuevas se pueden utilizar los dos sistemas combinados. Para los caminos y lugares de iluminación permanente se pueden instalar lámparas acolorofílicas. Las concreciones deben iluminarse con lámparas de luz fría o un sistema intermitente de alumbrado rápido que funcione solo durante el paso de las visitas turísticas.



Foto 10. Vista del crecimiento algar en el techo de la gruta de la Viña a favor de un foco luminoso generador de calor.

Las plantas que tras el cambio de sistema de iluminación sobrevivan, deben ser tratadas con hipoclorito sódico rociado sobre las mismas, ya que se ha demostrado que es mucho más eficaz contra las plantas que los herbicidas. Para su esparcimiento debe aprovecharse las horas nocturnas para que los visitantes no perciban el olor a cloro y los vapores producidos se dispersen por la circulación de aire interior.

Una vez el sistema de iluminación se haya cambiado, los vegetales clorofílicos hayan sido eliminados y se construya un sistema para la evacuación de la materia orgánica acumulada (cunetas o drenajes), tan solo con una limpieza al año por medio de agua o vapor a presión se devolverá la cueva a su medio ambiente natural.

Si en estas operaciones se producen daños en las superficies de las concreciones o roturas de las mismas se puede actuar como indica Beard (1993).

No debe repararse con mortero de cemento, como vemos en algunos ejemplos en estas Grutas de Ortigosa, sino con otro sistema que queda totalmente integrado en el paisaje subterráneo y no produzca impacto visual alguno, como es la resina epóxica. Si la formación está seca y, por lo tanto, no va a crecer más, una mezcla de limo de la propia caverna y agua aplicada a la cicatriz hará a la operación de pegado menos visible y maquillará dicha línea de sutura.



Foto 11. Vista de una estalagmita reparada con mortero de cemento en la Gruta de la Viña.



Foto 12. Vista de un grupo de estalactitas de la Gruta de la Viña cubierto por materia orgánica procedente de la superficie del terreno que se adhiere al sustrato mineral.

8.3. Respecto a la alteración por microorganismos

Los fenómenos de corrosión de los revestimientos calcáreos son siempre de origen físico-químico y bioquímico. La alteración que produce el CO_2 va unida a la alteración llevada a cabo por los microorganismos debido al agua que va a parar a las cavernas atravesando horizontes edáficos y a los productos de la actividad fisiológica de animales y personas (como la respiración de los visitantes de las cuevas). Esta materia orgánica es transportada por el aire y atrapada por la película de agua que rodea las concreciones calcáreas.

Los visitantes de las cuevas producen un efecto de eliminación de las bacterias autóctonas de las mismas. Estas bacterias, adaptadas a bajos niveles de energía, han desaparecido de la zona colindante al pasillo de la cueva, siendo sustituidas por bacterias adaptadas a alimentación con altos niveles de energía como pueden ser las que crecen a favor de fibras de las ropas o células de la piel de las personas que visitan las cavidades.

Debido a la mayor humedad relativa del aire exterior en verano, los depósitos de materia orgánica se crearán en las aberturas de la parte alta de las paredes y en invierno, con menor humedad relativa del aire exterior, en las aberturas de las partes bajas. También en invierno, al calentarse el aire interior en las cuevas, se producirá una desecación de las paredes y en verano

una condensación al refrigerarse este aire, siendo una época de mayor receptividad para la materia orgánica.

En las zonas cercanas a las bocas de entrada de las grutas es donde se produce la mayor corrosión de las concreciones por microorganismos. Para evitar la propagación del deterioro de los espeleotemas en estas áreas se deben tratar las zonas más afectadas con productos químicos e impedir que se forme ninguna clase de depósito de materia orgánica, para esto último se instará a los visitantes de las cavernas a no tocar o rozar los espeleotemas.

Los microorganismos de las cavernas pueden producir el denominado "moonmilk". Este material absorbe mucha agua y se convierte en una pasta suave y ligera que cuando se seca se convierte en un producto pulverulento de consistencia dura y fácilmente desmenuzable con los dedos como se puede observar en diversas áreas de la Gruta de la Paz. Si los microorganismos subterráneos desaparecen la formación del moonmilk también dejará de producirse.

9. CONCLUSIONES

Desde la primera adecuación de las grutas de Ortigosa de Cameros para las visitas turísticas tras su descubrimiento que consistió en la apertura de una entrada artificial en la Gruta de la Paz, la construcción de un pasillo en ambas grutas y la instalación de un sistema de iluminación artificial, se han dado procesos en ambas cavernas de desecación y decoloración de espeleotemas y generación de comunidades algales sobre éstos a favor de la luz artificial.

En 1997 y 1998 se desarrolló un proyecto, financiado por el programa Leader II de la Unión Europea y el Ayuntamiento de Ortigosa de Cameros para estudiar y valorar los impactos que el público visitante y el paso de los años desde su apertura turística habían producido y proponer una serie de medidas para minimizar o erradicar dichos impactos.

Se propusieron varios procedimientos para alcanzar dichos objetivos que se resumen en:

- Limpieza de los espeleotemas con alguno de los sistemas propuestos en el texto.
- Eliminación física de las plantas existentes alrededor de los puntos de luz artificial por alguno de los medios propuestos en el texto.
- Sustitución de la iluminación con bombillas incandescentes de luz amarilla por lámparas de luz fría y de longitud de onda no absorbible por las plantas clorofílicas.
- Instalación de un sistema de humidificación avanzado.
- Construcción de una cámara estanca de recepción de visitantes en la boca de entrada sur de la Gruta de la Paz para controlar el régimen de aire de la cueva, presiones y temperaturas en la misma en cada turno de entrada de visitantes.

En 1997 y 1999 se sustituyeron los sistemas de iluminación de bombillas incandescentes de luz amarilla por sistemas de iluminación de luz blanca, aunque también generadoras de calor.

El sistema de humidificación artificial de la Gruta de la Paz que consistía en dos bidones de 250 litros de agua cada uno situados en dos puntos de la misma se retiró en 1999 y no se sustituyeron dichos bidones por ningún sistema alternativo.

En enero de 2011 se ha constatado que la sustitución de los sistemas de iluminación no ha surtido el efecto deseado y las comunidades algales continúan creciendo y desarrollándose alrededor de los puntos de luz artificial alcanzando en algunas zonas proporciones importantes sobre los espeleotemas.

No se ha construido cámara de acceso estanca en la boca de entrada sur de la Gruta de la Paz para la recepción de los visitantes y control de las condiciones climáticas del interior de la gruta y, por lo tanto, la desecación y decoloración de los espeleotemas ha seguido avanzando desde dicha boca hacia el interior de la caverna.

Es por todo esto que las Grutas de Ortigosa de Cameros y sobre todo la Gruta de la Paz siguen necesitando de un procedimiento de regeneración de sus condiciones medioambientales originales siguiendo las pautas que ya se indicaron en el proyecto realizado en 1998 antes mencionado.

Se deben valorar las actuaciones propuestas en dicho documento y acometer las labores necesarias según un cronograma de trabajo y un calendario de vigilancia ambiental para evaluar en determinados periodos de tiempo el resultado de las medidas propuestas.

Con ello se conseguirá eliminar el deterioro de los espeleotemas producido por los vegetales que crecen a favor de las condiciones fisicoquímicas y bioquímicas que genera el sistema de iluminación artificial y la masiva afluencia de visitantes, eliminar los residuos orgánicos que los visitantes dejan en las cavidades y que son el caldo de cultivo para el posterior crecimiento de microorganismos que destruyen los espeleotemas y, por último, frenar la desecación de los espeleotemas y su decoloración debido a las variaciones de las condiciones termodinámicas subterráneas.

Así pues, únicamente llevando a cabo todas estas medidas conseguiremos preservar uno de los mejores exponentes del patrimonio geológico riojano, las Cuevas de Ortigosa de Cameros.

BIBLIOGRAFÍA

- Aley, T. (1972). Control of unwanted plant growth in electrically lighted caves. *Caves and Karsts*, 14(5): 33-35.
- Andrieux, C. (1965). Étude des stalactites tubiformes monocristallines. Mécanisme de leur formation et conditionnement de leur dimensions transversales. *Bull. Soc. Franç. Min. Crist.*, 86: 53-58.

- Anon, J. (1976). The "clean" caves. *Panorama*, 18(6): 1. The Journal of Ansett Airlines of Australia.
- Beard, J. (1993). *Caves in Kansas*. Kansas Geological Survey. Educational series 9.
- Bolivar, F.C. and Sánchez Castillo, P.M. (1995). *Biodeterioration and biodegradation*. Inst. Chemicals Engineering, Rugby.
- Bonwick, J. *et al.* (1986). *Adequation and preservation of touristical cavities*. Proceedings 9th International Congress of Speleology: 221-223, Budapest, Hungary.
- Calvo Palacios, J.L. (1976). *Los Cameros*. Instituto de Estudios Riojanos, 297 pp., Logroño.
- Caumartin, V. (1958). La corrosion biochimique dans un reseau karstique et la genése du mondmlch. *Notes Biospeleologiques*, 13: 87-109.
- Caumartin, V. (1963). Review of the microbiology of underground environments. *Bull. Nat. Speol. Soc.*, 25: 1-14.
- Catálogo de Cavidades de La Rioja (1986). Consejería de Educación, Cultura y Deportes. Gobierno de La Rioja.
- Coloma, P. (1996). Zonas húmedas de interés medioambiental relacionadas con la descarga de aguas subterráneas. Cuencas de los ríos Alhama, Cidacos, Leza-Jubera e Iregua. *Zubía, monográfico* 8: 187-204.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1976). *Hidrogeología subterránea*. Ed. Omega, 2 vol., 2.359 pags., Barcelona.
- Da Vinci, L. (1519). *Fábulas*. Ed. Ellago. Edición de 2008.
- De Lemus, C. *et al.* (1990). Composición mineralógica de suelos desarrollados sobre calizas jurásicas de la Sierra de Cameros. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 14: 269-281.
- De Nussac, L. (1906). *Les debuts d'un savant naturaliste*. G. Steinhel, París.
- 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.
- García Ruiz, J.M. y Pérez Ripalta, O. (1979). El régimen del río Iregua y el abastecimiento de agua de Logroño. *Cuadernos de Investigación (Geografía e Historia)*, 5 (1): 3-20.
- Garin y Modet, J. (1912). Acerca de algunas exploraciones practicadas en cavernas de la cuenca del río Iregua. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 33: 123-150.
- Johnson, K. (1980). Control of lampenflora at Waitomo Caves, New Zealand. In: Robinson, A.C. (Ed.), *Cave Managements in Australia 111*, National Parks and Wildlife Service and Australia Speleological Federation: 105-122, Sydney.

- 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*: 64-65, Albuquerque, Nex Mexico.
- Mauthe, F. (1975). Palaokarst im Jura der Iberischen Ketten. *N. Jb. Geol. Palaont. Mb.* 150, 5: 354-372.
- Llopis Llado, N. (1970). *Fundamentos de hidrogeología cárstica*. Ed. Blume, 269 pags., Madrid.
- Mancomunidad Hidrográfica del Ebro (1932). El pantano de Ortigosa. *Revista mensual*: julio, agosto, septiembre 1932. Año VI. Num. 57. Zaragoza.
- Martel, E.A. (1894). Les abîmes: les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie: explorations souterraines effectuées de 1888 à 1893 en France, Belgique, Autriche et Grèce, Librairie Ch. Delagrave, Paris.
- Martel, E.A. (1900). *La Spéléologie, ou science des cavernes*, impr. de Durand, Chartres.
- Martínez Olmedo, L. (1946). *Monografía de la Villa de Ortigosa de Cameros*. Ed. Afrodisio Aguado, Madrid.
- M.O.P.U. (1987). El karst del sur y oeste del Moncayo.
- 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.
- Puig y Larraz (1896). *Cavernas y simas de España. Bol. Com. Mapa Geol.*, 21: 187-194.
- Roth, J. (1995). Moonmilk and cave-dwelling microbes. Oregon Caves National Monument. Nature notes from Crater Lake. Crater Lake Institute, Volumen 6.
- Roth, J. (1995). A remedy for « green sickness ». Oregon Caves National Monument. Nature notes from Crater Lake. Crater Lake Institute, Volumen 6.
- Schueller, H. (1978). Neue Wege der Bodenuntersuchung. Von H. Schueller und G.Reh. -Die Bodenkultur 29, 219-228, 8 Tab., Wien.
- Oosthuizen, H. (1981). The blue-green algae in the Congo Caves system. *Journal of Applied Phicology*, 12 (3-5): 309-315.
- 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.
- Schlichting, H.E. (1965). Some subaerial algae from Ireland. *Brit. Phycol. J.*, 10: 257-261.

Tischer, G. (1966). Über die Wealden-Ablagerung und die Tektonik der östlichen Sierra de los Cameros in den nordwestlichen Iberischen Ketten (Spanien). *Beith. Geol. J. B.*, 44: 123-164.

Tricart, J. (1965). *Principes et methods de la Geomorphologie*. Ed. Masson, Paris.

Viehman, J. (1958). *Les formations stalagmitiques des grottes du complexe karstique de Scarisoara*. Coll. Int. Speleol. Mem.: 73-80, Bruxelles.

Williams, P. (1975). Report on the conservation of Waitomo Caves. N.Z. *Speleol. Bull.*, 5(93): 386.

Otras publicaciones consultadas

Actas del 2º Simposio Regional de Espeleología. Federación Castellana Norte de Espeleología, Burgos octubre 1984. Pags. 31-49.

9º Congreso Internacional de espeleología (1906). Barcelona – 8-96 (3v.), pags. 221-229.



ZUBÍA

23



Gobierno de La Rioja
www.larioja.org



**Instituto
de Estudios
Riojanos**