



DEMANDATUR



PESQUISAS EM **TURISMO E** **PAISAGENS CÁRSTICAS**

TURISMO Y PAISAJES KÁRSTICAS / TOURISM AND KARST AREAS

ISSN 1983-473X

Vol. 8 Nº1

2015



Réplica do espeleotema «La Palmatoria», Gruta de Las Maravillas (Espanha) - vide artigo de Baeza & Durán, páginas: 65 a 73

Artigos Originais

Distribución, composición y génesis de espeleotemas silíceos en la cueva volcánica de Algar do Carvão: Terceira, Islas Azores, Portugal

Raquel Daza & María Ángeles Bustillo

Valoração de serviços ambientais: subsídio para a sustentabilidade do atrativo natural Gruta do Salitre, Diamantina, Minas Gerais

Hugo Rodrigues de Araujo, Arnaldo Freitas de Oliveira Junior & Alexsander Araújo Azevedo

Gruta do Mateus (Bonito-MS, Serra da Bodoquena): caracterização ambiental e proposta de uso turístico

Marcos Luís Faleiros Lourenção, Livia Medeiros Cordeiro, Lucas Padoan de Sá Godinho, Rodrigo Borghezán, José Ayrton Labegalini, Silmara Zago, Keny Marques Lima & Heros Augusto Santos Lobo

Cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas mediante el método Cavix: El Soplao (Cantabria, España)

Emilio Guirado, Fernando Gázquez, Ángel Fernández-Cortés, Alfredo Argumosa & José María Calaforra

Modelización tridimensional con láser escáner en el complejo El Soplao para fines turísticos (Cantabria-España)

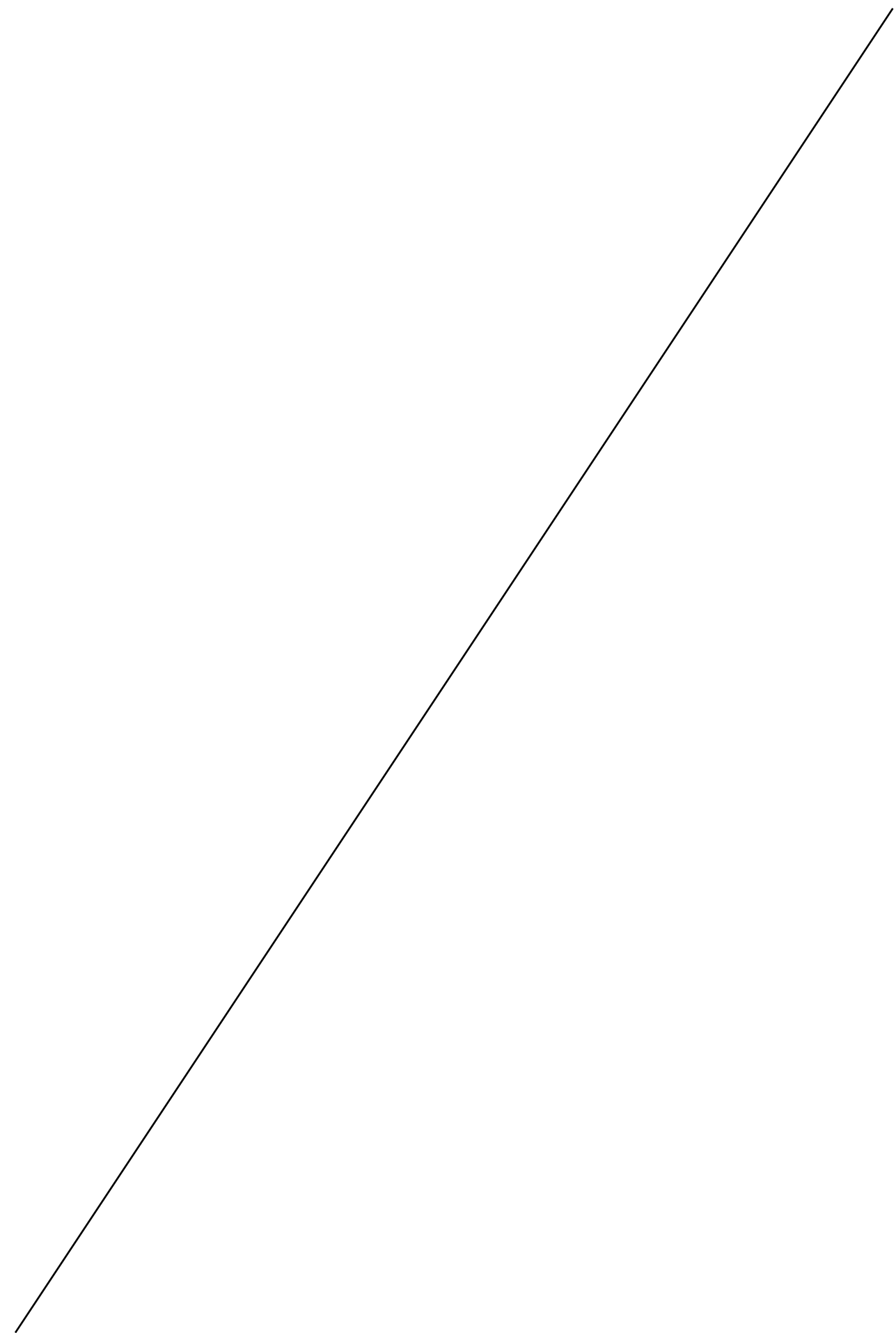
Rubén Pérez-Álvarez, Gema Fernández-Maroto & Julio Manuel de Luis-Ruiz

Contenido de Radón en aire en la Gruta de las Maravillas (Aracena): primeros resultados

Ismael Fuente, Luis Santiago Quindós, Luis Quindós, Wenceslao Martín-Rosales, Manuel López-Chicano & José Benavente-Herrera

Proceso de realización de moldes y réplicas de un espeleotema singular: el caso de «la Palmatoria», Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva, España)

Eleuterio Baeza Chico & Juan José Durán Valsero



EXPEDIENTE



Sociedade Brasileira de Espeleologia
(Brazilian Speleological Society)

Endereço (Address)

Caixa Postal 7031 – Parque Taquaral
CEP: 13076-970 – Campinas SP – Brasil

Contatos (Contacts)

+55 (19) 3296-5421
turismo@cavernas.org.br

Gestão 2015-2017 (Management Board 2015-2017)

Diretoria (Direction)

Presidente: Marcelo Augusto Rasteiro
Vice-presidente: Pavel Carrijo Rodrigues
Tesoureiro: Luciano Emerich Faria
1º Secretário: Teresa Maria da Franca Moniz de Aragão
2º Secretário: Érica Nunes

Conselho Fiscal (Supervisory Board)

Heitor de Brito Cintra
Eduardo Gomes de Assis
Delci Kimie Ishida
Jose Antonio Basso Scaleante – suplente (*alternate*)
José Eduardo Teixeira de Alarcão – suplente (*alternate*)

Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas (*Tourism and Karst Areas*)

Editor-Chefe (*Editor-in-Chief*)

Dr. Heros Augusto Santos Lobo

Sociedade Brasileira de Espeleologia, Brasil

Editors Convidados (*Guest Editors*)

Dra. Jasmine Cardozo Moreira

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Esp. Carlos Neto de Carvalho

Geopark Naturtejo, Portugal

Editor Associado (*Associated Editor*)

Dr. Cesar Ulisses Vieira Veríssimo

Universidade Federal do Ceará – UFC, Brasil

Editor Executivo (*Executive Editor*)

Esp. Marcelo Augusto Rasteiro

Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Brasil

Conselho Editorial (*Editorial Board*)

Dr. Andrej Aleksej Kranjc

Karst Research Institute, Eslovênia

Dr. Angel Fernández Cortés

Universidad de Alicante, UA, Espanha

Dr. Arrigo A. Cigna

International Union of Speleology / International Show

Caves Association, Itália

Dr. Edvaldo Cesar Moretti

Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Brasil

Dr. José Alexandre de Jesus Perinotto

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita

Filho” – IGCE/UNESP, Brasil

MSc. José Antonio Basso Scaleante

Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE, Brasil

MSc. José Ayrton Labegalin

Sociedade Brasileira de Espeleologia - SBE, Brasil

Dra. Linda Gentry El-Dash

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Brasil

MSc. Livia Medeiros Cordeiro-Borghezan

Universidade de São Paulo – USP, Brasil

Dr. Luiz Afonso Vaz de Figueiredo

Centro Universitário Fundação Santo André – FSA, Brasil

Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG, Brasil

Dr. Marconi Souza-Silva

Faculdade Presbiteriana Gammon – Fagammon/Centro

Universitário de Lavras – UNILAVRAS, Brasil

Dr. Marcos Antonio Leite do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte -

DG/UFRN, Brasil

Dra. Natasa Ravbar

Karst Research Institute, Eslovênia

Dr. Paolo Forti

Università di Bologna, Itália

Dr. Paulo Cesar Boggiani

Universidade de São Paulo – IGc/USP, Brasil

Dr. Paulo dos Santos Pires

Universidade Vale do Itajaí – UNIVALI, Brasil

Dr. Ricardo José Calembro Marra

Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de

Cavernas – ICMBio/CECAV, Brasil

Dr. Ricardo Ricci Uvinha

Universidade de São Paulo – EACH/USP, Brasil

Dr. Sérgio Domingos de Oliveira

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita

Filho” – UNESP/Rosana, Brasil

Dr. Tadej Slabe

Karst Research Institute, Eslovênia

Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo

CREA-MG, Brasil

Dr. William Sallun Filho

Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG, Brasil

Dr. Zysman Neiman

Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, Brasil

Comissão de Tradução (*Translation Committee*)

Dra. Linda Gentry El-Dash – Inglês

SUMÁRIO (CONTENTS)

Editorial	04
ARTIGOS ORIGINAIS / ORIGINAL ARTICLES	
Distribución, composición y génesis de espeleotemas silíceos en la cueva volcánica de Algar do Carvão: Terceira, Islas Azores, Portugal <i>Nature, distribution and genesis of silica speleothems in the algar do carvao volcanic rock (Terceira Island, Azores, Portugal)</i> Raquel Daza & María Ángeles Bustillo	07
Valoração de serviços ambientais: subsídio para a sustentabilidade do atrativo natural Gruta do Salitre, Diamantina, Minas Gerais <i>Valuation of environmental services as a tool for sustainable management of the Salitre Cave, Diamantina, Minas Gerais, Brazil</i> Hugo Rodrigues de Araujo, Arnaldo Freitas de Oliveira Junior & Alexsander Araújo Azevedo	17
Gruta do Mateus (Bonito-MS, Serra da Bodoquena): caracterização ambiental e proposta de uso turístico <i>Mateus Cave (Bonito, Mato Grosso do Sul State, Serra da Bodoquena, Brazil): environmental characterization and tourist use proposition</i> Marcos Luís Faleiros Lourenção, Livia Medeiros Cordeiro, Lucas Padoan de Sá Godinho, Rodrigo Borghezán, José Ayrton Labegalini, Silmara Zago, Keny Marques Lima & Heros Augusto Santos Lobo	27
Cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas mediante el método Cavix: El Soplao (Cantabria, España) <i>Calculating the maximum visitability in tourist caves by Cavix method: El Soplao (Cantabria, Spain)</i> Emilio Guirado, Fernando Gázquez, Ángel Fernández-Cortés, Alfredo Argumosa & José María Calaforra	37
Modelización tridimensional con láser escáner en el complejo El Soplao para fines turísticos (Cantabria-España) <i>Laser scanner 3D modeling of El Soplao complex for tourism purposes (Cantabria-Spain)</i> Rubén Pérez-Álvarez, Gema Fernández-Maroto & Julio Manuel de Luis-Ruiz	45
Contenido de Radón en aire en la Gruta de las Maravillas (Aracena): primeros resultados <i>Radon gas content in the Gruta de las Maravillas (Aracena): first results</i> Ismael Fuente, Luis Santiago Quindós, Luis Quindós, Wenceslao Martín-Rosales, Manuel López-Chicano & José Benavente-Herrera	55
Proceso de realización de moldes y réplicas de un espeleotema singular: el caso de “la Palmatoria”, Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva, España) <i>Procedure of molds and replicas making of a singular speleothem: the case of “Candlestick”, Maravillas Cave, Aracena (Huelva, Spain)</i> Eleuterio Baeza Chico & Juan José Durán Valsero	65

EDITORIAL

Mais um número da revista Turismo e Paisagens Cársticas vê a luz no ano de 2015. A edição número 8/1 é dedicada aos trabalhos selecionados entre aqueles apresentados no I Congresso Iberoamericano e V Espanhol sobre Cavernas Turísticas (CUEVATUR-2014), realizado no município de Aracena (Huelva, Espanha).

Foram selecionados sete artigos técnico-científicos relacionados às cavernas turísticas, sendo 4 deles sobre cavernas da Espanha, 2 do Brasil e 1 de Portugal, que abarcam temas diferentes e atuais.

O artigo de Daza e Bustillo se refere a um tema de elevada relevância científica, a existência e caracterização de espeleotemas silícios (opala) em uma caverna vulcânica de Algar de Carvão, na ilha de Terceira, arquipélago de Açores. As autoras concluem que o principal mecanismo que intervêm na gênese destes peculiares espeleotemas é inorgânico, embora não descartem a influência de bactérias filamentosas.

O artigo de Araujo, Oliveira Jr. y Azevedo sobre a gruta do Salitre, no município de Diamantina, MG (Brasil) enfoca no método de valoração de serviços ambientais (valoração contingente), o qual permite delimitar os potenciais benefícios econômicos do uso turístico da caverna, um dos mais importantes atrativos naturais de sua região.

Lourenção e outros sete colaboradores desenvolveram um trabalho dedicado à gruta do Mateus, no destino ecoturístico de Bonito (Mato Grosso do Sul, Brasil), com sua caracterização ambiental e proposta de uso turístico, a qual posteriormente foi aplicada em seu Plano de Manejo Espeleológico.

Dos trabalhos selecionados, 4 foram dedicados para estudos de caso na Espanha. Dois deles se referem a caverna de El Soplo (Cantabria, Espanha). O trabalho de Guirado e outros quatro colaboradores desenvolve um aspecto de grande interesse, o cálculo da quantidade máxima de visitantes para uma caverna turística, mediante um método denominado CAVIX.

Por outro lado, o trabalho de Pérez-Álvarez, Fernández-Maroto e de Luis-Ruiz versa sobre a utilização da tecnologia de digitalização com laser para a realização de modelagem 3D em cavernas e minas turísticas, assim como suas possíveis aplicações e formas de realização.

Os últimos 2 artigos também se referem a uma mesma caverna. Neste caso, trata-se de uma das mais tradicionais cavernas turísticas espanholas, a qual em 2014 completou seu centenário de abertura à visitação: a gruta das Maravilhas, em Aracena (Huelva, Espanha). O primeiro destes trabalhos, assinado por Fuente e outros 5 autores, trata sobre a concentração de Radônio na atmosfera subterrânea da caverna. Trata-se de um tema de grande importância, em função das possíveis implicações para a saúde dos trabalhadores em cavernas turísticas, bem como para os visitantes.

O segundo trabalho sobre esta mesma caverna – e último deste número – é assinado por Baeza Chico e Durán Valsero. O artigo relata o procedimento de execução de um molde e réplicas de um espeleotema complexo e delicado da gruta das Maravilhas. Este tipo de procedimento pode ser interessante para resguardar a conservação de determinados elementos singulares das cavernas turísticas, além de possibilitar a divulgação de certos elementos icônicos.

Esperamos que esta seleção de trabalhos internacionais seja de agrado e interesse dos leitores da revista Turismo e Paisagens Cársticas.

*José María Calaforra Chordi y
Juan José Durán Valsero,
Editores convidados.*

EDITORIAL

Un número más de la revista *Turismo e Paisagens Cársticas* ve la luz en el año 2015. La edición número 8/1 está dedicada a una serie de trabajos seleccionados de entre los presentados al I Congreso Iberoamericano y V Español sobre Cuevas Turísticas (CUEVATUR-2014), celebrado en la localidad de Aracena (Huelva, España).

Constituyen un conjunto de siete artículos científico-técnicos relacionados con cavidades turísticas, cuatro de ellos en España, dos en Brasil y uno en Portugal, que abarcan temáticas muy diferentes y de gran actualidad.

El trabajo de Daza y Bustillo aborda un tema de muchísima relevancia científica, la existencia y caracterización de espeleotemas silíceos (de ópalo) en la cueva volcánica de Algar de Carvão, en la isla de Terceira, en el archipiélago de las Azores. Los autores concluyen que el principal mecanismo que interviene en la génesis de estos peculiares espeleotemas es inorgánico, aunque no descartan la influencia de bacterias filamentosas.

El artículo de Araujo, Oliveira Jr. y Azevedo, sobre la Gruta do Salitre, en el municipio de Diamantina, en Minas Gerais (Brasil), pone el foco sobre el método de valoración de los servicios ambientales denominado Método de Valoración Contingente, que permite objetivizar los beneficios económicos potenciales del uso turístico de la cavidad, uno de los atractivos naturales más notables del entorno de Diamantina.

Lourenção y siete autores más desarrollan en un trabajo dedicado a la Gruta do Mateus, en la ecoturística localidad de Bonito (Mato Grosso do Sul, Brasil), una caracterización ambiental de la cueva y una propuesta de uso turístico, que posteriormente se ha visto llevada a la realidad con éxito.

De los cuatro trabajos centrados en casos españoles, dos se refieren a la Cueva de El Soplao (Cantabria, España). El de Guirado y 4 autores más, desarrolla un aspecto de gran interés, el cálculo de la cantidad máxima de visitantes para una cueva turística, mediante el método denominado CAVIX. Por otro lado, el trabajo de Pérez-Álvarez, Fernández-Maroto y de Luis-Ruiz, versa sobre la utilización de la tecnología de escaneado con láser para la realización de modelos 3D en cuevas y minas turísticas, así como sus posibles aplicaciones y desarrollos.

Los otros dos artículos también se refieren a una misma cavidad, en este caso una de las cuevas turísticas españolas con más tradición, que ha cumplido recientemente el centenario de su apertura en el año 2014, la Gruta de la Maravillas, en Aracena (Huelva, España). El primero de los trabajos, firmado por Fuente y 5 autores más, trata sobre el contenido de radón en la atmósfera subterránea de la cavidad. Este es un tema de gran trascendencia, por las implicaciones que puede tener para la salud de los trabajadores de las grutas turísticas y, por supuesto, también para los visitantes.

El segundo y último trabajo, firmado por Baeza Chico y Durán Valsero, da cuenta del procedimiento de ejecución de un molde y unas réplicas de un espeleotema complejo y delicado de la Gruta de las Maravillas. Este tipo de actuaciones puede ser de interés para garantizar la conservación de ciertos elementos singulares de las cuevas turísticas, además de contribuir a la divulgación de ciertos elementos icónicos.

Esperemos que esta selección de trabajos internacionales sea del agrado e interés de los lectores de *Turismo Y Paisajes Kársticos*.

José María Calaforra Chordi y
Juan José Durán Valsero,
Editores invitados.



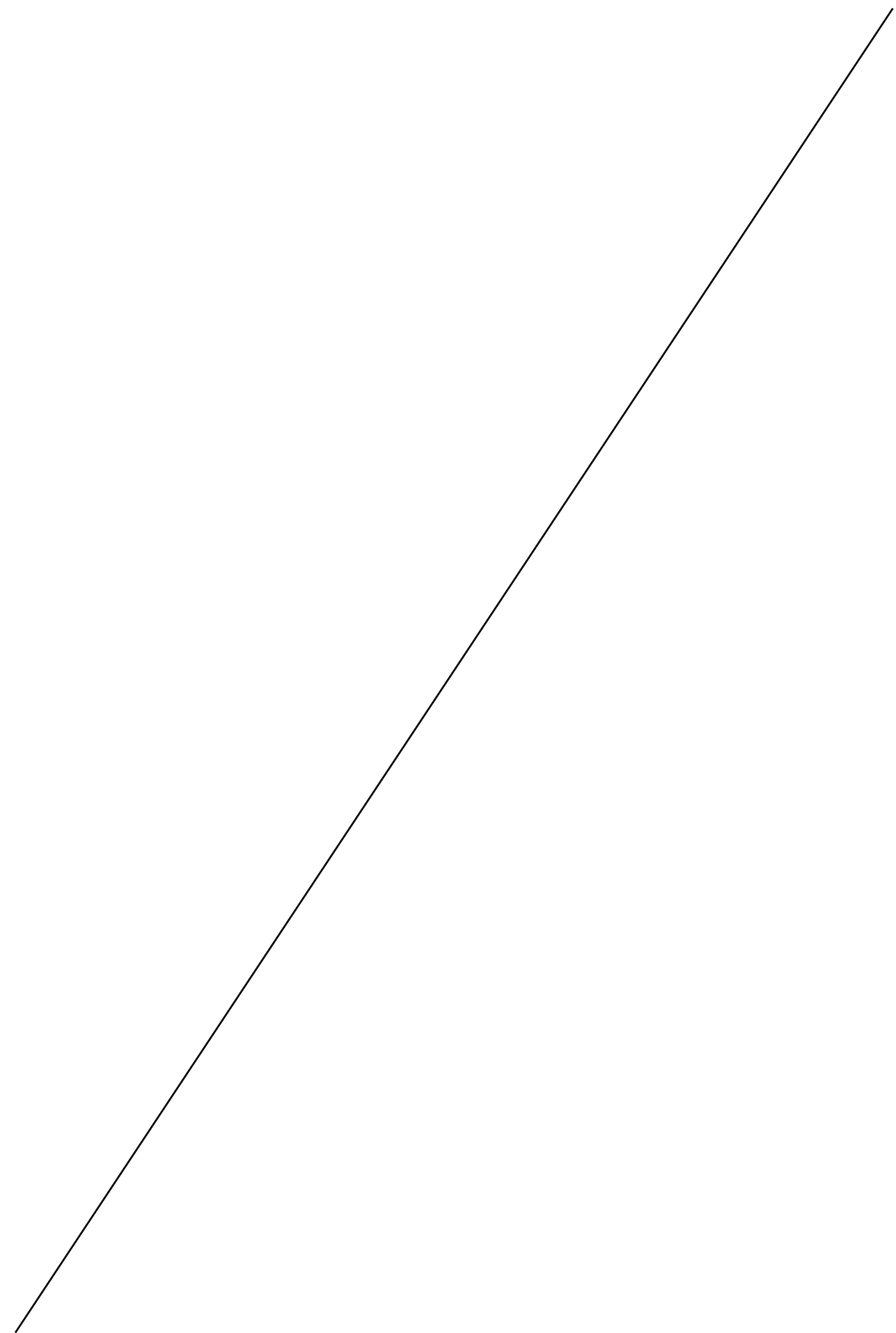
PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas





DISTRIBUCIÓN, COMPOSICIÓN Y GÉNESIS DE ESPELEOTEMAS SILÍCEOS EN LA CUEVA VOLCÁNICA DE ALGAR DO CARVÃO: TERCEIRA, ISLAS AZORES, PORTUGAL

NATURE, DISTRIBUTION AND GENESIS OF SILICA SPELEOTHEMS IN THE ALGAR DO CARVAO VOLCANIC ROCK (TERCEIRA ISLAND, AZORES, PORTUGAL)

Raquel Daza & María Ángeles Bustillo

Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC. Madrid, España.

E-mail: raquel.daza@mncn.csic.es; abustillo@mncn.csic.es.

Resumen

La cueva de Algar do Carvão está situada en la parte central de la isla de Terceira (Azores, Portugal), y es la única cueva turística del mundo que presenta grandes espeleotemas formados únicamente de ópalo. La composición opalina de los espeleotemas, y la génesis volcánica, hacen pensar que la fuente de la sílice pueda estar ligada indirectamente a la actividad hidrotermal. Se identifican dentro de la cueva cuatro tipos de espeleotemas: estalactitas y estalagmitas formados por agua de goteo, y coladas y recubrimientos de pared formados por agua de escorrentía. Todos los espeleotemas se formaron en ambiente subaéreo. Los análisis de Difracción de Rayos X (DRX) revelaron que la única fase silíceo que forma los espeleotemas es el ópalo-A, por lo que se deduce que son relativamente recientes. Mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM) se observó que los espeleotemas presentan estructura laminada, y una intercalación de microlaminaciones lisas y grumosas constituidas por microesferas de sílice inorgánica, que puntualmente recubren filamentos bacterianos. La fuente de la sílice para la formación de estos espeleotemas no se puede explicar por una simple lixiviación por aguas meteóricas de las rocas volcánicas adyacentes a la cueva. La sílice provendría del ataque de la roca volcánica por aguas ácidas meteóricas poco profundas. La ebullición que sucede en la parte superior de los sistemas geotérmicos, incorpora gases ácidos (CO₂ y H₂S) al vapor resultante, y este, al mezclarse con las aguas meteóricas superficiales produce su acidificación. El principal mecanismo de precipitación del ópalo-A es inorgánico, aunque puntualmente se observa, en ciertas laminaciones, la influencia de bacterias filamentosas.

Palabras-Clave: Cueva volcánica; espeleotema; hidrotermalismo; ópalo-A.

Abstract

The volcanic cave of Algar do Carvão is located in the Terceira Island central part (Azores, Portugal), and it is the unique touristic volcanic cave around the world that present big speleothems formed by opal. The opal composition of the speleothems in a volcanic cave, suggests that the silica origin can be related to hydrothermal activity. Four types of the speleothems have been found inside the cave: stalactites and stalagmites formed by drip water, and big or thin flowstones on the walls formed by runoff water. They are form in subaerial conditions. The Diffraction X-Ray analyses showed opal-A as unique silica phase that form the speleothems, suggesting that they are recently. Optical and Scanning electron microscope showed laminar structure within the speleothems, and smooth and lumpy microlaminations intercalated between them, and punctually cover the filamentous bacteria. The silica source cannot be explained by a leaching by meteoric water of the adjacent siliceous rocks to the cave. The silica would come from the volcanic rock attack by acid shallow waters. The boiling activity that happens on top of geothermal systems incorporates acid gases (CO₂ y H₂S) to the resulting vapor. This acidifies the shallow meteoric waters. The opal-A is mainly formed by inorganic precipitation, although sometimes filamentous bacteria tracks are observed in punctual microlaminations of these speleothems.

Key-Words: hydrothermal; opal-A; speleothems; volcanic cave.

1. INTRODUCCIÓN

Los espeleotemas de sílice aunque son poco comunes, se han observado en cuevas de todo el

mundo (ver referencias en Hill y Forti, 1997). Aparecen principalmente, en cuevas formadas en rocas constituidas por minerales silicatados, tales como, rocas volcánicas (Webb y Finlayson, 1987;

Forti, 2005; Bustillo *et al.* 2010; Daza *et al.* 2012; Miller *et al.* 2014), granitos (Webb y Finlayson, 1987; Willems *et al.* 2002; Vidal y Vaqueiro, 2007; Cioccale *et al.* 2008; Vidal *et al.* 2010), cuarcitas y areniscas (Wray, 1999, 2011; Aubrecht *et al.* 2008, 2012). Muchos de los espeleotemas de sílice se forman en cuevas de ambientes templados y húmedos, donde se favorece la alteración de los silicatos de las rocas y se producen las soluciones ricas en sílice. Normalmente se forman pequeños y delgados espeleotemas (Hill y Forti, 1997; Forti, 2005).

En el archipiélago de las islas Azores, estalactitas, estalagmitas, flowstones y vermiculaciones silíceas se han observado en tubos de lava, y en chimeneas volcánicas (Forti 2001, 2005). Los espeleotemas de sílice encontrados en la cueva de Algar do Carvão (Isla de Terceira) se diferencian, de los citados en la bibliografía, por presentar un gran volumen y espesor (Forti, 2005). Su localización en una isla con vulcanismo activo reciente (França *et al.* 2003), plantea la hipótesis de una posible influencia hidrotermal (Daza y Bustillo, 2014) en la formación de estos espeleotemas. En este trabajo se estudian los espeleotemas de la cueva de Algar do Carvão, definiendo los diferentes tipos petrológicos y su génesis.

1.1 Situación Geológica

El archipiélago de las islas Azores está formado por nueve islas de origen volcánico, y se extiende por más de 600km a lo largo de la Falla Azores-Gibraltar (Fig. 1A). Las islas se crearon a partir de la acumulación de productos volcánicos en el fondo oceánico, debido a la conjunción de tres placas tectónicas (França *et al.* 2003): la placa Americana al NW, la placa Euroasiática al NE y la placa africana al Sur (Fig. 1A).

La isla de Terceira se sitúa el centro del archipiélago de las islas Azores, localizado al norte del Océano Atlántico, a unos 1600 km de Europa. Está compuesta por cuatro sistemas volcánicos poligenéticos principales, constituidos por los volcanes de Santa Bárbara, Pico Alto, Serra do Cume-Cinco Picos y Guilherme Moniz, y una Zona Basáltica Fisural (ZBF) (França *et al.* 2003; Nunes 2000, 2004) (Fig. 1B). Estos sistemas se desarrollaron a lo largo de una gran fisura orientada NW-SE, que atraviesa en diagonal la Isla de Terceira, formándose a partir de ella el *Rift* de Terceira (Self y Gunn, 1976). Las rocas volcánicas de Terceira comprenden edades del Pleistoceno tardío y del Holoceno (Calvert *et al.* 2006).

La cueva turística de Algar do Carvão, está situada en la zona central de la Isla de Terceira, a unos 640 m sobre el nivel del mar, emplazada en los flujos de lava de Algar do Carvão dentro de la Zona Basáltica Fisural y cerca de la caldera de Guilherme Moniz (Nunes, 2000) (Fig. 1B).

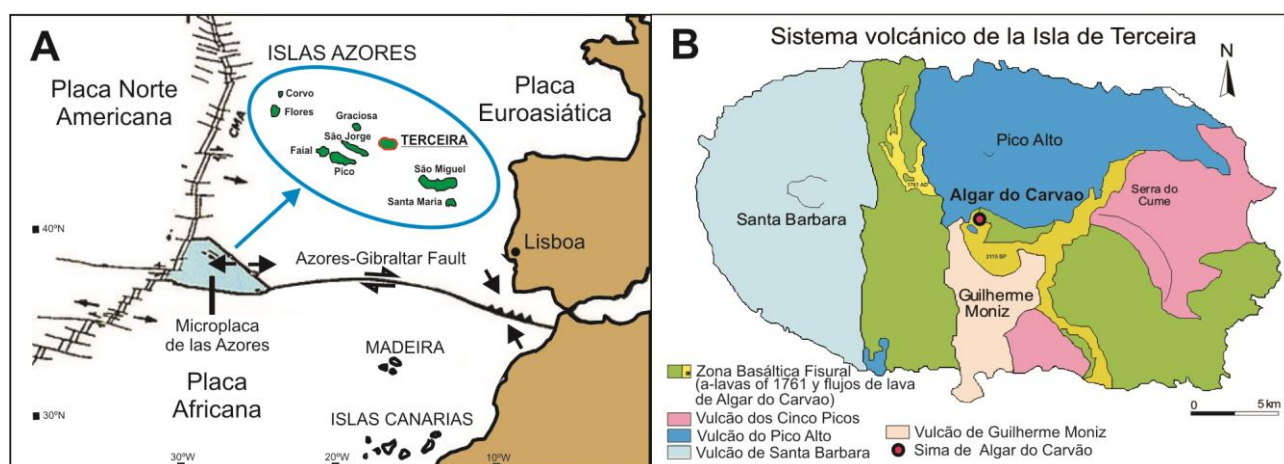


Figura 1. (A) Localización de las Islas Azores en el marco tectónico.

(B) Mapa geológico de la Isla de Terceira (Nunes, 2000) y localización de la sima de Algar do Carvão.

1.2 Características de la Sima Algar do Carvão

La cueva de Algar do Carvão se compone de dos partes: 1) la primera corresponde a la parte más antigua de la cueva. Está relacionada con una actividad volcánica de naturaleza silícea, y formada por lavas traquíticas (SiO_2 - 66%) de 3.200 años de

edad; y 2) la parte más reciente, la cual, corresponde a una chimenea de un cono volcánico basáltico que estuvo activo aproximadamente hace unos 2.000 años (Forjaz *et al.* 2004; Nunes *et al.* 2004), y que se denomina el cono de escorias Algar do Carvão.

Este cono produce una extensa colada lávica, que inundó la caldera de Guilherme Moniz, y se movió hasta la costa sur, y hacia el NE. La apertura de la chimenea corresponde a la boca de la sima, presenta unas dimensiones de 17x27 m (Fig. 2A), y prosigue con un conducto vertical de 45 m de desnivel (Fig. 2B), correspondiendo a la chimenea volcánica (Fig. 2B); a continuación, se desarrolla una rampa, formada por depósitos de gravedad, y finalmente se encuentra otro desnivel en vertical. En total, hay una caída en vertical de 80 m que desemboca en un lago (Fig. 2C), que en los meses de lluvia puede alcanzar 15-20 m de profundidad, y en los meses de verano, quedarse seco (Carvalho *et al.* 2004). La extensión total horizontal de la cueva es de unos 90m, incluyendo dos salas abovedadas localizadas por encima del lago.

En la sima de Algar do Carvão, se observan espeleotemas diferentes de gran volumen, englobando, estalactitas (Fig. 3A y B) en el techo, estalagmitas (Fig. 3C) en el suelo, y coladas y recubrimientos en las paredes de la cueva (Fig. 3D).

Las estalactitas y estalagmitas se forman por un goteo casi continuo de aguas de infiltración que pasan a través de fracturas de la roca volcánica. Los recubrimientos se forman por aguas de escorrentía que salen por las grietas y bañan las paredes de la cueva.

2. METODOLOGÍA

Los espeleotemas muestreados corresponden a estalactitas, estalagmitas, coladas y recubrimientos. La mineralogía se obtuvo a partir de análisis de Difracción de Rayos X (DRX), mediante diagramas de polvo total, utilizando un Equipo PHILIPS modelo PW1710, equipado con monocromador de grafito. El estudio petrológico fue realizado por microscopía óptica y electrónica de barrido (SEM). En SEM, se trabajó sobre fragmentos de muestras metalizadas con oro, con un equipo QUANTA 2000, de la casa FEI, realizándose a la vez análisis químicos puntuales por energía dispersiva (EDS), con un equipo OXFORD Inca.

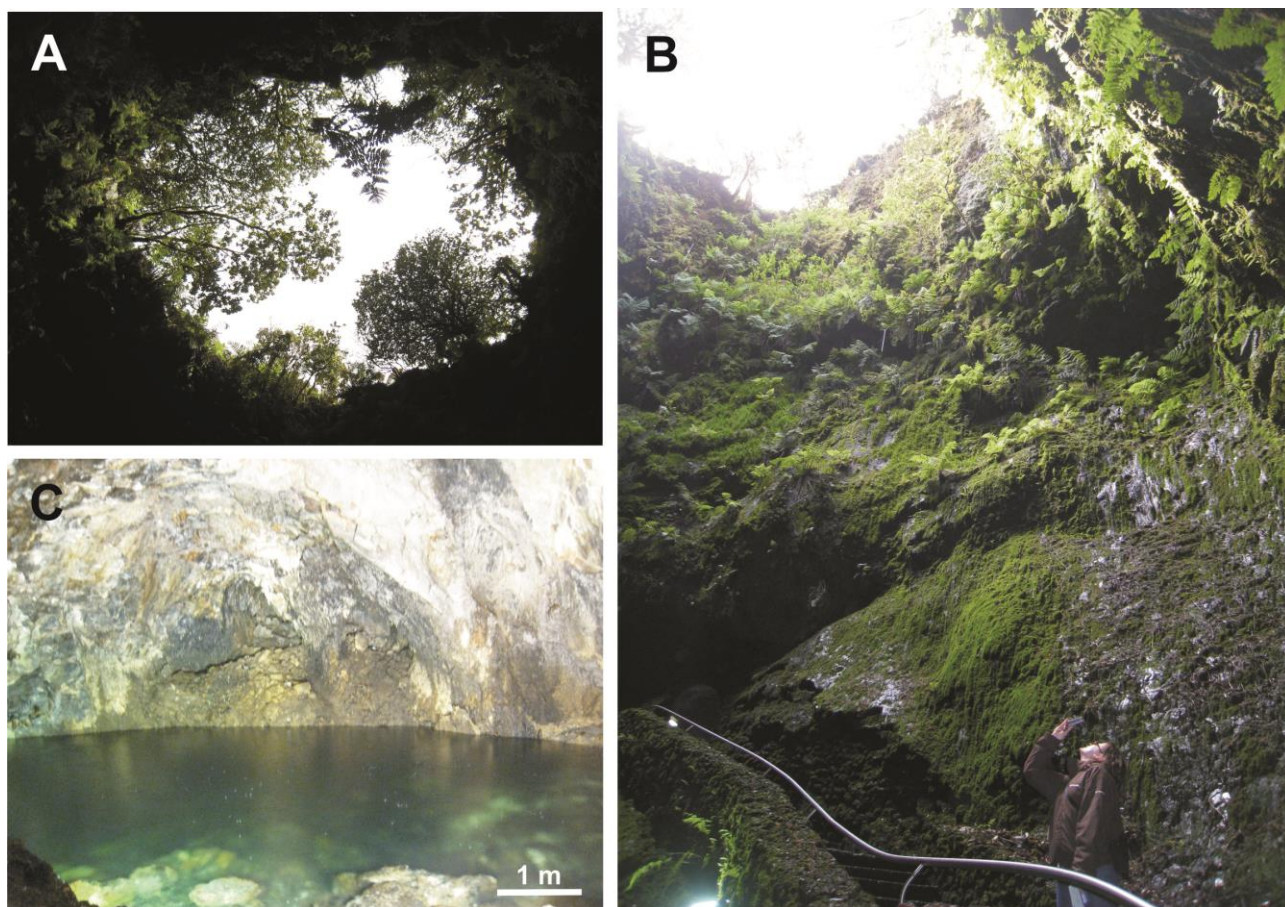


Figura 2. Sima de Algar do Carvão. (A) Apertura de la chimenea, corresponde a la entrada natural de la cueva y presenta unas dimensiones de 17x27 m. (B) Visión general chimenea volcánica de 45 m de la cueva. (C) Lago localizado al fondo de la cavidad.

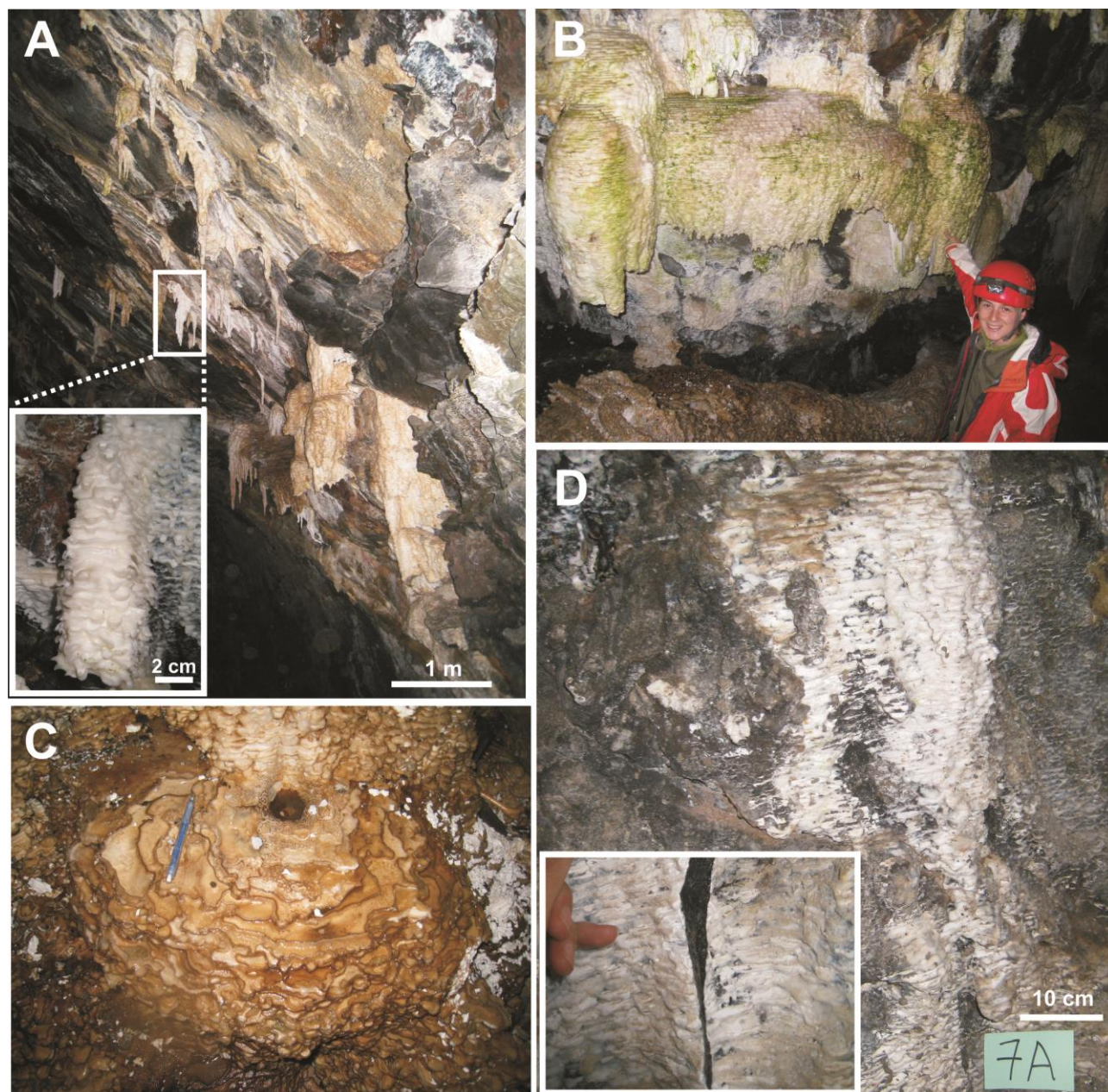


Figura 3. Espeleotemas de la cueva de Algar do Carvão. (A) Estalactitas blancas y ocre que surgen a través de grietas del techo de la cueva, y detalle de una de ellas. (B) Estalactitas blancas en forma de campana. (C) Estalagmita con numerosos gours conocida como la estalagmita de “huevo frito”. (D) Recubrimiento (flowstone) de pared de color blanco. Detalle de la superficie.

3. RESULTADOS

3.1 Mineralogía

Difracción de Rayos X (DRX)

Los espeleotemas estudiados están formados ópalo-A (95-100%), pudiendo incluir <5% de minerales accesorios como feldespatos, piroxenos y micas. El ópalo A ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) se caracteriza por

presentar una banda prominente entre $15\text{-}30^\circ 2\theta$, con un máximo centrado alrededor de $22^\circ 2\theta$ ($\sim 4 \text{ \AA}$) (Jones y Segnit, 1971), y una anchura total a mitad de la altura (FWHM) que varía entre 6 y $7^\circ 2\theta$, con una media de $6,77^\circ 2\theta$ (Fig. 4), lo que determina un ópalo-A desordenado (Herdianita *et al.* 2000). Dentro de esta banda no se definen otros picos, por lo que no existe ni ópalo-C, ni ópalo-CT, ni cuarzo.

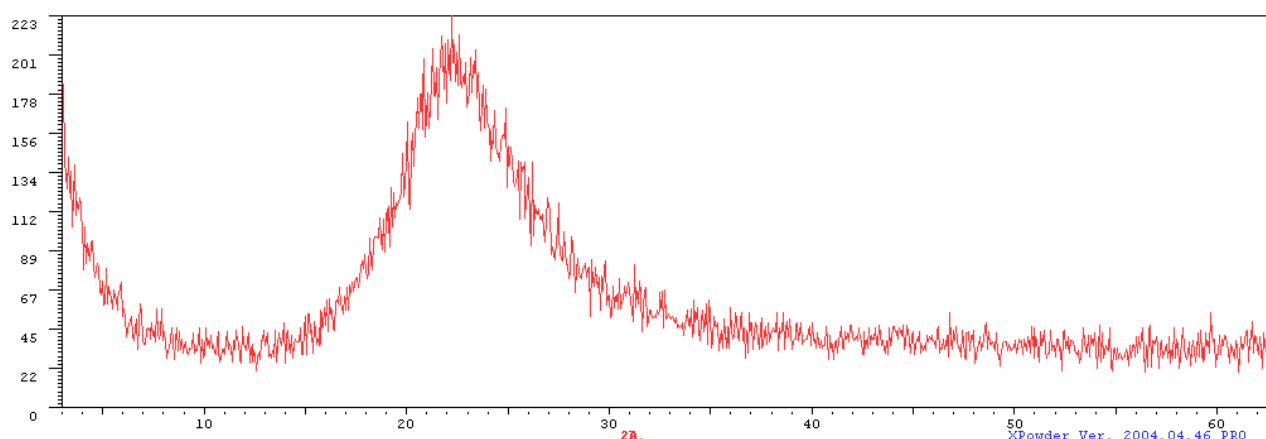


Figura 4. Difractograma de Rayos X donde se observa la estructura de ópalo-A, caracterizada por una banda prominente entre 15-30 °2θ, con un máximo centrado alrededor de 22°2θ (~4 Å) y una anchura total a mitad de la altura (FWHM) entre 6 y 7 °2θ.

3.2 Anatomía de los espeleotemas de Algar do Carvão

Estructura a macroescala

Se describen tres tipos de espeleotemas en la cueva: a) estalactitas (Fig. 3A y B), de hasta 1m de longitud y 40-50cm de diámetro; en este grupo se incluye una variedad de estalactitas en forma de campanas y/o cortinas (Fig. 3B), de más 1m de longitud y más de 50cm de diámetro, b) estalagmitas de <1m de diámetro y 50 cm de altura (Fig. 3C), y c) coladas y finos revestimientos de paredes, también conocidos como *flowstones*, con pequeños gours (Fig. 3D). Todos los espeleotemas están formados por una intercalación de láminas de 1-3mm de espesor, de distintas tonalidades de blancos y diferentes grados de transparencia, algunas de ellas son de color blanco mate y otras translúcidas; Fig. 5A y B).

Estructura a microescala y observaciones en SEM

El estudio petrográfico, realizado en las estalactitas y recubrimientos de la sima de Algar do Carvão, revela una estructura interna definida por finas laminaciones milimétricas y submilimétricas (50-700 μm), alternándose los colores blancos con los pardos. La laminaciones se disponen de forma plano-paralela (Fig. 6A), excepto cuando se forman gours, donde las laminaciones se ondulan (Fig. 6B).

Mediante SEM se observa que los espeleotemas estudiados están formados por microesferas de ópalo-A (0.3-0.5 μm de diámetro) que se disponen en microlaminaciones, con aspecto liso o grumoso, de unos 5-10 μm de espesor (Fig. 7A y B). En ocasiones, las microlaminaciones se adaptan al relieve de la roca volcánica y presentan ondulaciones, igual que en los gours (Fig. 7B). Las microlaminaciones más grumosas suelen ser también más porosas y contienen marcas y moldes de filamentos bacterianos (Fig. 7C), siendo más escasos o inexistentes en las microlaminaciones de aspecto liso (Fig. 7D).

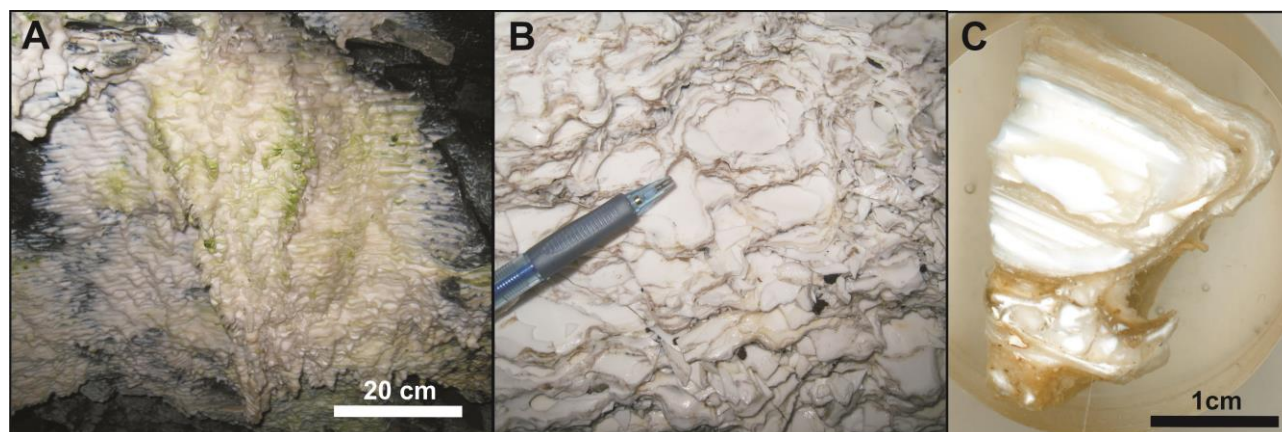


Figura 5. Estructura laminada de los espeleotemas silíceos de Algar do Carvão. (A) Colada formada por laminaciones. (B) detalle de las laminaciones (1-3 mm de espesor) con distintas tonalidades de blancos. (C) Corte de un gour de estalagmita que presenta laminación planoparalela en su interior.

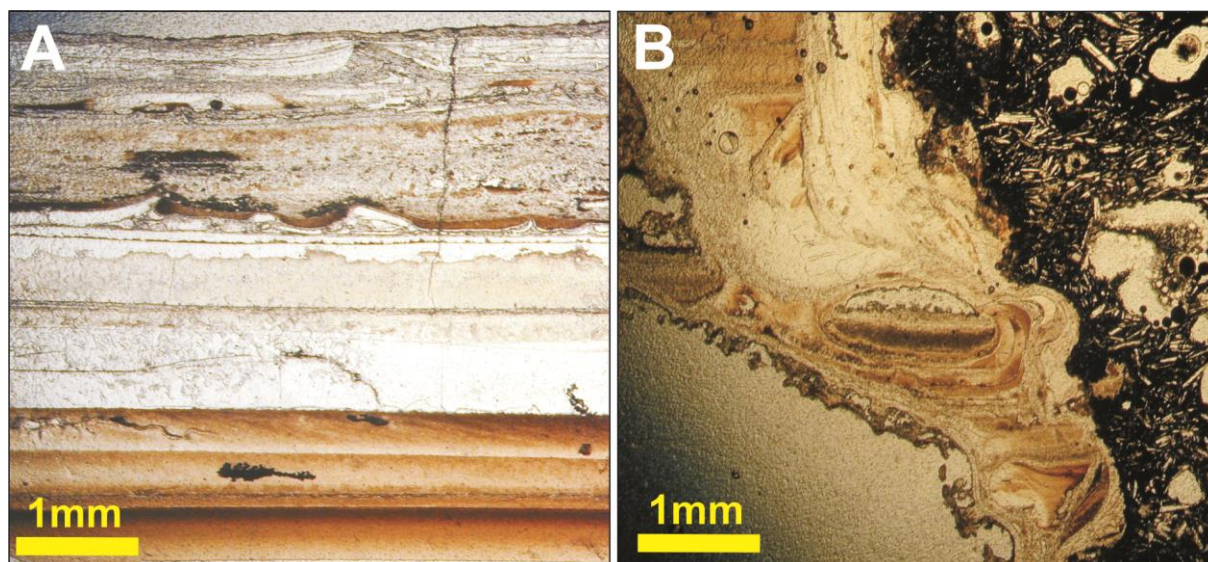


Figura 6. Imágenes de láminas delgadas de los espeleotemas opalinos. (A) Laminaciones planoparalelas (50-700µm) blancas y pardas de una estalactita opalina, y (B) Laminación ondulada en la formación de un gour de una estalagmita.

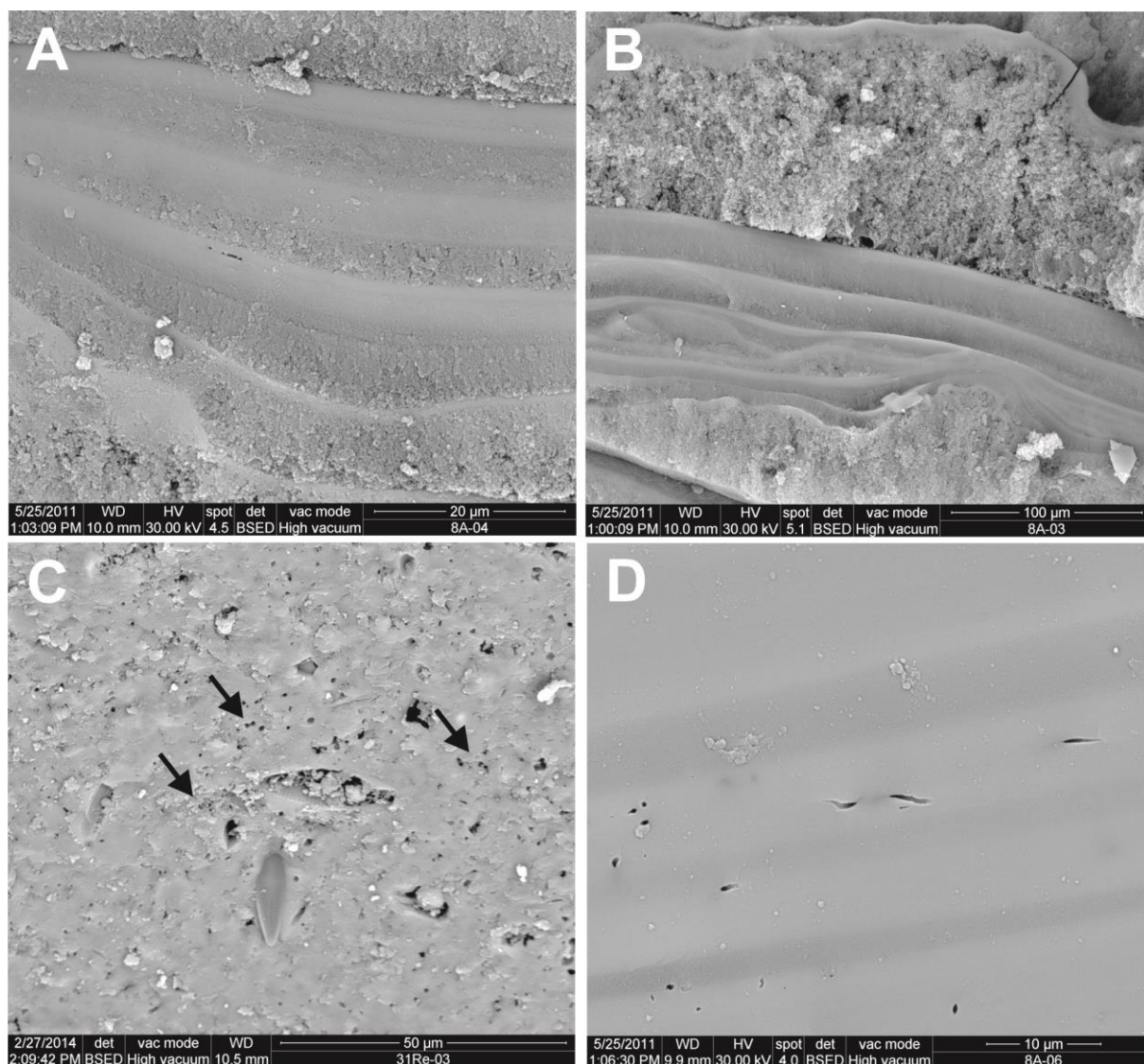


Figura 7. Imágenes SEM de los espeleotemas silíceos de Algar do Carvão.

- (A) Intercalación de microlaminaciones (5-10 µm) con aspecto liso o grumoso, en disposición planoparalela.
 (B) Ondulación de las microlaminaciones en un gour. (C) Microlaminación grumosa donde se observa huecos esféricos (flechas) correspondientes a secciones transversales de filamentos bacterianos y secciones de diatomeas.
 (D) Detalle de una microlámina de aspecto liso con escasas evidencias de actividad microbiana.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presencia de ópalo es habitual en los tubos de lava (Hill y Forti, 1997), sin embargo, es menos frecuente que aparezca en gran cantidad. La composición mineralógica indica que la única fase de la sílice es el ópalo-A. Al encontrarse sólo la fase más amorfa de la sílice, sugiere que los espeleotemas no han sufrido casi diagénesis por envejecimiento (Lynne *et al.* 2008), por lo que se consideran relativamente recientes.

Las estalactitas y estalagmitas de Algar do Carvão presentan ocasionalmente estructuras filamentosas que por la forma y tamaño son interpretadas como moldes de bacterias filamentosas porque solo son marcas. La existencia de filamentos en espeleotemas formados por ópalo-A, ha sido mencionado en algunas ocasiones en cuevas (Willems *et al.* 2002, Aubrecht *et al.* 2008, 2012; Miller *et al.* 2014).

La gran abundancia de sílice que se observa en la cueva no puede explicarse por una simple lixiviación de las rocas volcánicas adyacentes, así que sugiere una fuente de sílice con influencia hidrotermal (Daza, R *et al.* 2014). El proceso de ebullición que sucede en la parte superior de los sistemas geotérmicos se acompaña de la transferencia de gases ácidos (CO₂ y H₂S) al vapor resultante. Este vapor, puede penetrar en la superficie como actividad fumarólica, o bien,

condensarse en las aguas subterráneas poco profundas, acidificándolas. Estas aguas superficiales ácidas, disolverían los minerales de los suelos y/o rocas volcánicas, provocando un fuerte enriquecimiento en sílice en ellas. Si aceptamos esta hipótesis en el caso de la sima de Algar do Carvão el flujo de agua, cargada en sílice, pasaría a través de las fracturas que hay en la roca de la cueva. Al salir en la cavidad, sufriría un cambio en las condiciones red-ox, y en el pH, que daría lugar a la precipitación general de la sílice. Puntualmente las bacterias existentes en el medio serían englobadas en las fases opalinas precipitadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto CGL-2011- 27826-CO2-02. La labor investigadora de R. Daza ha sido financiada por la beca JAE-Predoc CSIC del Programa «Junta para la Ampliación de Estudios» cofinanciada por el FSE». Agradecemos a la “Associação Os Montanheiros”, a Fernando Pereira, a Andrea Martín Pérez y a Francisco Sánchez Merino por su colaboración tanto en la logística como en el trabajo de campo. A todo el personal técnico de los laboratorios del MNCN y especialmente a los de los laboratorios de Rx y de técnicas no destructivas, por su ayuda en el estudio mineralógico y de microscopía electrónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aubrecht, R., Barrio-Amoros, C.L., Breure, A.S.H., Brewer-Carías, C., Derka, T., O.A. F.-R., Gregor, M., Kodada, J., Kováčik, L., Lánzos, T., Lee, N.M., Liščák, P., Schlögl, J., Šmída, B. and Vlček, L. 2012. Venezuelan tepuis: their caves and biota. *Acta Geologica Slovaca, Bratislava*, 168 pp.
- Aubrecht, R., Brewer-Carías, C., Šmída, B., Audy, M. and Kováčik, L. 2008. Anatomy of biologically mediated opal speleothems in the World's largest sandstone cave: Cueva Charles Brewer, Chimantá Plateau, Venezuela. *Sedimentary geology*, 203, 181-195.
- Borges, P., Silva, A. and Pereira, F. 1992. Caves and pits from the Azores with some comments on their geological origin, distribution and fauna. *Proceedins 6th International Symposium on Vulcanospeleology, Hilo, Hawaii*. National Speleological Society, pp. 121-151.
- Bustillo, M., Aparicio, A. and Carvalho, M. 2010. Estromatolitos silíceos en Espeleotemas de la Cueva de Branca Opala (Isla Terceira, Azores). *Macla* 13, 51-52.
- Calvert, A.T., Moore, R.B., McGeehin, J.P. and Rodrigues da Silva, A.M. 2006. Volcanic history and 40Ar/39Ar and 14C geochronology of Terceira Island, Azores, Portugal. *Journal of volcanology and geothermal research*, 156, 103-115.
- Cioccale, M.A., Pasquini, A.I. and Depetris, P.J. 2008. Hallazgo de espeleotemas silíceos en rocas graníticas del batolito de Achala, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Asociación Geológica Argentina*, 63, 417-420.

- Carvalho, M.R., Nunes, J.C. y França, Z. 2004. Controlo hidrogeológico das estalactites siliciosas do Algar do Carvão (Ilha Terceira, Açores). III Pico Island International Volcanological Meeting, Ilha do Pico, Açores, Abstract Book, 21-23.
- Carvalho, J.M., Coelho, L., Nunes, J.C. y Carvalho, M.R. 2013. Geothermal Energy Use, Country Update for Portugal. *European Geothermal Congress*, Pisa, Italy, Abstract Book, 11.
- Daza, R., Bustillo, M.A., Carvalho, M.R., Nunes, J.C. and Pereira, F. 2012. Distribución, composición y génesis de depósitos silíceos en la cueva volcánica de Branca Opala (Terceira, Islas Azores). *Geogaceta*, 52, 37-40.
- Daza, R. y Bustillo, M.A. 2014. Exceptional silica speleothems in a volcanic cave: a unique example of silicification and sub-aquatic opaline stromatolite formation (Terceira, Azores). *Sedimentology*, (en prensa).
- Daza, R., Bustillo, M.A., Recio C., Carvalho M.R. y Nunes J.C. 2014. Composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y δD) de espeleotemas silíceos en las cuevas volcánicas de Algar do Carvão y Branca Opala (Isla Terceira, Azores, Portugal). *Estudios Geológicos* (En prensa, aceptado).
- Ferreira, T. (1994). *Contribuição para o estudo das emanações gasosas associadas a processos de vulcanismo no arquipélago dos Açores*. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 183 pp.
- Forjaz, V.H., Nunes, J.C. y Barcelos, P., 2004. Algar do Carvão volcanic pit, Terceira island (Azores): geology and volcanology. *XIth International Symposium on Volcanospeleology*, Maio, Madalena, Pico, Abstract Book, 24.
- Forti, P. 2001. Biogenic speleothems: an overview. *International Journal of Speleology*, 30, 39-56.
- Forti, P. 2005 Genetic processes of cave minerals in volcanic environments: An overview. *Journal of cave and Karst Studies*, 67, 3-13.
- França, Z., Cruz, J.V., Nunes, J.C. and Forjaz, V.H. 2003. Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. *Acoreana*, 10, 11-140.
- Herdianita, N.R., Browne, P.R.L. and Rodgers, K.A. 2000. Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter. *Mineralium deposita*, 35, 48-62.
- Hill, C.A. and Forti, P. 1997. *Cave minerals of the world*. National speleological society Huntsville, Alabama, USA, 463 pp.
- Jones, J.B. and Segnit, E.R. 1971. The nature of opal I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of the Geological Society of Australia*, 18, 57-68.
- Lynne, B.Y., Campbell, K.A., Moore, J. and Browne, P.R.L. 2008. Origin and evolution of the Steamboat Springs siliceous sinter deposit, Nevada, U.S.A. *Sedimentary geology*, 210, 11-131.
- Miller, A.Z., Pereira, M.F.C., Calaforra, J.M., Forti, P., Dionísio, A. and Saiz-Jimenez, C. 2014. Siliceous Speleothems and Associated Microbe-Mineral Interactions from Ana Heva Lava Tube in Easter Island (Chile). *Geomicrobiology Journal*, 31, 236-245.
- Nunes, J.C. 2000. Notas sobre a geologia da Ilha Terceira (Açores). *Acoreana*, 9, 205-215.
- Nunes, J.C. 2004. *Atlas Básico dos Açores: Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores*, Ponta Delgada. 60-62.

- Self, S. and Gunn, B. 1976. Petrology, volume and age relations of alkaline and saturated peralkaline volcanics from Terceira, Azores. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 54, 293-313.
- Vidal, J.R., Sanjurjo, J., Vaqueiro, M. and Fernández, D. 2010. Speleothems of Granite Caves. *Comunicações Geológicas*, 97, 71-80.
- Vidal, J.R. and Vaqueiro, M. (2007) Types of granite cavities and associated speleothems: genesis and evolution. *Nature Conservation*, 63, 41-46.
- Webb, J.A. and Finlayson, B.L. (1987) Incorporation of Al, Mg, and water in opal-A--evidence from speleothems[secondary minerals found in caves. *American Mineralogist*, 72, 1204-10.
- Willems, L., Compère, P., Hatert, F., Pouclet, A., Vicat, J.P., Ek, C. and Boulvain, F. (2002) Karst in granitic rocks, South Cameroon: cave genesis and silica and taranakite speleothems. *Terra Nova*, 14, 355-362.
- Wray, R.A.L. (1999) Opal and chalcedony speleothems on quartz sandstones in the Sydney region, southeastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 46, 623-632.
- Wray, R.A.L. (2011) Alunite formation within silica stalactites from the Sydney Region, South-eastern Australia. *International Journal of Speleology*, 40, 109-116.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Jan. 2015

Accepted/Aprovado em: Mar. 2015



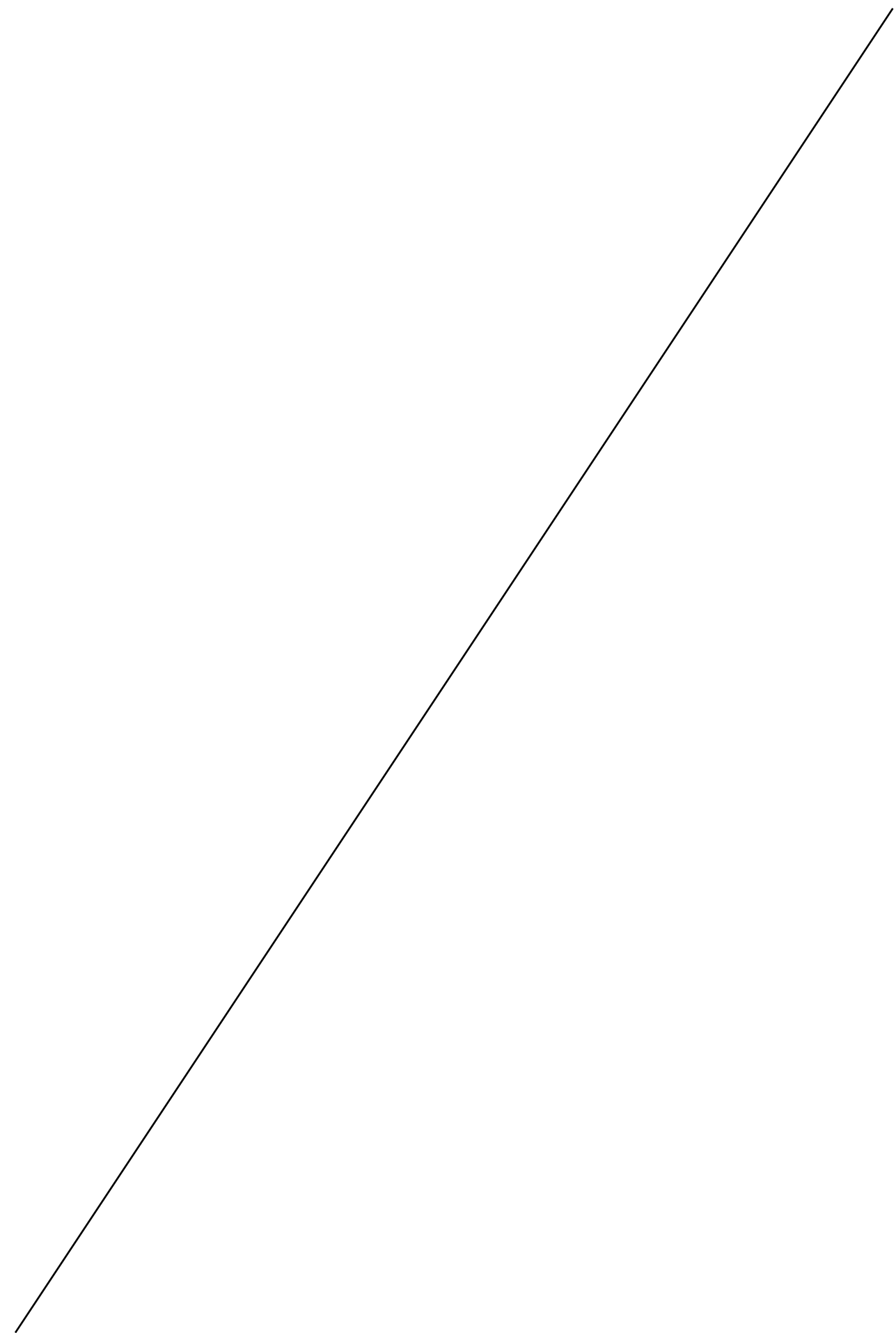
PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas





VALORAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: SUBSÍDIO PARA A SUSTENTABILIDADE DO ATRATIVO NATURAL GRUTA DO SALITRE, DIAMANTINA, MINAS GERAIS

VALUATION OF ENVIRONMENTAL SERVICES AS A TOOL FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THE SALITRE CAVE, DIAMANTINA, MINAS GERAIS, BRAZIL

Hugo Rodrigues de Araujo (1), Arnaldo Freitas de Oliveira Junior (2)
& Alexsander Araújo Azevedo (2)

(1) Instituto Biotrópicos, Diamantina MG;

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Belo Horizonte MG.

E-mail: hugo@biotropicos.org.br; alex@biotropicos.org.br; arnaldojun@gmail.com.

Resumo

A Gruta do Salitre representa um dos atrativos naturais mais importantes situados no entorno de Diamantina, MG. Porém, o local vivia até 2011 um cenário de abandono, degradação e insegurança. Esta situação foi remediada nos últimos anos pelas ações coordenadas pela ONG Instituto Biotrópicos, mas ainda há urgência de se implantar medidas de médio e longo prazo para o desenvolvimento da gestão e do potencial turístico, aliadas à conservação da gruta. Para contribuir com as ações voltadas à sustentabilidade do uso público local, os serviços ambientais prestados pela Gruta do Salitre foram valorados neste trabalho utilizando-se o Método de Valoração Contingente. Visitantes e moradores locais foram entrevistados em 2013 visando a caracterização do perfil socioeconômico e a disposição a pagar dos mesmos pela conservação do atrativo turístico. Estimou-se um valor máximo anual próximo de cinco milhões de reais referente aos benefícios gerados pela gruta. Essa valoração poderá auxiliar a captação de recursos financeiros por meio de uma argumentação econômica bem justificada e contextualizada, e também sensibilizar a sociedade quanto à importância do apoio e parcerias aos gestores em prol da iniciativa de conservar efetivamente o atrativo natural e de desenvolver um turismo responsável no local.

Palavras-chave: Serra do Espinhaço; Serviços ambientais; Valoração; Sustentabilidade; Turismo espeleológico.

Abstract

The Salitre Cave is one of the most important natural attractions in the vicinity of Diamantina, State of Minas Gerais. However, prior to 2011 the site suffered a long period of abandonment, degradation and poor security. This situation has been remedied in recent years by the coordinated actions of the NGO Biotrópicos Institute, but there remains an urgent need to implement medium and long-term measures to manage the site and develop its touristic potential, in conjunction with conservation of the cave. To support actions aimed at sustainable local public use, the environmental services provided by Salitre Cave have been evaluated in this work using the Contingent Valuation Method. Visitors and residents surrounding the cave were interviewed in 2013 to characterize their socioeconomic profile and their willingness to pay to support conservation of this touristic attraction. Potential benefits generated by the cave were estimated at a maximum annual value of approximately five million reais. This data will help mobilize financial resources through sound, well reasoned and contextualized economic argument, and can sensitize society to the importance of supporting managers in their initiative to effectively conserve this natural attraction, generating partnerships aimed at developing responsible tourism.

Key-Words: Espinhaço range; Environmental services; Valuation; Sustainability; Speleological tourism.

1. INTRODUÇÃO

Os serviços ambientais correspondem aos benefícios providos pelos ecossistemas que garantem a sobrevivência das espécies no planeta e que satisfazem direta ou indiretamente as

necessidades humanas (GUEDES; SEEHUSEN, 2011). Assim, a manutenção da qualidade do ar, a provisão de água de qualidade para consumo, a fertilidade dos solos e muitos outros benefícios sociais, culturais, espirituais, estéticos, recreativos e

educativos são exemplos de serviços ambientais (De GROOT et al., 2002).

Atualmente, um agravante à destruição do meio ambiente é o pequeno valor que a sociedade dá aos serviços ambientais. Uma das explicações para isso é que muitos desses serviços têm a características de bens públicos, devido às propriedades de não exclusividade e de não rivalidade (CONSTANZA et al., 1997). A não exclusividade corresponde à impossibilidade de excluir alguém do consumo dos serviços ambientais, como a água, o ar e a beleza cênica. A não rivalidade refere-se à ausência de competição no consumo de um serviço, ou seja, a utilização de um bem por um indivíduo não diminui a quantidade disponível para outro, como a respiração do ar pelos seres vivos (YOUNG; FAUSTO, 1997). Devido às características de não rivalidade e não exclusividade, os direitos de propriedades aos serviços ambientais não são completamente definidos, de modo que os preços não se formam e não atuam para racionar o uso ou gerar receitas para a conservação dos serviços, o que pode resultar em sua degradação ou exaustão (MOTTA, 1998).

Os métodos de valoração ambiental têm o objetivo de tornar explícito o valor econômico dos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas. De acordo com Guedes; Seehusen (2011), a valoração é o caminho para se resolver falhas de mercado associadas à gestão dos serviços ambientais providos pelos ecossistemas, pelo fato de não existir um mercado para a maioria desses serviços e estes, por sua vez, não terem um preço determinado pela dinâmica da oferta e procura. Logo, sendo os preços os sinais de mercado que direcionam as decisões econômicas dos consumidores, se eles não refletem o valor e a escassez dos serviços ambientais, ocorre uma “falha de mercado” que leva ao uso demasiado dos recursos naturais (MOTTA, 1998).

Esta é a situação comum vivida em muitas cavidades naturais subterrâneas do Brasil. Embora o uso das cavernas brasileiras esteja sujeito ao controle e fiscalização do poder público por intermédio do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), uma grande parte encontra-se em perigo, em consequência, principalmente, dos conflitos socioeconômicos causados por empreendimentos ou atividades destinadas ao uso e ocupação do solo e subsolo (FIGUEIREDO et al., 2010). Além disso, as características de bens públicos fazem com que as pessoas atribuam para si o direito ao uso indistinto das cavidades, independentemente de autorização do

poder público, impulsionando ainda mais a degradação dos frágeis ecossistemas cavernícolas.

O espeleoturismo ou turismo espeleológico, como são chamadas as atividades de caráter científico e recreativo desenvolvidas em cavernas, propicia o bem-estar dos praticantes, seja pela contemplação da natureza ou pela prática de esportes de aventura, como rapel, escalada e o espeleomergulho. Estima-se que, atualmente, existam no mundo mais de 5.000 cavernas turísticas que recebem anualmente cerca 250 milhões de visitantes, e movimentam aproximadamente 2 bilhões de dólares (CIGNA; FORT, 2013). Entretanto, o desenvolvimento dessas atividades de forma desordenada acarreta, dentre outros problemas, a degradação do corpo rochoso onde se insere a cavidade e suas formações secundárias (espeleotemas), o acúmulo de lixo, e interferências nas populações de espécies endêmicas da fauna cavernícola, bem como nos sítios arqueológicos e paleontológicos, além de resultar riscos aos visitantes despreparados (CIGNA, 2002).

Considerando também a rápida expansão mundial das atividades econômicas e o aumento exponencial da pressão sobre os recursos naturais, sobretudo minerários, que se sobrepõem geralmente as regiões de cavernas, torna-se urgente a necessidade de estratégias e instrumentos capazes de compatibilizar esse crescimento com a conservação do patrimônio espeleológico (FIGUEIREDO et al., 2010). É neste contexto que a valoração ambiental pode representar uma importante ferramenta para subsidiar o planejamento, a gestão e a conservação de cavidades naturais.

No Brasil, os estudos de valoração econômica de cavidades naturais resumem-se aqueles que avaliaram os serviços ambientais da Gruta do Maquiné, localizada em Cordisburgo/MG (PAULA et al., 2010 e das cavernas da microbacia do Rio Salobra-Bodoquena/MS (SILVA; CAMARGO, 2008). Trabalhos sobre valoração econômica de cavidades naturais também são conhecidos em outros países, a exemplo da área cárstica de Maros, na Indonésia (WALUYO et al., 2005), e do Parque Regional *Škocjan Caves*, na Eslovênia (ACTUM, 2011).

Essa situação de degradação decorrente do uso indiscriminado, sem monitoramento e gestão, caracterizava o cenário da Gruta do Salitre, localizada próxima a cidade histórica de Diamantina, Minas Gerais. Há quatro anos, porém, o Instituto Biotrópicos (Organização Não Governamental de caráter científico e socioambiental) vem estruturando a gestão do uso público desse frágil ecossistema, de modo inédito no país, buscando

construir um modelo de gestão sustentável do patrimônio natural e cultural para assegurar a inclusão social aliada à conservação ambiental local (AZEVEDO; ARAUJO, 2011). Entretanto, embora a ONG esteja monitorando o uso público e desenvolvendo ações de conservação, ainda há uma urgência de se implantar medidas de médio e longo prazo para a sustentabilidade da gestão e para o desenvolvimento do potencial turístico local. Neste contexto, diversos atores locais do poder público e privado poderiam contribuir financeiramente para esse propósito, mas o desconhecimento da dimensão dos benefícios diretos e indiretos proporcionados pela Gruta do Salitre provavelmente limita esse apoio.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi identificar e valorar monetariamente os serviços ambientais proporcionados pela Gruta do Salitre para sensibilizar a sociedade quanto à importância de sua conservação e, ao mesmo tempo, despertar o interesse de parceiros potenciais em apoiar a gestão local para garantir a sustentabilidade do uso público deste atrativo natural.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Gruta do Salitre situa-se a 9 km do centro histórico de Diamantina, cidade Patrimônio da Humanidade, e a menos de 1 km da sede do Distrito de Extração ($18^{\circ}16'35''\text{S}$; $43^{\circ}32'12''\text{O}$), conhecida popularmente como Curralinho (Figura 1).

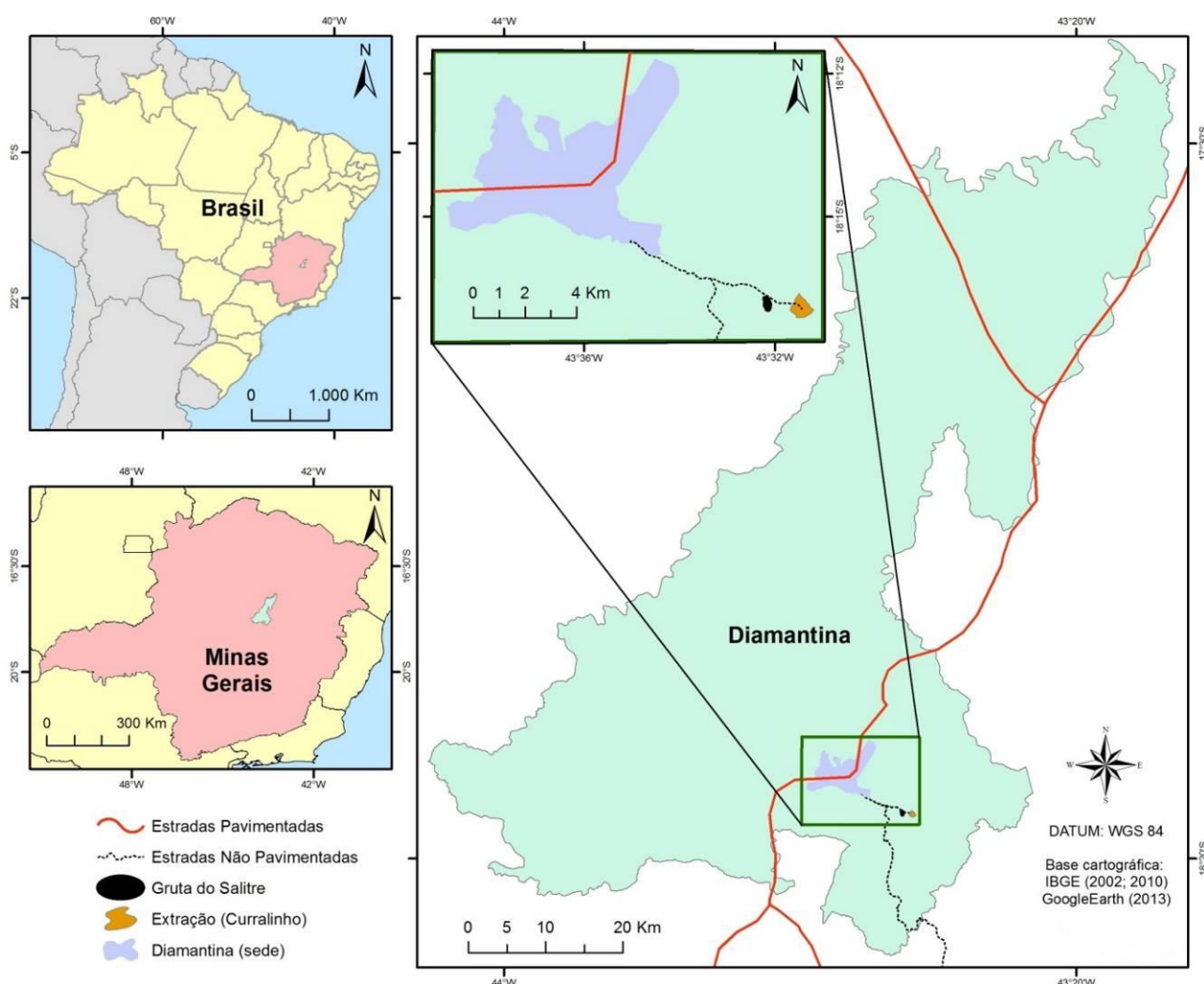


Figura 1. Localização da Gruta do Salitre
(Distrito de Extração, município de Diamantina, Estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil).

Encravada em um afloramento rochoso de quartzito em meio à vegetação de cerrado e campos rupestres, a gruta integra a Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço (UNESCO/MAB, 2005) e o Mosaico de Áreas Protegidas do Espinhaço: Alto

Jequitinhonha-Serra do Cabral (MMA, 2010). Com relevo escarpado, em forma de ruínas, proporciona uma belíssima paisagem que se assemelha a um castelo medieval ou a uma igreja construída no estilo gótico (AZEVEDO; ARAUJO, 2011). O sistema

cárstico abriga uma cavidade subterrânea com vários condutos, um cânion com aproximadamente 125 metros de extensão e uma dolina circundada por paredões de 80 metros de altura (BAGGIO et al., 2012). A proximidade do centro histórico turístico, a facilidade de acesso e sua beleza cênica, fazem da gruta um dos principais atrativos naturais visitados na região (Figura 2).

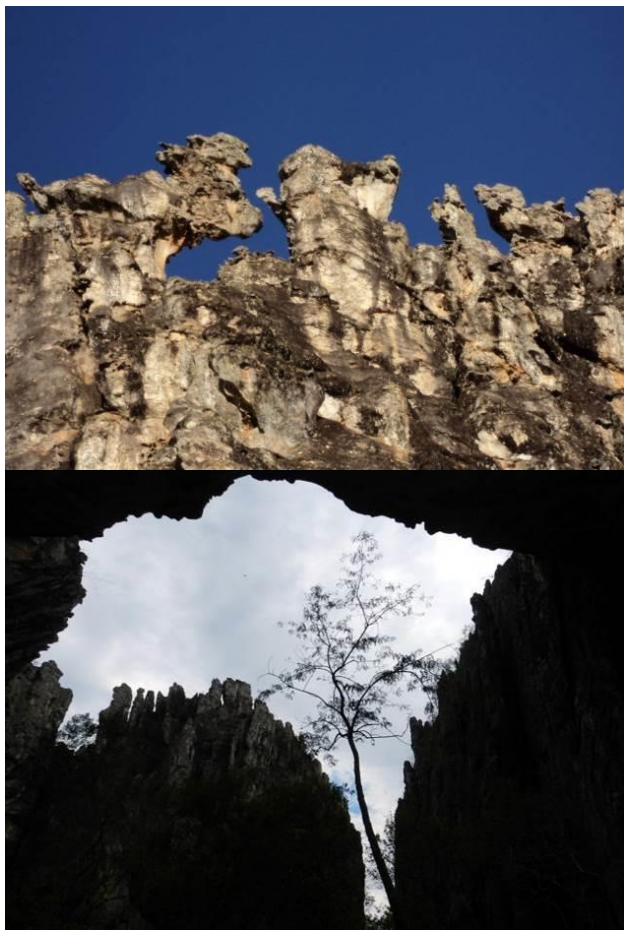


Figura 2. Os detalhes do relevo esculpido em forma de ruínas e vista da silhueta do mapa geográfico do Brasil estão entre as principais atrações turísticas do afloramento rochoso de quartzito da Gruta do Salitre (Distrito de Extração, Diamantina, MG).

3. METODOLOGIA

Os serviços ambientais prestados pela Gruta do Salitre foram identificados com base em levantamento de dados secundários e por meio de observações de campo realizadas entre março de 2011 a novembro de 2014. Em seguida eles foram classificados de acordo com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MA, 2005).

Para efetuar a valoração econômica dos serviços ambientais da Gruta do Salitre foi adotado o Método Valoração Contingente (MVC). Segundo Young e Fausto (1997), o MVC pode ser aplicado para elementos da natureza, tal como a

biodiversidade, patrimônio paisagístico, áreas de proteção ambiental, áreas de lazer ou qualquer outra situação na qual não existam valores de mercado definidos. Nesse caso, o objetivo da valoração contingente é tornar perceptíveis as preferências dos consumidores através de pesquisa de campo e do uso de questionários que indagam a sua disposição a pagar (DAP) pela conservação de um bem natural ou a sua disposição a receber (DAR) como compensação pela perda desse bem (BENAKOUCHE; CRUZ, 1994).

Entrevistas com os visitantes da Gruta do Salitre e moradores vizinhos da comunidade de Currallinho, com idade mínima de 18 anos, foram realizadas utilizando questionário semiestruturado, constituído por uma série ordenada de perguntas abertas, semiabertas e fechadas, sendo as últimas em sua maioria de múltipla escolha. A pesquisa com os visitantes foi realizada na gruta exclusivamente aos sábados e domingos (dias em que se encontrava aberta à visitação) de agosto a outubro de 2013. Ao todo foram aplicados 126 questionários. A pesquisa com os moradores de Currallinho, por sua vez, foi realizada na comunidade no dia 17 de setembro de 2013. Na área urbana de Currallinho existem 128 domicílios particulares e coletivos e 227 moradores (IBGE, 2010). Considerando que muitos domicílios não havia moradores devido ao uso ocasional ou inexistente, foi possível entrevistar 47 moradores de diferentes domicílios (cerca de 20% dos moradores locais). O questionário dividiu-se em duas etapas:

Etapas 1: visou caracterizar o perfil socioeconômico dos dois grupos de entrevistados (visitantes e moradores) por meio de perguntas relativas ao sexo, idade, estado civil, renda mensal e grau de escolaridade. Com relação aos visitantes, também, buscou-se obter informações sobre o local de residência, objetivo da visita à gruta, frequência da visita, meio de transporte utilizado, despesas com a viagem e avaliação do grau de satisfação com a visita. O banco de dados gerado subsidiará planejamentos futuros dos gestores da gruta, bem como de empreendedores externos que desejarem desenvolver produtos e serviços adequados as potencialidades turísticas locais. Os resultados foram publicados por Araujo et al. 2015. Neste trabalho, apenas as informações referentes ao “objetivo da visita” foram utilizadas para identificação dos serviços prestados pela Gruta do Salitre.

Etapas 2: procurou estimar a disposição a pagar (DAP) dos entrevistados pela conservação do atrativo natural. Para isso, os entrevistados foram indagados com a seguinte pergunta: “Para assegurar a conservação da Gruta do Salitre,

você estaria disposto a contribuir com um valor anual/hipotético?”. Foi esclarecido para os entrevistados de que não se tratava de concordar com uma taxa de visitação da gruta e, sim, contribuir com um valor destinado anualmente para conservação do atrativo independente do uso direto dos benefícios por ele providos. Quando o entrevistado respondia “sim”, ele também deveria especificar até quanto, hipoteticamente, ele estaria disposto a contribuir anualmente para preservação dos serviços ambientais da gruta de acordo como uma escala de valores (de R\$ 1,00 a R\$ 10,00), similarmente ao método utilizado nos trabalhos realizados por Oliveira Junior (2003) e Oliveira Junior; Costa (2012).

Baseando-se nos estudos de valoração em Unidades de Conservação do Brasil realizadas no Parque Nacional da Lagoa do Peixe – RS (BRAGA et al., 2003) e no Parque Estadual do Itacolomi – MG (OLIVEIRA JUNIOR; COSTA, 2012; TAFURI, 2008), utilizou-se a seguinte equação matemática para obtenção da estimativa da valoração ambiental da Gruta do Salitre:

$$VA = \left[\left(\frac{DAP}{nDAP} \times 100 \right) \times n^{\circ} \text{ visitantes ano} \times DAP \text{ média} \right] \times \text{área da gruta}$$

Equação matemática utilizada para estimar o valor ambiental da Gruta do Salitre.

Onde:

- VA= Valoração Ambiental, expressa em reais (R\$)
- DAP = número de visitantes dispostos a pagar pela conservação da gruta.
- nDAP = número de visitantes que não estão dispostos a pagar.
- DAPmédia = resultado da soma dos valores máximos que os visitantes/moradores estão dispostos a pagar para conservação da gruta, dividido pelo número total de visitantes/moradores dispostos a pagar.
- Número de visitantes/ano = segundo os gestores da gruta, em 2013 a gruta recebeu 1.558 visitantes somente nos dias em que a cavidade encontrava-se aberta para visitação (sábado e domingo). Para obter os resultados referentes aos moradores de Curralinho (227 habitantes), utilizou-se n° moradores/ano onde se lê n° visitantes/ano.
- Área da gruta = área do atrativo natural Gruta do Salitre sob influência do uso público expressa em hectares (ha).

A equação usa unidades distintas mescladas conjuntamente, ou seja, associa valores em Reais (R\$) a partir da subjetividade do entrevistado e unidade de área expressa em hectares (ha). VA é o produto final da equação e expressa, monetariamente, o valor do objeto de pesquisa. O valor ambiental, mesmo sendo expresso sob grandeza monetária, não representa precificação, ou

seja, não define preço de mercado, e sim, refere-se ao valor relativo ao conjunto de atributos inerentes ao usufruto direto de um ativo ambiental. Para o cálculo da DaPmédia também utilizou-se o valor máximo obtido de disposição a pagar dividido pelo total dos entrevistados (dispostos/não dispostos a pagar), conforme efetuado por Hildebrand et al. (2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais motivações e usos que levam as pessoas a visitarem o local foram identificados como os serviços ambientais prestados pelo atrativo natural, a saber: contemplação da natureza; recreação; prática de atividades esportivas (caminhadas, escalada e rapel); apreciação de concertos musicais; participação em atividades de formação complementar como cursos de curta duração e visitas técnicas voltadas para estudantes de ensino técnico e superior e em atividades lúdico-pedagógicas destinadas ao público infanto-juvenil; e desenvolvimento de pesquisas científicas (Figura 3). As informações obtidas também revelaram a distribuição de alguns alvos de interesse entre visitantes e moradores de Curralinho (Figura 4). O local também se configura como sítio arqueológico e possui rico retrospecto de uso para gravação de documentários, filmes e minisséries de televisão. Além disso, segundo relatos dos moradores locais, a gruta também foi utilizada para realização de algumas celebrações religiosas no passado mais distante.

Com base na classificação proposta pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio, os serviços ambientais prestados pela Gruta do Salitre se agrupam à categoria “Culturais” que correspondem aos benefícios intangíveis obtidos dos ecossistemas, incluindo serviços de educação, recreação, lazer e entretenimento, apreciação da beleza cênica e inspiração para a cultura, arte e design, assim como experiências espirituais (MA, 2005).

De acordo com Araujo et al (2015), do total de visitantes entrevistados 47% manifestaram disposição a pagar, 50% declararam indisposição a pagar e 3% não responderam essa pergunta (desconsiderados para o cálculo da valoração ambiental). Por outro lado, em relação aos moradores de Curralinho, a grande maioria 68% afirmou disposição a pagar pela conservação da gruta, mesmo possuindo renda mensal e nível de escolaridade bastante inferior em relação aos visitantes. Esta constatação corrobora com resultados obtidos em outros estudos de valoração que também utilizaram o MVC, onde em geral, as

pessoas que vivem próximas a determinado sítio natural apresentam-se mais dispostas a contribuir financeiramente com a sua conservação (SILVA; LIMA, 2004; PEREIRA; CAMPOS, 2006). No caso específico da Gruta do Salitre, ficou evidenciado

nesse estudo que isso se deve ao fato dos moradores locais acreditarem que o atrativo natural pode contribuir com a melhoria das condições de vida da comunidade de Curralinho.



Figura 3. Algumas atividades que ocorrem na Gruta do Salitre: a) contemplação da natureza e recreação; b) prática de atividades esportivas; c) concertos musicais; d) visitas especiais programadas com diferentes objetivos e públicos alvos.

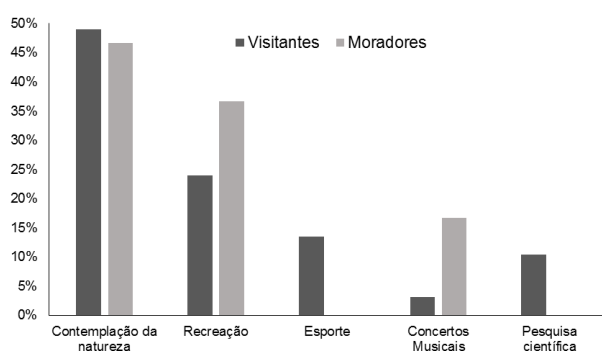


Figura 4. Percentuais de visitantes e moradores de Curralinho distribuídos em categorias de motivos que estimularam as visitas à Gruta do Salitre (Distrito de Extração, Diamantina, MG)

Dentre os moradores não dispostos a pagar, 67% alegou restrições econômicas como motivo impeditivo à contribuição, justificativa esta, preponderante com base nas características socioeconômicas da comunidade de Curralinho

apresentadas anteriormente. No entanto, quase a metade (48%) dos visitantes indispostos a pagar justificou sua posição por considerar que esta seja uma função que compete ao governo. Segundo Silva; Lima (2004), em situações como essa, o indivíduo tira de si qualquer responsabilidade sobre seu uso pessoal e a transfere para o poder público (ARAUJO et al., 2015). O problema, nesse tipo de atitude, reside no fato dessa postura incentivar a sociedade a ficar fora do processo de tomada de decisão sobre o gerenciamento dos recursos naturais. Sendo que, o gerenciamento desse tipo de recursos influencia, diretamente, a qualidade de vida da sociedade atual e das futuras gerações (SILVA; LIMA, 2004).

O valor obtido para DAPmédia, por sua vez, foi menor para os visitantes (R\$ 6,48) em comparação ao valor referido pelos moradores de Curralinho (R\$ 7,78). Ao se dividir o valor máximo obtido de disposição a pagar pelo o total dos

entrevistados (dispostos e não dispostos a pagar), os valores da DAP média reduziram para visitantes (R\$ 3,16) e moradores (R\$ 5,29). Os resultados da DAP média, também, evidenciaram a maior disposição dos moradores de Curralinho em contribuir com a conservação da Gruta do Salitre, uma vez que a maior parte dos moradores dispostos a contribuir declarou que destinaria até 10 reais por ano de sua renda para esse fim, mesmo dispondo em geral de menos recursos financeiros que os visitantes da gruta (Figura 5).

Utilizando a equação matemática descrita na metodologia para estimar a valoração ambiental da gruta e os dados contidos na Tabela 1, foi possível obter um valor em torno de R\$ 4.807.542,85/ano a partir das informações obtidas com a entrevista dos visitantes, e de R\$ 1.883.797,33/ano de acordo com as informações dos moradores locais. Nesse caso, a diferença acentuada dos valores obtidos justifica-se, basicamente, pelo número quase sete vezes maior de visitantes/ano em relação ao número de moradores na comunidade de Curralinho. Quando a DAP média é calculada com base no total dos entrevistados, dispostos e não dispostos a pagar pela conservação da gruta (DAP média = R\$ 3,16/visitante e R\$ 5,29/morador), o valor passa a ser R\$ 2.344.419,04/ano a partir dos dados referentes aos visitantes, e R\$ 1.280.885,33/ano de acordo com os dados dos moradores locais.

Todavia, é importante ressaltar que valorar monetariamente os recursos ambientais não significa atribuir um preço. Existe aquilo que não têm preço, mas possui significado que lhe confere

valor. Valores podem variar de acordo com o significado atribuído pelas pessoas. Peças de arte e objetos raros, por exemplo, possuem enorme significado e valor para uns e nenhum para outros. Na abordagem de marketing, o valor confronta percepções e escolhas, e não está vinculado somente ao aspecto econômico que tange a compra de um produto (MATTAR, 2012). Segundo a teoria econômica, o preço de um determinado bem resulta basicamente do confronto, no mercado, entre a sua procura por parte dos consumidores e a sua oferta por parte dos produtores. Contudo, o estudo de valor adquire uma perspectiva um pouco diferente, uma vez que as considerações meramente econômicas não são suficientes para compreender o que leva um indivíduo a adquirir um produto (MOTTA, 1998).

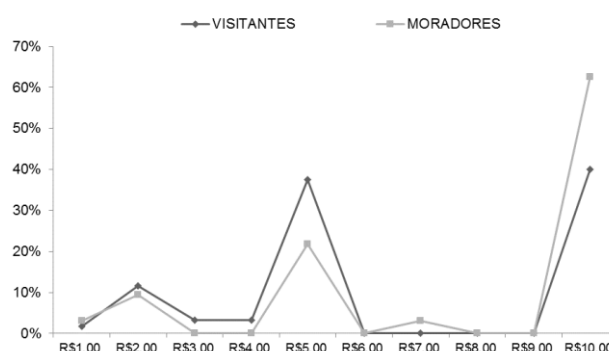


Figura 5. Percentuais de visitantes e moradores de Curralinho dispostos a pagar pela conservação da Gruta do Salitre, distribuídos pelas categorias de valores de acordo com a escala proposta de R\$ 1,00 a R\$ 10,00.

Tabela 1. Dados obtidos e utilizados para estimar a valoração ambiental do atrativo natural Gruta do Salitre (Distrito de Extração, Diamantina, MG).

Parâmetros utilizados no cálculo de valoração ambiental da Gruta do Salitre	Visitantes	Moradores de Curralinho ⁽¹⁾
Número total de entrevistados	123 ⁽²⁾	47
Número de pessoas com disposição a pagar (DAP)	60	32
Número de pessoas não dispostas a pagar (nDAP)	63	15
DAP média (R\$) ⁽³⁾	6,48	7,78
Número de visitantes/ano (2013)	1.558	-
Número de moradores ⁽⁴⁾	-	227
Área do atrativo natural sob influência de uso público	5 (hectares)	5 (hectares)

⁽¹⁾ Comunidade vizinha a Gruta do Salitre (1 km); ⁽²⁾ Três questionários foram excluídos por falta de resposta sobre a DAP; ⁽³⁾ DAP média = resultado da soma dos valores máximos que os visitantes estão dispostos a pagar pela conservação da gruta, dividido pelo número total de visitantes dispostos a pagar. ⁽⁴⁾ Fonte: IBGE, 2010.

Hildebrand et al. (2002) ressaltaram que resultados obtidos sobre valoração ambiental refletem a situação socioeconômica e o grau de conscientização da população em determinado

momento. Sendo assim, ainda que já represente um importante indicador do bem-estar atual proporcionado à sociedade, os serviços ambientais ofertados pela Gruta do Salitre e sua valoração

econômica poderão aumentar consideravelmente. Além dos serviços exclusivos e consolidados como a oferta de beleza cênica singular e espaço ideal para práticas esportivas e concertos musicais, ainda há grande potencial de serviços a ser descoberto no local. Os estudos científicos, por exemplo, ainda são bastante incipientes no local, de modo que o incremento de informações sobre as espécies que habitam a porção cavernícola ou sobre a hidrologia da área de entorno do afloramento rochoso da gruta poderá aumentar bastante o valor ambiental deste atrativo natural. Portanto, à medida que outros serviços forem identificados e que as ações de gestão e produtos agregados à visitação avancem, maior será a valoração local, que por sua vez, despertará ainda mais o interesse de adesão de parceiros ao processo de gestão deste atrativo natural.

5. CONCLUSÃO

A identificação e a valoração dos serviços ambientais prestados pela Gruta do Salitre destacaram a importância deste atrativo turístico não só para a comunidade local, mas para toda a sociedade. Os resultados aqui apresentados poderão

auxiliar a determinação do valor de taxas de ingressos e/ou multas por danos ambientais causados no local. A valoração obtida promove uma argumentação econômica sólida que deve servir como uma importante ferramenta para sensibilizar a sociedade, tanto em relação à importância da conservação da gruta, quanto à necessidade de adesão de apoiadores financeiros do poder público e privado, sobretudo das empresas ligadas ao setor de turismo, para o alcance da sustentabilidade gerencial e do uso público do atrativo turístico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Ouro Preto que conferiu bolsa ao primeiro autor para desenvolvimento desde trabalho como parte de sua dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental. Ao Prof. Guilherme Varajão (Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri), pelo auxílio na elaboração do mapa de localização da Gruta do Salitre. Aos voluntários que auxiliaram a aplicação dos questionários e a coleta de informações para a condução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ACTUM. **Ecosystem services evaluation in the Škocjan Caves Regional Park**. Ljubljana: ACTUM. 2011. Disponível em: <www.park-skocjanske-jame.si/cgi-bin/newseng.cgi?action=detail&id=19>. Acesso em: 5 de dez. de 2014.
- ARAUJO, H.R.; OLIVEIRA-JUNIOR, A.F.; AZEVEDO, A.A. Percepções e perfil socioeconômico dos visitantes e da comunidade local para o desenvolvimento do espeleoturismo em um atrativo natural em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, São Paulo, v.8, n.4, mai/ago 2015, pp.462-481.
- AZEVEDO, A.A.; ARAUJO, H.R. Processo de estruturação da gestão do uso público da Gruta do Salitre, Diamantina, Minas Gerais. In: RASTERO, M.A.; MOSS, D.F.; PONTES, H.S. (Eds). CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa: Sociedade Brasileira Espeleológica, 2011. p. 201-208. Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais31cbe/31cbe_201-208.pdf>
- BAGGIO, H.; SOUZA, F.C.R.; TRINDADE, W.M. Morfologia Cárstica do Maciço Quartzítico da Gruta do Salitre, Diamantina – MG. **Revista Vozes dos Vales da UFVJM: Publicações Acadêmicas**, v.1, n.1, p.1-20, 2012.
- BENAKOUCHE, R.; CRUZ, R.S. **Avaliação monetária do meio ambiente**. São Paulo: Makron Books, 1994. 198p.
- BRAGA, P; OLIVEIRA, C. R.; ABDALLAH, P. R. Aplicação do método de valoração contingente no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS, Brasil. In: SEMINÁRIO ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE, REGULAÇÃO ESTATAL DE AUTO-REGULAÇÃO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 3, Campinas. **Anais**. Campinas: Instituto de Economia, 2003.

- CIGNA, A; FORT, P. Caves: the most importante geotouristic feature in the world. **Tourism an Karst Areas**, Campinas, v. 6, n. 1, p. 9-26, 2013. Disponível em <www.cavernas.org.br/ptpc/tka_v6_n1_009-026.pdf>.
- CIGNA, A. Modern trend in cave monitoring. **Acta carsologica**, Ljubljana, v.31, n.1, p. 35-54, 2002.
- CONSTANZA, R.; D'ARGE, R.; De GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; Limburg, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. Van Den. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. **Nature**, v.387, p.253-260, 1997.
- De GROOT, R.S.; WILSON, M.A.; BOUMANS, R.M.J.A. Typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v.41, p.393-408, 2002.
- FIGUEIREDO, L.A.V; RASTEIRO, M.A; RODRIGUES, P.C. Legislação para a proteção do patrimônio espeleológico brasileiro: mudanças, conflitos e o papel da Sociedade Civil. **Espeleo-Tema**, v.21, n.1, p.49-65, 2010. Disponível em: <www.cavernas.org.br/espeleo-tema/espeleo-tema_v21_n1_049-065.pdf>.
- GUEDES, F.B.; SEEHUSEN, S.E. (Orgs.). **Pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília, DF: MMA, 2011. 272p.
- HILDEBRAND, E.; GRAÇA, L; HOEFLICH, V. Valoração contingente na avaliação econômica de áreas verdes urbanas. **Florestas**, v.32, n.1, p.121-132, 2002.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- MA-Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington: Island Press, 137p., 2005.
- MATTAR, F. **Pesquisa de Marketing**. Rio de Janeiro: Elsevier, 336p., 2012.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria 444 de 26/11/2010. Brasília, DF. 2010.
- MOTTA, R. S. **Manual para valoração de recursos ambientais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998. 242 p.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. F; COSTA, T.P. Valoração contingente dos serviços ecossistêmicos providos pelo Parque Estadual Itacolomi, MG. In: Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental, 2, Guarapari. **Anais**: Guarapari: CEDAGRO, 2012.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. F. **Valoração Econômica da Função Ambiental de Suporte relacionada às atividades de turismo, Brotas, SP**. 2003. 277p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- PAULA, Z. R.; GOMES, M. F. M.; LIMA, J. E.; COELHO, A. B.; QUINTELA, M.C. A. Valoração Econômica da Gruta do Maquiné em Cordisburgo – MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.8, n.3, p.421-443, 2010.
- PEREIRA, P. F. S; CAMPOS, E. M. G. Valorando o ecoturismo e as atividades recreacionais da área de proteção ambiental serra de São José (MG): uma aplicação do método custo de viagem e da valoração contingente. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 12, Diamantina. **Anais**. Diamantina: Cedeplar/UFMG, 2006. p. 1-20.

- SILVA, L. F; CAMARGO, R. R. Valoração econômica das cavernas da microbacia do Rio Salobra, Bodoquena-MS como subsídio ao planejamento ecoturístico. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, v.1, n.2, p.121-129, 2008. Disponível em: <www.cavernas.org.br/ptpc/ptpc_v1_n2_121-129.pdf>.
- SILVA, R. G; LIMA, J. E. Valoração contingente do parque "Chico Mendes": uma aplicação probabilística do método Referendum com bidding games. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.42, n.4, p. 685-708, 2004.
- TAFURI, A.C. **Valoração ambiental do Parque Estadual do Itacolomi**. 2008. 159p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- UNESCO/MaB – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura/Programa Man and the Biosphere. Paris: UNESCOPRESS, 2005. Disponível em:<http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=28229&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html>. Acesso em: 05 de dez. de 2014.
- WALUYO, H; SADIKIN, S.R; GUSTAMI; WHITING, P. An economic valuation of biodiversity in the karst area of Maros, south Sulawesi, Indonésia. **Biodiversity**, v.6, n.2,p.24-26, 2005.
- YOUNG, C.E.F.; FAUSTO, J.R.B. **Valoração de Recursos Naturais como Instrumento de Análise da Expansão da Fronteira Agrícola na Amazônia**. Texto para discussão nº490. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997. 27p.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Dez. 2014

Accepted/Aprovado em: Jun. 2015



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas



GRUTA DO MATEUS (BONITO-MS, SERRA DA BODOQUENA): CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E PROPOSTA DE USO TURÍSTICO

**MATEUS CAVE (BONITO, MATO GROSSO DO SUL STATE, SERRA DA BODOQUENA, BRAZIL):
ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION AND TOURIST USE PROPOSITION**

**Marcos Luís Faleiros Lourenção (1,7); Livia Medeiros Cordeiro (1,2);
Lucas Padoan de Sá Godinho (3); Rodrigo Borghezani (1,2,4); José Ayrton Labegalini (5);
Silmara Zago (6); Keny Marques Lima (1,7) & Heros Augusto Santos Lobo (1,6,8)**

- (1) Grupo de Espeleologia da Serra da Bodoquena (GESB), Campo Grande MS;
- (2) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande MS;
- (3) Grupo de Espeleologia da Geologia da USP (GGEO), São Paulo SP;
- (4) Universidade Anhanguera-UNIDERP, Campo Grande MS;
- (5) Estação Floresta Assessoria Ambiental e Turismo Ltda., Campinas SP;
- (6) União Paulista de Espeleologia (UPE), São Paulo SP;
- (7) Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados MS;
- (8) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Sorocaba SP.

E-mail: marcoslourencao@ufgd.edu.br; liv.biosub@gmail.com; lucaspagodinho@gmail.com.

Resumo

A região de Bonito, no estado de Mato Grosso do Sul, é um dos mais importantes destinos brasileiros de ecoturismo e turismo sustentável, destacando-se as cavernas como importantes atrativos. Nesse contexto, a gruta do Mateus recebeu estudos de caracterização ambiental entre os anos de 2012 e 2013, para verificar suas condições para o uso turístico. Foram desenvolvidas pesquisas dos temas de geoespeleologia, espeleoclimatologia, fauna cavernícola, organismos patógenos, vegetação do entorno, potencial para visitação e educação ambiental. A identificação do potencial para visitação, associada aos níveis pouco elevados de fragilidade do ambiente, permitiram a delimitação do planejamento espacial interno e externo da caverna, da capacidade de suporte de 304 visitas por dia e de um programa de gestão que aborda aspectos gerenciais, recreacionais, educacionais e estruturais, entre outros. Após um processo de avaliação e aprovação formal realizado pelo Instituto de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul (IMASUL), a gruta foi aberta para a visitação em janeiro de 2014. Como resultados preliminares, a gruta vem obtendo um fluxo inicial de aproximadamente 200 visitantes por mês, mesmo sem uma divulgação efetiva do atrativo. As perspectivas futuras dizem respeito à necessidade de implantação dos protocolos de monitoramento do ambiente.

Palavras-chave: Conservação Ambiental; Ecoturismo; Espeleoturismo; Plano de Manejo Espeleológico.

Abstract

The Bonito region, in the Mato Grosso do Sul state, is one of the most important Brazilian destinations for ecotourism and sustainable tourism, highlighting caves as one important attraction. In this context, the Mateus cave received environmental characterization studies between the years of 2012 and 2013, to verify its tourist use conditions. Developed researches include the themes of geoespeleology, speleoclimatology, cave fauna, pathogen organisms, surrounding vegetation, potential for visitation and environmental education. The identification of the visiting potential, associated to the low environmental fragility levels, allowed the delimitation of the cave's internal and external spatial planning, the carrying capacity of 304 persons per day and one management program that considers management, recreational, educational and structural aspects, among others. After an official evaluation and approval process, taken by the Environmental Institute of the Mato Grosso do Sul State (IMASUL), the cave was opened for visitation in January 2014. As preliminary results, the cave has obtained an initial flux of about 200 visitors monthly, even without an effective divulgation of the attractive. The future perspectives concerns with the necessity of implementation of the environmental monitoring protocols.

Key- Words: Environmental Conservation; Ecotourism; Speleotourism; Plan of Speleological Management.

1. INTRODUÇÃO

A visitação de cavernas no Brasil, ou espeleoturismo, é uma atividade ainda pequena se comparada com as demais formas de turismo de natureza no país, mas cujo destaque tem se ampliado nas últimas três décadas, pelo menos. Estudos recentes apontam para quase 200 cavernas turísticas no país (LOBO, 2008), número este que certamente deverá ser ampliado à medida que o esforço de catalogação das cavernas turísticas se intensifica. Neste cenário, a região da Serra da Bodoquena, no Estado de Mato Grosso do Sul, é uma das mais conhecidas áreas cársticas carbonáticas brasileiras. O espeleoturismo na região data dos anos de 1970 (VARGAS, 2001), tendo a gruta do Lago Azul como precursora para seu desenvolvimento, em um universo de 206 cavidades naturais identificadas na região (SALLUN FILHO et al., 2010) – embora apenas 101 delas estejam formalmente cadastradas no Cadastro Nacional de Cavernas (SBE, 2014). Destas, cinco cavidades naturais já eram abertas ao espeleoturismo – grutas do Lago Azul e São Miguel, abismo Anhumas, lagoa Misteriosa e buraco das Araras – antes do estudo ora apresentado, que possibilitou a abertura da gruta do Mateus (embora registrada formalmente como *gruta do Mateus*, o empreendedor optou por nomear a caverna comercialmente como *gruta São Mateus*). O nome Mateus é uma referência ao morador que vivia na base do morro onde se localiza a caverna, mecânico e pessoa que trouxe o primeiro automóvel para a região.

Do total atual de seis cavernas turísticas da Serra da Bodoquena, quatro estão localizadas em Bonito – incluindo a gruta do Mateus, a menos de 3 km do centro da cidade – e duas em Jardim. O município de Bonito está a aproximadamente 300 km de Campo Grande, a capital do estado de Mato Grosso do Sul (Fig. 1).

A gruta do Mateus encontra-se na borda Leste do carste da Serra da Bodoquena, em uma zona caracterizada por planícies com morros residuais isolados, cujas cristas são orientadas segundo a direção norte-sul, que coincide com a foliação metamórfica regional (SALLUN FILHO, 2005) (Fig. 2). As rochas carbonáticas do carste da Serra da Bodoquena pertencem ao Grupo Corumbá, cujo início da deposição foi marcado por uma fase *rift*, com depósitos clásticos de leques aluviais, seguidos por uma fase *drift*, que apresenta sedimentos marinhos rasos a profundos (ALMEIDA, 1984; BOGGIANI, 1998). A gruta do Mateus encontra-se encaixada em dolomitos metamorfisados da Formação Bocaina, interpretados como de ambiente de planície de maré (BOGGIANI et al., 1993). O

mármore dolomítico que abriga a gruta do Mateus possui foliação metamórfica com direção norte-sul e mergulho de 45° para leste, que condicionou a formação dos condutos mais volumosos da caverna, com padrão linear (*sensu* PALMER, 1991) e direção paralela à da foliação principal. Condutos mais estreitos e menos volumosos, com formato da seção em fenda e orientados segundo a direção leste-oeste, truncam de forma perpendicular os condutos principais, sendo condicionados por fraturas de alto ângulo. A caverna não apresenta cursos d'água perenes, sendo rara a ocorrência de água, limitada a alguns gotejamentos esparsos. Os espeleotemas são predominantemente compostos por aragonita, provavelmente devido à composição dolomítica da rocha encaixante, e apresentam a superfície intemperizada, indicando a permanência de um longo período com pouca infiltração. Ocorrem brechas sedimentares clásticas próximas às entradas da caverna e em seu interior, formadas por fluxos de detritos, que em alguns locais abrigam grande concentração de fósseis de morcegos e outros pequenos vertebrados. No interior da caverna também ocorrem fácies de pelitos tabulares, cuja origem está associada a deposição subaquática por decantação durante a atenuação de eventos de enchente, intercalados com fácies de calcita tabular, interpretada como espeleotemas do tipo escorrimento, provavelmente depositados no intervalo entre enchentes sucessivas.

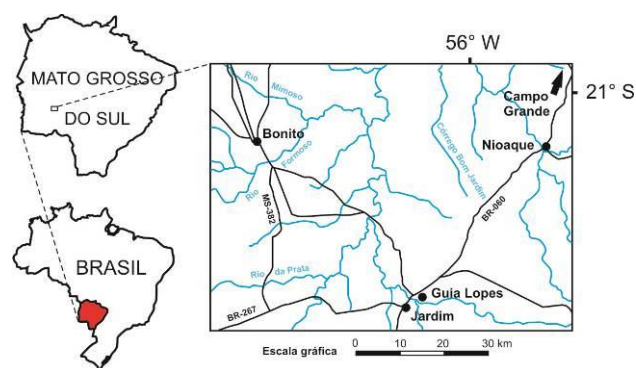


Fig. 1. Localização da área de estudo.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta os principais resultados da elaboração do Plano de Manejo Espeleológico (PME) da gruta do Mateus, para permitir sua abertura para a visitação. Segundo a legislação brasileira (Resolução CONAMA 347/2004), a existência do PME é requisito fundamental para que uma caverna possa ser utilizada de forma regular para o turismo. Além disso, pela legislação do estado de Mato Grosso do Sul, as cavernas estão entre os empreendimentos turísticos que precisam de licença para funcionamento (cf. SEMAC, 2010), sendo o PME um pré-requisito para permitir a operação comercial

das atividades de espeleoturismo, que deve ser autorizada pelo órgão responsável da administração estadual – o IMASUL (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul).

2. MÉTODOS E ETAPAS

A elaboração do PME da gruta do Mateus se baseou no Termo de Referência do IMASUL (2012), o qual apresenta os estudos mínimos necessários. A experiência anterior da equipe também foi fundamental, de forma que as metodologias empregadas, em sua maioria, já tinham sido utilizadas em outros projetos de conservação de áreas cársticas ou gestão de cavernas. Foram desenvolvidas investigações de campo do meio físico, biótico e de aspectos inerentes ao turismo. O enfoque geral dos estudos ambientais foi a identificação de fragilidades específicas relativas ao turismo, com base no método proposto em Lobo et al. (2013).

Para o estudo do meio físico, a delimitação das zonas de fragilidade foi realizada com base em critérios essencialmente geológicos e geomorfológicos da caverna, como padrão morfológico de condutos, descrição da rocha encaixante, depósitos clásticos, espeleotemas, hidrologia e relações da morfologia da caverna com a morfologia do meio externo. As zonas de fragilidade variaram de acordo com a susceptibilidade de degradação dos indicadores físicos ao uso intensivo do meio, podendo ser baixa, média, alta ou absoluta (*sensu* LOBO et al., 2013). As principais características consideradas para avaliar a fragilidade dos indicadores físicos foram: localização ao alcance dos visitantes ou no substrato, ocorrência rara na caverna e importância científica ou relevância considerável em comparação a outras cavernas da região. Ainda no meio físico, os estudos atmosféricos foram desenvolvidos por meio de um monitoramento, envolvendo tanto o microclima externo quanto o espeleoclima. O monitoramento foi desenvolvido entre os meses de junho e novembro de 2012. Os resultados permitiram a identificação das fragilidades atmosféricas da gruta (*sensu* LOBO et al., 2013), que foram avaliadas, sobretudo, em função da conectividade com o microclima externo e em função do potencial de dispersão dos impactos da visitação.

O levantamento da fauna cavernícola foi realizado em duas etapas, em março e junho de 2012. Os invertebrados foram coletados manualmente, com pinças e pincéis, e uma armadilha do tipo *pittfall trap*, sem isca atrativa, foi exposta durante 48 horas em cada um dos 23 setores

definidos para o estudo bioespeleológico. Os espécimes coletados foram fixados em álcool 70%, triados em estereomicroscópio e identificados ao menor nível taxonômico possível junto aos especialistas. Morcegos foram capturados com rede de neblina estendida na entrada principal da caverna, sendo cada exemplar pesado e medido o comprimento do antebraço, fotografados e soltos próximo à entrada da caverna. Outros vertebrados foram fotografados durante os trabalhos de campo e considerados para o presente levantamento. Após a análise da riqueza, diversidade e similaridade entre os setores amostrados, no *software* PAST versão 2.17 (HAMMER et al., 2001), os setores foram classificados em quatro níveis de fragilidade (absoluta, alta, média e baixa), seguindo a proposta de Lobo et al. (2013). Os critérios para a determinação dos níveis de fragilidade biológica foram: riqueza e abundância de espécies, riqueza de recursos tróficos, presença de espécies vulneráveis e/ou de função importante para o ecossistema cavernícola (ex. morcegos e roedores) e presença de substratos inorgânicos importantes para os animais cavernícolas (ex. sedimentos inconsolidados e substratos umidos). Ainda no meio biótico, foram desenvolvidos estudos sobre potenciais organismos nocivos à saúde, com foco nos mosquitos vetores de Leishmaniose e no fungo *Histoplasma capsulatum*, causador da histoplasmose. Foram feitas coletas de material orgânico dentro da caverna para este último, bem como capturas em armadilhas luminosas para os mosquitos. O material coletado foi analisado em laboratório, por meio de PCR (*Polimerase Chain Reaction*).

Para a análise do atual e do potencial uso turístico da gruta foram consideradas as seguintes etapas: 1 – realização de atividades de campo, com registros fotográficos, entrevistas com o proprietário, guias e órgãos públicos (IMASUL e Secretaria Municipal de Turismo e Educação); 2 – Avaliação do potencial espeleoturístico baseando-se nas fragilidades ambientais e potencialidades turísticas gerais e para o turismo de contemplação (LOBO, 2007); 3 – projeção de um cenário hipotético de visitação, por meio de medições espaciais e temporais com grupos-piloto de visitantes, com a preocupação de se evitar danos ao ambiente. Sobre a infraestrutura pré-existente no interior da gruta – fruto de uma tentativa anterior de abri-la para visitação, em data que não foi descoberta, mas seguramente entre o início dos anos de 1980 e o final dos anos de 1990 –, verificou-se que essa infraestrutura era precária para atender com segurança o visitante, bem como para preservar o ambiente. A infraestrutura até então instalada não oferece segurança aos visitantes e os materiais

empregados são inconvenientes ao ambiente cavernícola. Assim, os estudos realizados propuseram a substituição da maior parte da infraestrutura de visitação.

3. PRINCIPAIS RESULTADOS

Quanto a morfologia e gênese da gruta, o padrão planimétrico observado consiste em condutos de direção norte-sul mais amplos, e condutos leste-oeste com seção em fenda, menos volumosos que os primeiros. A morfologia desses dois tipos principais de galerias encontra-se bastante alterada pelo processo de queda de blocos, mas remete a um padrão em rede rudimentar, sendo que não foram observadas evidências claras do tipo de fluxo d'água subterrânea, ou mesmo do tipo de recarga associada à ampliação dos condutos. Por se tratar de uma gruta reliquiar situada em uma planície cárstica com morros residuais (SALLUN FILHO, 2005), provavelmente o estágio avançado de evolução do relevo teria destruído evidências mais conclusivas sobre os processos que teriam dado origem à caverna.

Foram distinguidas quatro zonas de fragilidade do meio físico para a gruta do Mateus. Foi atribuída média fragilidade a zona I, que ocorre em um estreito conduto em fenda, oferecendo risco por pisoteamento às carapaças de moluscos ali existentes. A zona II possui baixa fragilidade, por estar situada no conduto mais volumoso da caverna, permitindo a elaboração de um roteiro turístico que evite suas feições mais frágeis. A zona III possui média fragilidade, pois consiste em uma área estreita com delicadas formações em sua parede: *box works* de veios de quartzo muito proeminentes na rocha encaixante. Por fim, a zona IV apresenta alta fragilidade, devido à presença de depósitos fossilíferos em abundância no substrato, com provável predomínio de restos de morcegos, que podem ser danificados pelo pisoteamento. No caso do espeleoclima, foram definidas duas zonas de fragilidade, sendo a zona perto dos acessos a de baixa fragilidade e a zona mais ao interior da gruta de média fragilidade. No geral, o espeleoclima responde rapidamente às variações do meio externo, além de não sofrer grandes impactos a partir da visitação nos limites estudados.

Quanto às fragilidades biológicas, foi identificado o total de 46 morfoespécies de invertebrados, distribuídos em 20 ordens, incluindo uma nova espécie de opilião do gênero *Eusarcus*. Não foram identificados invertebrados com troglomorismos que indicassem possível especialização ao hábito exclusivamente

subterrâneo. Entre os vertebrados, foram identificadas 9 espécies entre anfíbios, répteis, roedores, aves e morcegos. Com base nos critérios utilizados para determinação das classes de fragilidade biológicas, recomendou-se que não haja visitação em quatro trechos da caverna, devido à riqueza de recursos tróficos, presença do depósito de microfósseis, presença do depósito de sedimentos finos (locais importantes para reprodução dos grilos cavernícolas) e abundância de grilos *Endecous* sp. Como ação para minimizar os impactos sobre a comunidade cavernícola recomendou-se, também: a instalação de escadas de material inerte (aço inoxidável ou plástico), suspensas em relação ao plano do solo e com degraus vazados (do tipo treliça), para permitir o fluxo da fauna de invertebrados; a instalação de sistema de iluminação de baixa intensidade, ligado unicamente durante as visitas; minimização da poluição sonora através da orientação dos monitores; e o uso de roupas adequadas (calças, blusas de manga comprida e calçados fechados) para evitar acidentes com aranhas marrons (*Loxosceles* sp.) que ocorrem na caverna. Também foram encontrados resultados positivos para *H. capsulatum* e para Leishmaniose, ao que foram recomendadas medidas profiláticas e preventivas aos visitantes, como o uso de luvas durante a visitação e de repelentes de insetos.

Constatou-se também que o uso turístico da gruta do Mateus era irregular e inadequado, e se configurava em visitação descontrolada, há vários anos. Esse fenômeno acaba por gerar impactos negativos no ambiente físico como pichações e pisoteio de espeleotemas, assim como impactos no meio biológico, e um dos fatores determinantes é a proximidade da gruta com a região urbana do município. Por outro lado, essa proximidade com o centro urbano também é um fator positivo para alavancar a visitação controlada. Outro aspecto positivo é o fato da gruta estar em uma propriedade particular onde já existe uma estrutura de receptivo adequada, com sala de recepção, banheiros, e principalmente um museu de três andares que, segundo o PME proposto, fará parte do roteiro oferecido ao visitante.

O resultado obtido com a aplicação do método consolidado por Lobo (2007) permitiu enquadrar a gruta do Mateus na categoria de uso classe C, com alto potencial espeleoturístico para o turismo de contemplação, e que sugere que a gruta possui potencial para o desenvolvimento de no mínimo um tipo de atividade turística de alta qualidade. Assim, foi possível comparar a gruta do Mateus com as demais cavernas turísticas de Bonito (Tab. 1), antes mesmo de sua abertura formal para a visitação.

Tab. 1. Comparativo da pontuação e categoria de uso público das principais grutas turísticas do município de Bonito.

Cavidade natural	Resultado final	Potencial para Contemplação	Categoria de Uso
Abismo Anhumas	15	83,3 % (ABSOLUTO)	Classe A
Gruta do Lago Azul	15	83,3 % (ABSOLUTO)	Classe A
Grutas de São Miguel	12	66,66 % (ALTO)	Classe C
Gruta do Mateus	12	66,66 % (ALTO)	Classe C

Fonte: Lobo et al. (2008) e pesquisa dos autores.

Por fim, foi projetado o cenário inicial de visitação, que teve como base a análise do mapa topográfico da gruta e a definição de quatro pontos para paradas interpretativas (Fig. 2).

Com as visitas piloto de grupos de diferentes tamanhos, foram analisados o tempo gasto pelos grupos para percorrer a gruta, o espaço que estes grupos ocupavam e a área disponível para paradas interpretativas. As áreas disponíveis em cada ponto interpretativo também foram medidas, considerando ser esse um fator limitador para a definição do tamanho dos grupos e, portanto, um fator importante para a capacidade de carga da gruta.

Com base nos dados apresentados, considerou-se a seguinte premissa: o número máximo de visitantes por grupo não poderá ser maior que o número máximo de visitantes que o salão de menor volume (dos salões definidos como pontos interpretativos) acomodar, buscando assim evitar o pisoteio de espeleotemas e contatos com o teto da gruta. As áreas disponíveis nos pontos interpretativos de número 3 e 4 permitem acomodar aproximadamente 13 a 16 visitantes, número máximo considerado no cenário inicial de visitação.

A partir dos estudos realizados, foram definidas as zonas de Fragilidade Integrada da gruta do Mateus, Máximas e Médias, conforme metodologia definida em Lobo et al. (2013). Os resultados são apresentados na Fig. 3.

No caso da gruta do Mateus, as fragilidades integradas máximas e médias são praticamente idênticas entre si. A exceção aconteceu nos setores 17 e 18, onde na Fragilidade Integrada Máxima o índice foi “Alta” e na Fragilidade Integrada Média o índice foi “Média”. Estes índices são resultantes da composição entre os 3 mapas temáticos de fragilidades considerados (geoespeleologia, espeleoclima e espeleobiologia), sendo que o aumento da fragilidade nos setores 17 e 18 ocorreu, sobretudo, em função da espeleobiologia. Entretanto, a maior parte do circuito de visitação proposto está localizada em zonas cujos índices de Fragilidade Integrada são baixos e médios, não afetando os principais elementos de conservação da gruta e excluindo as principais zonas mais frágeis: 5, 17, 18 e 21.

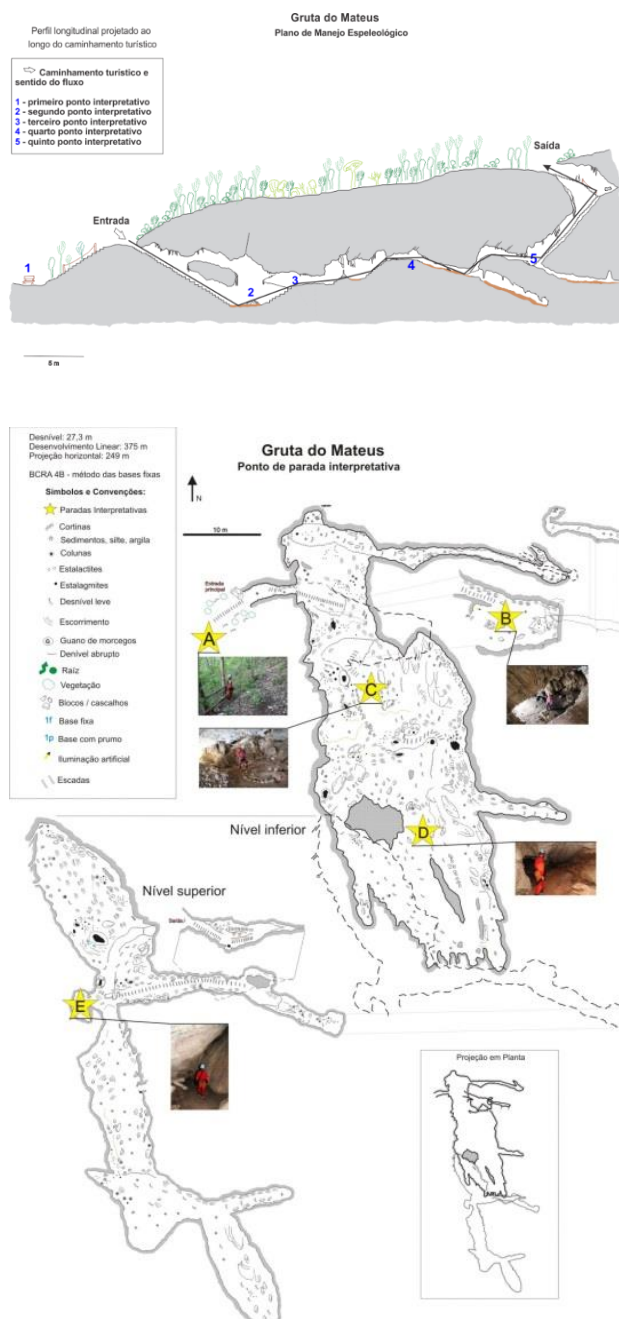


Fig. 2. Perfil geral do caminhamento (acima) e planta baixa (abaixo) com a identificação de 4 pontos de paradas interpretativas no interior da gruta do Mateus. Mapa elaborado pelo GESB – Grupo de Espeleologia da Serra da Bodoquena.

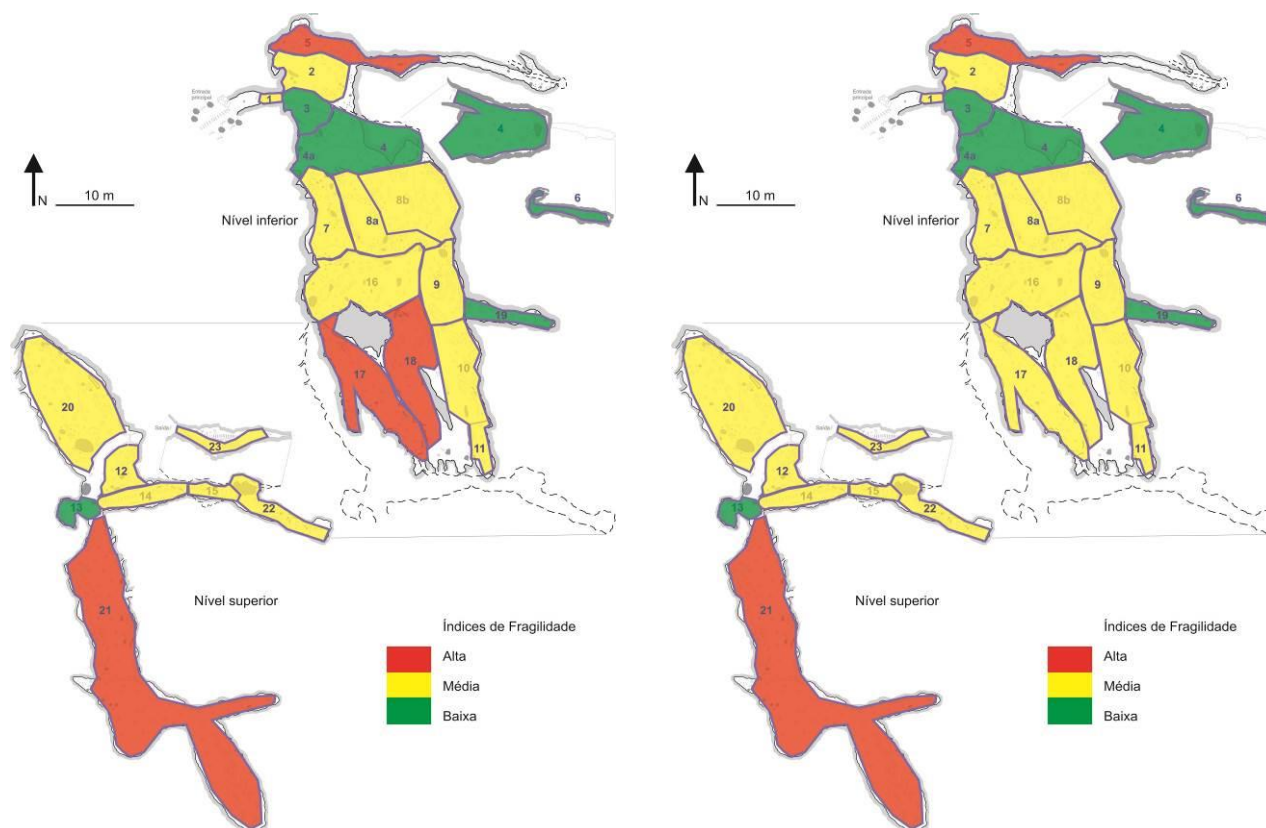


Fig. 3. Diagramas de fragilidades integradas: Máximas (esquerda) e Médias (direita) da gruta do Mateus, com base nas fragilidades do meio físico, espeleoclima e espeleobiologia.

O zoneamento é um instrumento de planejamento espacial, exigido na elaboração dos PMEs, que permite definir categorias de uso e restrição para cada trecho de uma caverna, em acordo com suas características ambientais. As zonas definidas para elaboração do zoneamento ambiental do ambiente cavernícola da gruta do Mateus totalizaram quatro categorias, a saber:

- Ω Zona de uso intensivo: áreas que compõem o caminhamento turístico e os locais de paradas interpretativas. Estas áreas podem conter infraestruturas como escadas e outras;
- Ω Zona de recuperação: áreas consideravelmente danificadas e passíveis de recuperação, tanto por processos naturais quanto induzidos. É uma zona provisória que, assim que recuperada, será reclassificada. O objetivo é conter a degradação ou restaurar a área;
- Ω Zona de uso restrito: área preservada, com pequena ou mínima intervenção humana e que contem processos ou elementos significativos do ambiente cavernícola. O uso público só é permitido de forma restrita, com objetivo de pesquisa, monitoramento e espeleologia.
- Ω Área de influência: é a área do entorno da gruta, representada por um raio mínimo de 250 metros medidos dos limites do mapa topográfico da gruta, projetado em planta na região onde se

localiza, conforme preconiza a Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) Nº 347, de 10 de setembro de 2009.

Essa classificação foi pensada especificamente para o caso da gruta do Mateus e teve como base os conceitos e demais classificações de zoneamento ambiental espeleológico contidas em Lobo (2009). O zoneamento ambiental interno da gruta do Mateus é apresentado na Fig. 4.

A elaboração da capacidade de carga provisória da gruta do Mateus partiu dos cenários projetados pela equipe de uso público. Com base nos diagnósticos ambientais e no diagnóstico de uso público, a limitação do tamanho dos grupos, a princípio, está baseada na limitação espacial detectada em pontos de parada interpretativa dentro da caverna. As paradas interpretativas de número 3 e 4 (Fig. 2) são as que possuem as menores áreas disponíveis para abrigar os grupos de visitantes. Considerando que a fragilidade integrada das zonas que compõem essas duas paradas interpretativas foram definidas como de nível médio (Fig. 3), e que há recomendação de realizar paradas mais rápidas nestes dois pontos, diferente das paradas de número 2 e 5, recomendou-se a ampliação do tamanho máximo dos grupos para o público de turismo educativo, passando do cenário de 12 pessoas mais o condutor para o cenário de 15 pessoas mais um condutor, ou um condutor, um professor e 14 alunos.

Não houve objeções a este cenário após avaliação sob a óptica das fragilidades ambientais nas três temáticas do estudo: geoespeleologia, espeleoclima e bioespeleologia. Essa ampliação ficou condicionada à clara delimitação da área disponível para a dispersão do grupo, principalmente nas paradas interpretativas propostas no zoneamento

(Fig. 4). Diante das considerações expostas, a capacidade de carga provisória da gruta do Mateus ficou estipulada da forma como apresentado na Tab. 2, com diferenciação ao tipo de visita: se com escolas, quando são necessários grupos com maior quantidade de pessoas, se com os grupos de visitantes rotineiros.

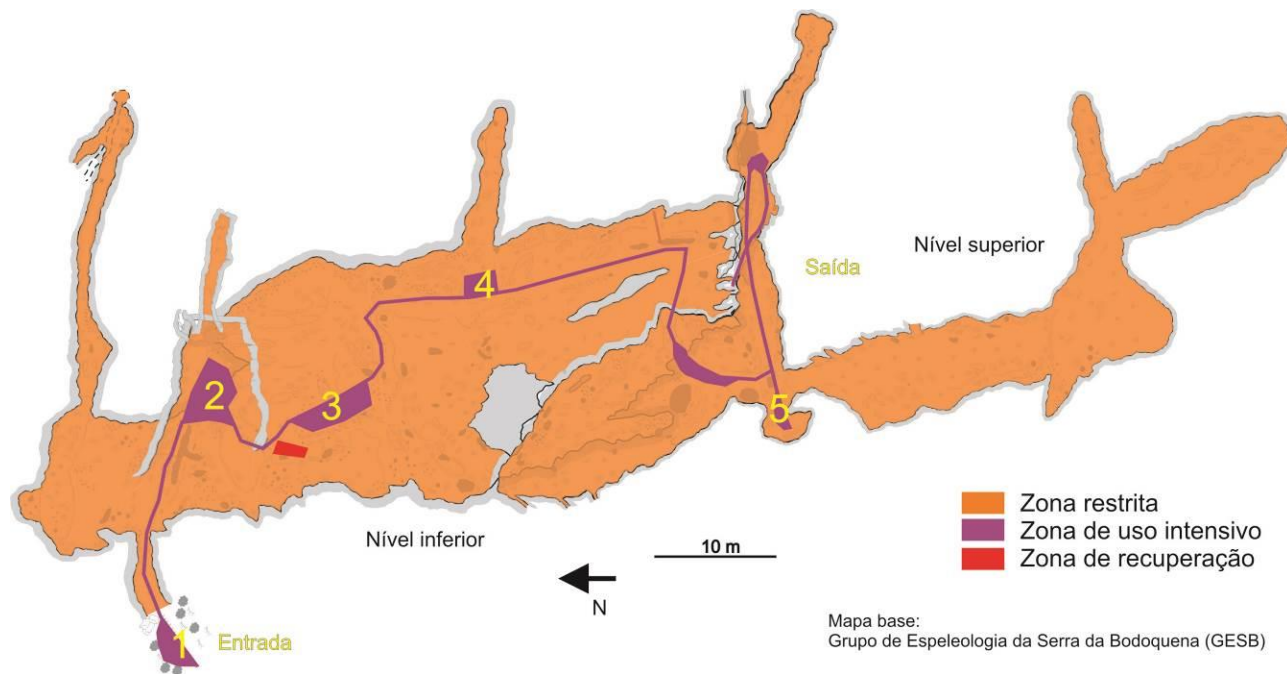


Fig. 4. Zoneamento ambiental para o uso turístico e conservação da gruta do Mateus.

Tab. 2. Capacidade de carga provisória da gruta do Mateus.

Perfil	Total de visitantes	Total de guias	Dias / horários	Tempo de visitação	Intervalo entre grupos	Grupos/dia	Total de pessoas/dia
Geral	12	1	7h – 17h	30 min.	30 min.	16	208
Escolas	15	1	7h – 17h (dias úteis)	45 min.	25 min.	19	304

4. ASPECTOS CENTRAIS DA GESTÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

O empreendimento gruta do Mateus conta com um Programa de Gestão para nortear seu planejamento e o desenvolvimento do espeleoturismo. Este programa concretiza o conhecimento gerado nos estudos ambientais do PME, e busca o desenvolvimento de uma atividade turística responsável em relação ao meio ambiente e ao visitante. O programa se divide em cinco eixos (gestão organizacional, uso público, educação ambiental, pesquisa e monitoramento e diretriz de infra-estrutura). Cada eixo possui suas linhas de ação, e em cada linha de ação, são descritas quais as atividades necessárias. Com isso, o Programa de Gestão traz uma série de intervenções e ações para o desenvolvimento do empreendimento e da gestão da

gruta. No sentido de proporcionar a associação entre sustentabilidade ambiental e econômica, as ações do cronograma de implantação foram organizadas em uma ordem de prioridade e segundo a necessidade de parcerias e investimentos de maior vulto. No cronograma desenhado no PME há prazos de 12, 24, 30 e 36 meses, contados da aprovação do PME (dezembro de 2013) para algumas ações de pesquisa e monitoramento, por exemplo.

Um destaque foi dado para a Educação Ambiental. Durante o planejamento da gestão do empreendimento, na análise da demanda do produto gruta do Mateus e inclusive na análise da capacidade de carga da gruta, foram considerados diversos perfis de visitantes, entendendo que cada perfil tem características peculiares e comportamentos diferentes. Isso se torna ainda mais relevante se considerada a intenção da gestão do

empreendimento de facilitar o acesso para escolas públicas do município de Bonito, permitindo atividades de educação ambiental e a difusão do conhecimento do ambiente cavernícola na população local. Também há intenção de realizar parcerias com outras instituições públicas e privadas de ensino, procurando diminuir custos e facilitar o acesso para esse público.

As ações de Educação Ambiental na gruta do Mateus deverão incluir e transcender a educação curricular, apoiando-se em conteúdos das áreas de Biologia, Ecologia, Geologia, Geografia, Química, História, Pedagogia, Ciências Sociais, entre outras áreas do conhecimento, de modo a incentivar a mobilização da comunidade de Bonito para a preservação do patrimônio espeleológico e da natureza. Estas ações deverão estimular a vivência, o contato do visitante com o ambiente natural, sendo tão importante quanto transmitir conceitos. Tais vivências contribuem para o afloramento de motivações intrínsecas ao ser humano e geram mudanças nos hábitos culturais que, se canalizados corretamente, formarão cidadãos mais conscientes e atuantes na conservação ambiental (NEIMAN, 2007).

A diretriz de educação ambiental da gruta do Mateus visa criar condições para a participação dos diferentes atores sociais no processo educacional e no entendimento de seus papéis como agentes e cidadãos em busca da melhoria da qualidade de vida individual e coletiva. Sua aplicação pode ser vista também como uma forma de fortalecimento dos aspectos positivos do empreendimento e de mitigação dos impactos negativos causados no ambiente natural, inerentes à atividade humana.

Desse modo, a principal meta a ser perseguida no desenvolvimento dos trabalhos de educação ambiental da gruta do Mateus é o envolvimento direto dos diferentes agentes sociais da cidade de Bonito, tais como, secretaria municipal de educação, guias de turismo, funcionários do empreendimento, professores e coordenadores das escolas do município, ONGs e demais interessados e envolvidos. A integração de parcerias interinstitucionais visa, basicamente, a estruturação de uma rede de instituições que agregue e coopere no planejamento conjunto e na execução de ações educativas e de comunicação. O envolvimento destes diferentes agentes sociais deverá ser construído de forma processual através de reuniões e debates, onde sejam tomadas e assumidas decisões conjuntamente. Para tanto, foram propostas as seguintes etapas:

a) *Mobilização*: O objetivo desta atividade é chamar a atenção dos diferentes agentes sociais de

Bonito. Envolve, basicamente, a convocação dos interessados através de visitas, divulgação por convites, cartazes e outros instrumentos de comunicação formais e informais;

- b) *Sensibilização*: O objetivo das ações de sensibilização é aprimorar a mobilização dos agentes sociais, promovendo reuniões, exposições de vídeos e palestras sobre educação ambiental como instrumento de gestão. Nesta fase são apresentados os componentes do Programa de Gestão da gruta e o papel de cada agente social na condução dos trabalhos;
- c) *Qualificação*: Nesta fase, o objetivo principal é a qualificação dos agentes sociais através de cursos e oficinas temáticas, abrangendo diferentes temas pertinentes às atividades do empreendimento, de modo que todos estejam qualificados para atuar na promoção da educação ambiental voltada à conservação do patrimônio espeleológico;
- d) *Prevenção e conscientização*: Os funcionários e guias de turismo serão treinados para que observem as condições ambientais da caverna, de saúde e segurança dos visitantes, de modo a prevenir danos ao patrimônio espeleológico, assim como estar alerta quanto à ocorrência de acidentes e disseminação de doenças na área do empreendimento.

5. SITUAÇÃO ATUAL DA IMPLANTAÇÃO DO PME

O plano de manejo da gruta do Mateus foi aprovado pelo IMASUL em dezembro de 2013. O proprietário do empreendimento iniciou a execução do plano em janeiro de 2014, com a construção e instalação de corrimãos propostos, adequação de alguns trechos de caminamento do percurso turístico, manutenção da trilha externa da gruta e das suas pontes de acesso, assim como revitalização do receptivo e do museu que o compõe, organização de escalas de guias para conduzir os grupos, dentre outras medidas. Como resultado, a implantação da nova infraestrutura reduziu os impactos do turismo e tornou o empreendimento economicamente viável para o início das operações. Contudo, ainda é necessária a implementação de diversas recomendações constantes no PME aprovado, destacando-se: a substituição temporária do sistema de iluminação atual, considerado inadequado, por uso de lanternas individuais e a implementação efetiva do programa de monitoramento. Cabe, agora, ao órgão ambiental responsável, o IMASUL, a fiscalização e cobrança da implementação efetiva do PME, além das condicionantes presentes na licença de operação.

Também foram produzidos materiais publicitários sobre a gruta do Mateus, e feitas parcerias com o *trade* turístico para inserir o produto no mercado turístico do município. Vale lembrar que a gruta do Mateus possui produtos concorrentes no mercado local já consolidados como a gruta do Lago Azul, o Abismo Anhumas e a gruta de São Miguel. Porém, se considerar a gruta e seu entorno (trilha externa estruturada, receptivo já construído e museu de três andares no receptivo), e se considerar a localização do empreendimento em relação aos seus concorrentes, a gruta do Mateus se torna um produto competitivo. Até o fechamento deste artigo (junho/2014) a gruta estava recebendo uma média de 200 visitantes por mês.

No que tange à capacidade de carga, o IMASUL autorizou uma capacidade de carga menor que a definida no PME, já citada anteriormente, e definiu o limite de 50 pessoas/dia. O proprietário solicitou a ampliação da capacidade de carga junto a esse órgão. Após análise, o IMASUL autorizou capacidade de carga de 135 pessoas por dia, e é esse o limite que a gestão do empreendimento está considerando atualmente (julho/2014). Vale ressaltar que a capacidade de carga definida pelo IMASUL de 50 pessoas por dia limita a recepção de grupos com o perfil de turismo educativo, definida no PME, vez que esse perfil de visitante se desloca em grupos grandes (40 ou mais pessoas). A capacidade de carga de 135 pessoas não influencia atualmente a gestão do empreendimento, entendendo que a atividade turística está em fase inicial e não há demanda ainda

para capacidade de carga maior. Porém, caso haja a consolidação desse produto no mercado local, esse limite de visitantes pode influenciar negativamente, se tornando um fator limitador tecnicamente injustificado para o desenvolvimento do produto gruta do Mateus. Assim, ações futuras do empreendedor deverão ser tomadas junto ao IMASUL, para que a capacidade de carga atual possa ser elevada aos limites propostos no PME da gruta – o estudo que, tecnicamente, é o mais adequado para definir questões desta natureza.

AGRADECIMENTOS

A autoria do manuscrito agradece aos empreendedores, Sr. José Wanderlei Engel e Sra. Miriam Regina Klock Engel, proprietários do atrativo turístico Gruta São Mateus, por acreditar no espeleoturismo como forma de sustentabilidade ambiental e econômica, bem como pelo apoio local durante a realização do Plano de Manejo Espeleológico. Agradecemos também à espeleóloga Bruna M. Cordeiro (GESB), pelo apoio na confecção do mapa da caverna, à bióloga Ana Paula de Azevedo, pelo auxílio na triagem e pré-identificação de invertebrados, aos taxonomistas Dr. Antonio Brescovit, Dr. Ricardo Pinto-da-Rocha, Dr. Amazonas Chagas Junior, Me. Alan Fred Erickson, Me. Alessandro Marques de Oliveira e Me. João Paulo Barbosa, pela identificação de espécimes da fauna cavernícola; e ao geólogo Dr. William Sallum Filho pelas discussões acerca da geoespeleologia.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F M. Província Tocantins, Setor Sudoeste. In: ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. (Eds.) **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p.265-281.
- BOGGIANI, P.C.; FAIRCHILD, T.R.; COIMBRA, A.M. O Grupo Corumbá (Neoproterozóico – Cambriano) na região central da Serra da Bodoquena (Faixa Paraguai), Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, v.23, n3, p.301-305, 1993.
- BOGGIANI, P.C. **Análise estratigráfica da Bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul**. 1998. 193 p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 347 de 10 de setembro de 2004. **Diário Oficial da União**, 2004. v.176, n.1, p.54-55.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D.. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, 2001. v.4, n.1. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 10 jan. 2012.
- IMASUL – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. **Termo de referência para o plano de manejo espeleológico (PME) de cavidades subterrâneas com atividades turísticas**. 2012. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/control/ShowFile.php?id=110253>>. Acesso em: 7 jul. 2014.

- LOBO, H.A.S. Método para avaliação do potencial espeleoturístico do Parque Nacional da Serra da Bodoquena, MS. **Caderno Virtual de Turismo**, v.7, n.3, p.99-110, 2007.
- LOBO, H.A.S. Capacidade de carga real (CCR) da caverna de Santana, PETAR-SP e indicações para o seu manejo turístico. **Geociências**, v.27, n.3, p.369-385, 2008.
- LOBO, H.A.S. Zoneamento ambiental espeleológico (ZAE): aproximação teórica e delimitação metodológica. **Pesquisas em Turismo e Paisagens Cársticas**, v.2, n.2, p.113-129, 2009. Disponível em: <www.cavernas.org.br/ptpc/ptpc_v2_n2_113-129.pdf>.
- LOBO, H.A.S.; LOURENÇÃO, M.L.F.; CAMARGO, R.R. Aplicação do Método de multipotencialidade espeleoturística em atrativos e recursos naturais na Serra da Bodoquena, em Mato Grosso do Sul. V SEMINÁRIO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO EM TURISMO. **Anais**. Belo Horizonte, 2008, p.1-15.
- LOBO, H. A. S.; TRAJANO, E.; MARINHO, M. A.; BICHUETTE, M.E.; SCALEANTE, J.A.B.; SCALEANTE, O.A.F.; ROCHA, B.N.; LATERZA, F.V.. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. **Tourism Management**, v.35, p.234-243, 2013.
- NEIMAN, Z. **A educação ambiental através do contato dirigido com a natureza**. 2007. 239 p. Tese (Doutorado em Psicologia Experimental), Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- PALMER, A. N. Origin and morphology of limestone caves. **Geological Society of America Bulletin**, v.103, p.1-21, 1991.
- SALLUM FILHO, W. **Geomorfologia e geoespeleologia do carste da Serra da Bodoquena, MS**. 2005, 212 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SALLUN FILHO,W.; KARMANN, I.; LOBO, H.A.S. Cavernas da Serra da Bodoquena. **O Carste**, v.22, n.2, 27–33, 2010.
- SEMAC – SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, PLANEJAMENTO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. 2010. **Resolução SEMAC nº24/2010**. Disponível em: <http://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-24-2010-ms_138875.html>. Acesso em: 8 jul. 2014.
- SBE. **Cadastro nacional de cavernas do Brasil (CNC)**. Campinas: SBE, 2010. Disponível em: <<http://www.cavernas.org.br>> Acesso em: 4 jun. 2014.
- VARGAS, I.A. A gênese do turismo em Bonito. In: BANDUCCI JÚNIOR, Á; MORETTI, E.C. (Eds.). **Qual paraíso? Turismo e ambiente em Bonito e no Pantanal**. São Paulo: Chronos/UFMS, 2001, p.127-149.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Dez. 2014

Accepted/Aprovado em: Jun. 2015

		PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) www.cavernas.org.br/turismo.asp	
<i>Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas</i>			

CÁLCULO DE LA VISITABILIDAD MÁXIMA EN CAVIDADES TURÍSTICAS MEDIANTE EL MÉTODO CAVIX: EL SOPLAO (CANTABRIA, ESPAÑA)

CALCULATING THE MAXIMUM VISITABILITY IN TOURIST CAVES BY CAVIX METHOD: EL SOPLAO (CANTABRIA, SPAIN)

Emilio Guirado (1), Fernando Gázquez (2), Ángel Fernández-Cortés (3), Alfredo Argumosa (4)
& José María Calaforra (1)

(1) Departamento de Biología y Geología, Universidad de Almería, Almería, España;

(2) Department of Earth Sciences. Cambridge University, Cambridge, U. K.;

(3) Museo de Ciencias Naturales (CSIC), Madrid, España;

(4) El Soplao S.L. Consejería de Innovación, Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de Cantabria. España.

E-mail: e.guirado@ual.es; jmcalaforra@ual.es; f.gazquez@ual.es.

Resumen

La importante infraestructura de control de parámetros ambientales existente en la cueva de El Soplao ha permitido realizar un estudio de la visitabilidad máxima con la herramienta de cálculo simplificado CaViX (Cave-Visitors-X). El control de visitantes, CO₂, humedad relativa y temperatura, entre otras variables, medidas desde hace años, nos proporcionan los datos ideales para generar eventos que pueden ser estudiados con Cavix (web-cloud). El procesado de datos incluye la adquisición preliminar y elección de los eventos a estudiar. Posteriormente los datos se archivan en multieventos de ficheros simples, incluyendo en ellos los visitantes diarios y las distintas variables a tener en cuenta. En El Soplao hay varias estaciones de control repartidas por las distintas salas que se pueden utilizar para estudiar la evolución y recuperación de la cavidad en distintos puntos. El objetivo es conocer el número de visitantes que puede soportar la cavidad para que se mantenga un equilibrio que permita la recuperación diaria de variables como CO₂, T o HR para que los microecosistemas dentro de la cavidad se vean afectados lo menos posible por el régimen de visitas. El cálculo se ha simplificado al máximo para que el uso de la herramienta Cavix sea de utilidad en la gestión de cuevas turísticas por lo que únicamente requiere conocimientos estadísticos muy básicos para su uso. Para el cálculo del ejemplo recogido en el presente trabajo se ha elegido el periodo del 1 al 30 de agosto del año 2013, que corresponde a un mes con máxima afluencia de visitantes. Durante este periodo El Soplao experimentó incrementos diarios de concentraciones de CO₂, y temperatura del aire del orden de 471 ppm y 0,3 °C, respectivamente. El número de visitas durante este mes fue de 50.437, solo ligeramente superior a la capacidad máxima de visitantes estimada en 49.350 visitantes a nivel mensual. Sin embargo, con cálculos a nivel diario se observan más problemas en cuanto a los límites de visitabilidad. Aunque la recuperación por fenómenos de ventilación natural de la cueva a favor de galerías y bocas mineras es bastante satisfactoria, durante determinados días del mes de agosto se sobrepasan los límites de visitantes sugeridos por Cavix (1.900 visitantes diarios) observándose una inercia no deseable en los valores de temperatura y de contenido en CO₂, que debiera evitarse regulando las visitas máximas diarias a las recomendadas por el programa.

Palabras-Clave: Capacidad máxima de visitantes; El Soplao; Cavix; CO₂; Temperatura, herramienta web.

Abstract

The important infrastructure of environmental control parameters existing in the El Soplao Cave enabled to study the maximum visitability using the simplified calculation tool CaViX (Cave-Visitors-X). Monitoring of CO₂ concentration, presence of visitors, relative humidity and temperature, among other variables, measured over years, have provided the ideal database to isolate events that can be studied using Cavix. The preliminary data processing includes the choice of events to study. Subsequently, the data are stored in single file multiple events, including daily visitors and the different variables to be considered. In El Soplao there are several monitoring stations distributed through various chambers, which help to recognize the evolution and recovery of the cavity air at different sites. The objective is to know the maximum number of visitors that the cave can support without altering its natural microclimate. This means that the cave air recovers its natural values of CO₂, T after HR after the daily visits. The calculation has been simplified to ensure that Cavix tool is easy to use by the cave managers and only requires basic statistical knowledge. For

the example, we have chosen the period from the 1st to the 30th August 2013, which corresponds to a month with high number of visitors. During this period, El Soplao experienced daily CO₂ concentrations increases of up to 471 ppm and air temperature by 0.3 °C. The number of visits during August was 50,437, just slightly higher than the maximum visitor capacity estimated at 49,350 visitors. However, using daily calculations further problems can be observed in terms of visitability limits. Air parameters recovery by natural ventilation the cave through artificial mining galleries and natural entrances is quite satisfactory, but an undesirable inertia in the CO₂ content and air T has been observed when the visitor limits suggested by Cavix is exceeded (1,900 visitors daily). This fact indicates that the maximum number of visitors should be adjusted using the recommended values calculated by Cavix.

Key-Words: Maximum capacity visitors; El Soplao; Cavix; CO₂; temperature; web tool.

1. INTRODUCCIÓN

Se ha utilizado la importante base de datos climáticos existente en la cavidad de El Soplao con el fin de caracterizar eventos diarios de variación de CO₂ que puedan ser utilizados para estimar de capacidad máxima de visitantes aconsejable para cuevas turísticas por medio de la aplicación web Cavix (Guirado *et al.*, 2014). Estos datos se tomaron gracias a la infraestructura de sensores que han monitorizado las condiciones ambientales en las diferentes salas de la cueva de El Soplao desde el año 2007. Esta red de sensores fue instalada por los Grupos de Investigación de Recursos Hídricos y Geología Ambiental y el de Electrónica y Telecomunicaciones, ambos pertenecientes a la Universidad de Almería (Calaforra *et al.* 2011).

La Cueva de El Soplao, se encuentra abierta al público desde 2005 y es una de las cavidades turísticas españolas más estudiadas desde el punto de vista científico (Gázquez *et al.*, 2011, 2012, 2014). Espectaculares conjuntos de excéntricas, así como estalagmitas y estalactitas de enormes dimensiones son los elementos estéticos más relevantes de esta cavidad que recibe más de 200.000 visitantes anualmente (Figura 2). La cavidad se sitúa a 540 m s.n.m. y presenta un desarrollo de unos 15 km de longitud, con apenas 50 metros de desnivel. La longitud de la cavidad se acerca a los 17 km topografiados si se tienen en cuenta las galerías mineras. Recientemente se han descubierto nuevas galerías que han aumentado notablemente el desarrollo conocido de la cavidad. La presencia de entradas artificiales en forma de pozos mineros que conectan la cavidad con el exterior, tiene una gran influencia sobre el microclima subterráneo. De hecho, la cueva da su nombre a la existencia intensos flujos de aire (“soplao”) que ventilan y renuevan su atmosfera periódicamente. Como consecuencia, las concentraciones naturales de CO₂ que se observa durante todo el ciclo anual son relativamente bajas (Calaforra *et al.*, 2011).

La afluencia de visitantes a la Cueva de El Soplao presenta un marcado carácter estacional, con

un máximo de visitantes en el mes de Agosto y mínimo en Febrero. Para este estudio, se escogió un periodo de máxima afluencia de visitantes, comprendido entre el 1 de Agosto al 30 de Agosto de 2013, durante el cual se contabilizaron 50.437 visitas. Se tomaron como modelo la galería de los Fantasmas y la galería del Obispo (Figura 1) donde hay estaciones microclimáticas midiendo variables como CO₂, temperatura, humedad relativa, velocidad del aire, goteo y control de flujo de entrada y salida de visitantes. El objetivo del estudio fue conocer la relación entre el número de visitantes y variables como CO₂, temperatura, humedad relativa para el cálculo de umbrales máximos de visitantes que no debería ser sobrepasados para una completa recuperación de las condiciones ambientales en la cueva, y de este modo minimizando el impacto de las visitas. Con este fin, se ha utilizado la herramienta online Cavix (Guirado *et al.*, 2014), que permite calcular de forma sencilla el número de visitantes máximo recomendado para no sobrepasar la capacidad máxima de visitantes de la cueva. El método Cavix será utilizado en trabajos futuros para determinar la capacidad máxima de visitantes en distintos periodos del año, con distintas afluencia de visitantes y condiciones climáticas externas.

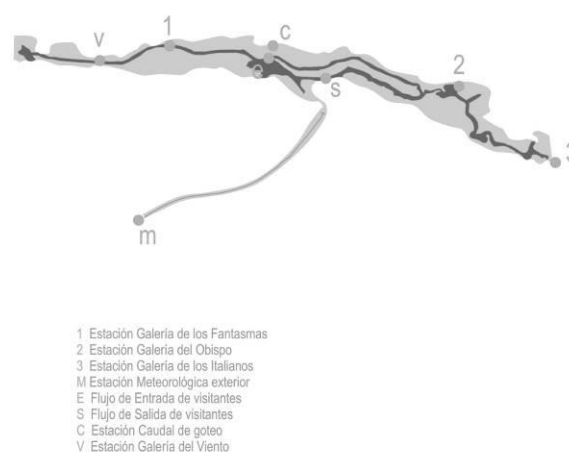


Figura 1. Topografía de la cueva de El Soplao, localización de las Galerías principales en la zona visitable (1. Galería de los Fantasmas, 2. Galería del

Obispo, 3. Galería de los Italianos) y estaciones de medida.

El estudio de capacidad máxima en la cavidad de El Soplao se ha realizado tomando los datos de eventos con picos máximos de CO₂ en relación a visitantes (Figura 3). Estos cálculos se basa en la influencia que tienen las visitas en las cavidades turísticas ya definida en trabajos previos (Pulido-Bosch *et al.*, 1997, Calaforra *et al.*, 2003, Fernández-Cortés 2005, Cuezva, 2008; Lobo *et al.*, 2013 y Cuevas, 2013) mediante el uso de distintas metodologías.

2. METODOLOGÍA

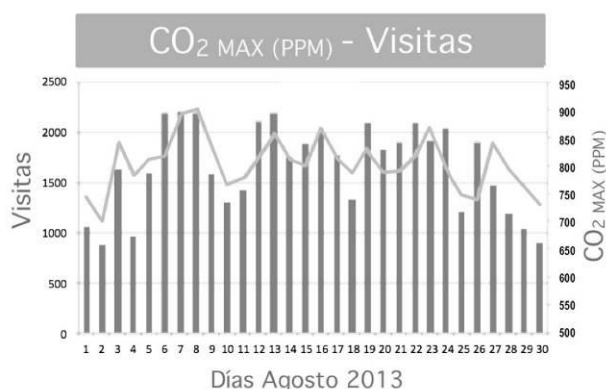
El sistema de control ambiental de la Cueva de El Soplao cuenta actualmente con un total de 26 sensores en 8 estaciones de medida repartidas a lo

largo de la cavidad, tratando de cubrir toda la extensión de la zona visitable. Las variables que se miden son temperatura (T), humedad relativa (HR), concentración de CO₂, dirección y velocidad del aire dentro de la cavidad, caudal en zona de goteo interior, estimación del flujo de visitantes en las zonas próximas a las estaciones de medida, pasillos de entrada y salida, así como presión barométrica dentro de la cavidad. Además una estación meteorológica exterior registra la pluviometría y la temperatura, permitiendo la comparación del microclima de la cueva con el clima exterior (Gázquez *et al.* 2014). El sistema de control de equilibrio de las condiciones ambientales se definen gracias a la ventilación que tiene la cavidad, consiguiendo en periodos de afluencia moderada la estabilidad de las variables ambientales.



Figura 2. A. Entrada de la Cueva de El Soplao. El sistema de acceso consiste en un tren que permite controlar la cantidad de visitantes por visita; B. La cavidad recibió 50.000 visitantes en Agosto de 2013; C. La gran profusión de espeleotemas, particularmente excéntricos y espeleotemas vadosos de gran tamaño, constituyen el mayor reclamo turístico de El Soplao. D. Estacion meteorológica en el interior de la Cueva de El Soplao.

Galería Fantasma



Galería Obispo

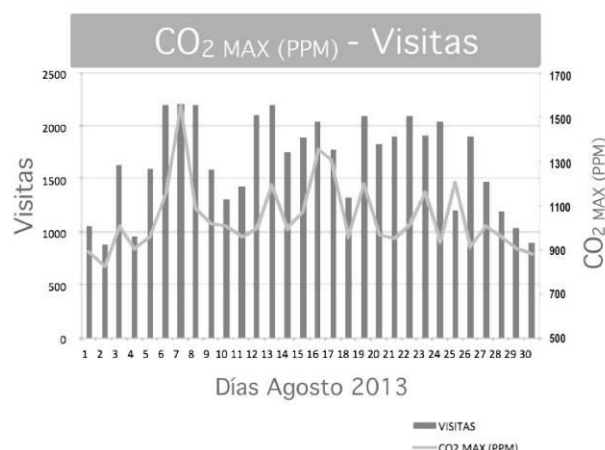


Figura 3. Relación de visitantes con el CO₂ máximo en las galerías de Fantasma y Obispo durante el mes de agosto de 2013.

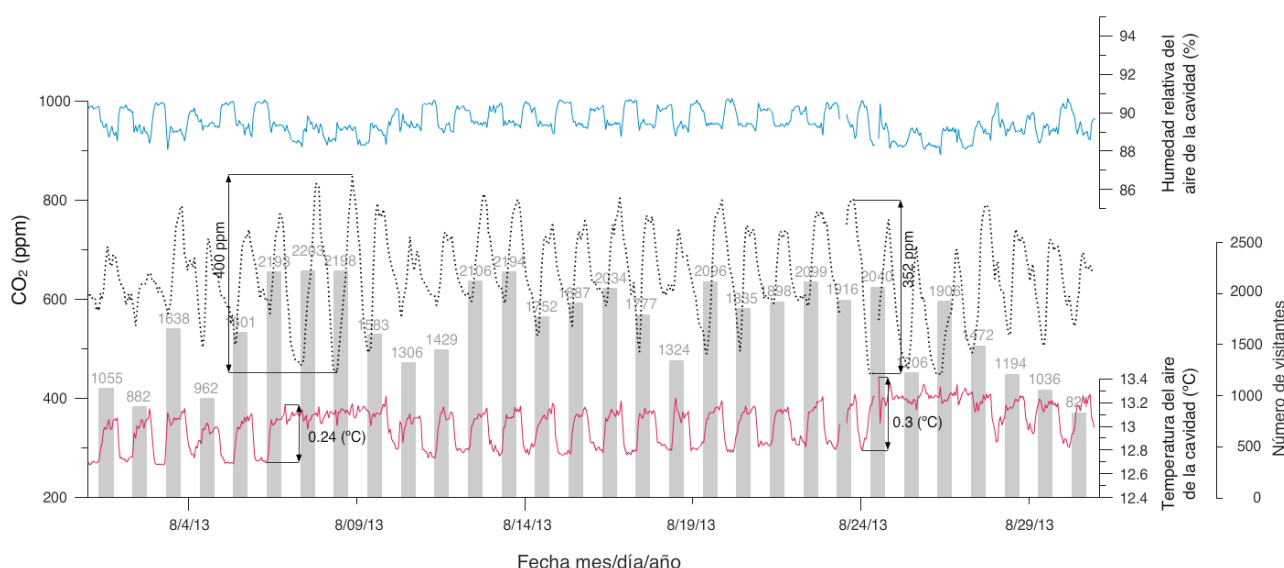


Figura 4. Selección de eventos para el método Cavix. Relación entre las variables CO₂, temperatura y humedad relativa con el número de visitantes en el mes de agosto en eventos diarios.

Para la clasificación de eventos se tuvo en cuenta el CO₂ máximo, el CO₂ mínimo y el CO₂ remanente ya que esta variable es altamente influenciada por la presencia de visitantes, así como la temperatura del aire, que también se ve afectada por las visitas. El número de visitantes se compararon con las variables CO₂, temperatura y humedad relativa (Figura 4). De este modo, se pudo determinar la influencia que tienen las visitas en el microclima de la cavidad. La herramienta online Cavix ha permitido calcular el número máximo de visitantes recomendados para esta cavidad en un determinado evento.

Con el fin de obtener el valor de equilibrio de la variable CO₂, se comparó el CO₂ máximo y el CO₂ remanente (diferencias de CO₂ diarias)

determinando por medio de la línea de tendencia, el valor estable de CO₂ que no sería aconsejable sobrepasar (Guirado *et al.*, 2014). Finalmente, se elabora un archivo “csv” separado por comas visitantes en primer lugar y las variables CO₂, temperatura y humedad relativa a continuación de los eventos a estudiar. En este caso el mes de agosto de 2013. Una vez generado el “csv” de multieventos (las visitas diarias hacen que los eventos sean cada día) podemos cargarlo en la aplicación web Cavix, se introducen los valores calculado para cada variable (ejemplo Figura 5 para variable CO₂) y se le asigna un peso en porcentaje a cada variable. Finalmente, Cavix calcula el número máximo de visitantes recomendado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos de CO₂ máximo, remanente o la variación diaria obtenemos distintas gráficas (Figura 5) que nos ayudan a la valoración de cada variable. Inicialmente, métodos simples de correlación lineal informan sobre si los datos pueden ser tratados o no por la aplicación Cavix. Para ello la relación entre la variable y el número de visitantes debe ser positiva y estadísticamente significativa ($R^2 > 0.5$).

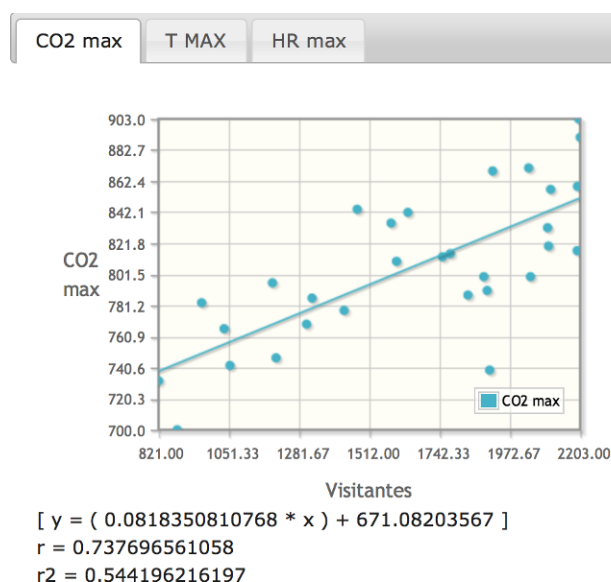


Figura 5. Correlación entre la concentración de CO₂ máximo y el número de visitantes en el periodo comprendido entre el 1 de agosto y el 30 de agosto de 2013, en la galería de los Fantasmas de la cavidad El Soplao, Cantabria España.

Los resultados obtenidos al ponderar cada una de las variables de CO₂ (max, var y rem) para la capacidad de visitantes en la cavidad de El Soplao es de en torno a 1900 visitantes al día como máximo. Las ponderaciones (en tanto por 1) utilizadas en este caso fueron 0.8 para un valor máximo deseable de

CO₂ de 800 ppm, 0.1 para una variación máxima diaria de 200 ppm y un CO₂ remanente tras el cierre diario de la cavidad de 100 ppm. Si se compara este valor teórico con los datos de visitantes procedentes de los sensores de presencia, se puede observar que este umbral se superó en muy pocos casos (Tabla 1). Sin embargo, teniendo en cuenta el valor ambiental de esta cavidad, esta situación no es deseable y debería ser evitada en el por los gestores de la cavidad. El sobrepasar de forma continuada los límites establecidos podría llevar a un aumento en los parámetros establecidos como “naturales”, dando lugar así a una alteración en los valores máximos considerados en la ponderación.

En cuanto a las diferencias espaciales de las variables estudiadas, la Galería del Obispo presenta una concentración de CO₂ más elevada que la Galería de los Fantasmas. Son especialmente destacables los picos máximos observados en la primera, mucho más acusados que los registrados en la segunda. Cabe citar que la Galería del Obispo es una de las que mayor profusión de espeleotemas presenta, por lo que la permanencia de los visitantes en su interior suele ser más prolongada. Esto podría justificar las diferencias de CO₂ observadas con respecto a la Galería de los Fantasmas.

Esta recomendación varía según las características de los eventos a valorar, tanto por el número de visitantes como por las características naturales de la cueva en cada periodo del año. La afluencia de visitantes en época estival (49.643 visitantes en el mes de agosto de 2013) es muy superior a la del periodo invernal (2.236 visitantes en el mes de febrero de 2013). Por lo tanto la herramienta Cavix debe estar activa y adecuarse a cada una de las situaciones estacionales o de gestión que influyan en la cavidad.

Tabla 1. Visitantes registrados durante periodo de monitorización del 1 de agosto al 30 de agosto de 2013 para la herramienta web CaViX de la cavidad El Soplao.

01-08-13	02-08-13	03-08-13	04-08-13	05-08-13	06-08-13	07-08-13	08-08-13	09-08-13	10-08-13
1055	882	1638	962	1601	2193	2203	2198	1583	1306
11-08-13	12-08-13	13-08-13	14-08-13	15-08-13	16-08-13	17-08-13	18-08-13	19-08-13	20-08-13
1429	2106	2194	1752	1887	2034	1777	1324	2096	1835
21-08-13	22-08-13	23-08-13	24-08-13	25-08-13	26-08-13	27-08-13	28-08-13	29-08-13	30-08-13
1898	2099	1916	2040	1206	1906	1472	1194	1036	821

4. CONCLUSIONES

El método Cavix permite evaluar la capacidad máxima de visitantes de una cavidad mediante el estudio de eventos diarios de variaciones en la concentración de CO₂, temperatura y humedad relativa entre otras variables que se ven afectadas por la presencia de visitantes. En la cueva de El Soplao, el umbral de visitantes en el periodo de máxima demanda (Agosto), no debería superar en ningún caso los 1.900 visitantes al día. En el Agosto de 2013 este valor fue rebasado algunas jornadas. En trabajos futuros se estudiara como varia capacidad máxima de visitantes a lo largo del año, teniendo en cuenta los cambios ambientales naturales del microclima de la cueva.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las instalaciones de El Soplao y al Gobierno de Cantabria el acceso a la base de datos de la información de las diferentes variables ambientales de la cavidad. Al Grupo de Investigación Recursos Hídricos y Geología Ambiental RNM189 de la Universidad de Almería por los materiales necesarios para la elaboración de este estudio. El desarrollo de la herramienta informática CaViX ha sido realizado en el marco del Proyecto GLOCHARID (Global Change in Arid Zones) subvencionado por la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

- Calaforra, J.M., Fernandez-Cortes, A., Sanchez-Martos, F., Gisbert, J., Pulido-Bosch, A., 2003. *Environmental control for determining human impact and permanent visitor capacity in a potential show cave before tourist use*. Environmental Conservation 30 (2), 160–167.
- Calaforra, J. M. Fern.ndez-Cort.s, .., G.zquez, J. A., Novas, N. 2011. Conservando la cueva del El Soplao para el futuro: control de parámetros ambientales. En: El Soplao: una ventana a la ciencia subterránea, pp. 52-57.
- Cuevas González, J. (2013). *Caracterización microclimática e hidrogeoquímica de la Cueva del Canelobre* (Busot, Alicante) Tesis doctoral. Universidad de Alicante.
- Cuezva, S. (2008). *Dinámica microambiental de un medio kárstico somero (Cueva de Altamira, Cantabria): microclima, geomicrobiología y mecanismos de interacción cavidad-exterior* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Universidad Complutense de Madrid).
- Fernández-Cortés, A. (2005). *Caracterización microclimática de cavidades y análisis de la influencia antrópica de su uso turístico*.
- García Antón, E., Cuezva, S., Fernández-Cortes, A., Sánchez-Moral, S., & Benavente, D. (2012, April). *Daily variations of CO₂, d13CO₂ and CH₄ of cave air controlled by external weather conditions: example of rapid survey in Altamira cave (north of Spain)*. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 14, p.4859).
- Gázquez, F., Calaforra, J.M. y Forti, P. 2011. Black Mn-Fe Crusts as Markers of Abrupt Palaeoenvironmental Changes in El Soplao Cave (Cantabria, Spain). International Journal of Speleology. 40(2), 163-169.
- Gázquez, F., Calaforra, J.M., Rull, F., Forti, P. y García-Casco, A. 2012. Organic matter of fossil origin in the amberine speleothems from El Soplao Cave (Cantabria, Northern Spain). International Journal of Speleology. 41(1), 113-123.
- Gázquez, F., Calaforra, J.M., Forti, P., Stoll, H., Ghaleb, B. y Delgado-Huertas, A. 2014. Paleoflood events recorded by speleothems in caves. Earth Surface Process and Landforms 39, 1345–1353.
- Gázquez, J. A., Novas, N., MacLennan, J., García, R. y Ros, M. 2014. Telecontrol ambiental en tiempo real de la cueva de El Soplao. 1er Congreso Ibero-Americano 5º Congreso Español sobre Cavernas Turísticas Ibero-América subterránea”, CuevaTur 2014. Aracena.

- Guirado, E., Gázquez, F., Fernández-Cortés, Á., & Calaforra, J. M. (2014). Cavix: Método simplificado de cálculo de la visitabilidad máxima en cavidades turísticas (aplicación web-cloud). In *1er Congreso Ibero-Americano 5º Congreso Español sobre Cavernas Turísticas "Ibero-América subterránea", CuevaTur 2014*.
- Lobo, H. A. S., Boggiani, P. C., & de Jesus Perinotto, J. A. (2009). Capacidade de carga espeleoturística no brasil: estado-da-arte e tendências i. In *Congresso Brasileiro de Espeleologia* (Vol. 30, pp. 101-106). Disponível em: <www.cavernas.org.br/anais30cbe/30cbe_101-106.pdf>.
- Pulido-Bosch, A., Martin-Rosales, W., López-Chicano, M., Rodríguez-Navarro, C. M., & Vallejos, A. (1997). *Human impact in a tourist karstic cave (Aracena, Spain)*. *Environmental Geology*, 31(3-4), 142-149.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Mar. 2015

Accepted/Aprovado em: Jul. 2015



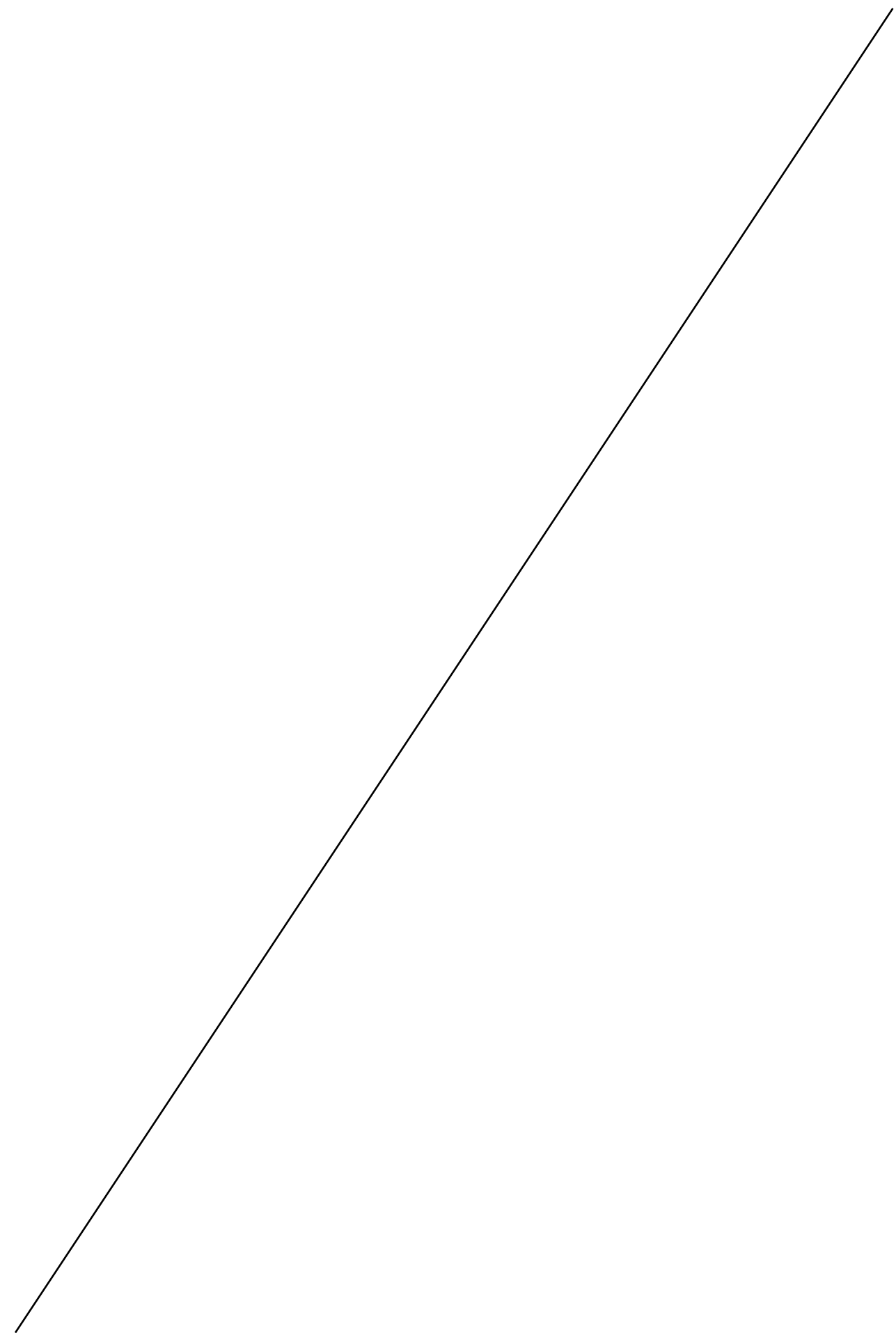
PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas





MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL CON LÁSER ESCÁNER EN EL COMPLEJO EL SOPLAO PARA FINES TURÍSTICOS (CANTABRIA-ESPAÑA)

LASER SCANNER 3D MODELING OF EL SOPLAO COMPLEX FOR TOURISM PURPOSES (CANTABRIA-SPAIN)

Rubén Pérez-Álvarez, Gema Fernández-Maroto & Julio Manuel de Luis-Ruiz

Universidad de Cantabria, Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía – Torrelavega, Cantabria, España.

E-mail: ruben.perez@unican.es; gema.fernandez@unican.es; julio.luis@unican.es.

Resumen

La solución de un gran número de problemas prácticos, que existen en muchas áreas de la actividad humana, pasa por realizar medidas topográficas que permiten crear modelos del mundo real, a partir de los cuales es posible conseguir un cierto conocimiento sobre los objetos que son medidos y plantear la mejor solución posible para el problema suscitado. Para realizar las medidas es importante adquirir la información de forma rápida, precisa y con costes mínimos, lo que justifica la búsqueda constante de nuevas técnicas, que permitan la medida directa y continua de forma tridimensional. Así, en los últimos años de la década de los 90, se empezó a desarrollar una técnica denominada exploración con láser escáner terrestre. La aparición de estas tecnologías altera sustancialmente los métodos de trabajo y, por tanto, los resultados, siendo éstos notablemente más satisfactorios. El láser escáner modifica la concepción de levantamiento tridimensional, al obtener mediante barrido láser miles de puntos en un corto espacio de tiempo con excelentes precisiones. En base a un escaneado tridimensional de los objetos existentes en el terreno, los productos derivados de la toma de datos son múltiples, mostrando precisiones en la posición relativa de los puntos de entre 5 y 10 milímetros, a una distancia menor de 100 metros, dependiendo de la densidad de escaneado y distancia al objeto. La aplicación de esta nueva tecnología se presenta como la mejor alternativa para cubrir las expectativas de rapidez y comodidad en la captura de observables que permitan el desarrollo de bases de datos, realmente fieles, y que posibiliten conservar en formato digital la información suficiente para el mantenimiento e incluso la reconstrucción del objeto tomado. En el presente artículo se describen los trabajos realizados en este sentido en el complejo minero en el que se ubica la Cueva El Soplaio (Cantabria-España), con vista a su utilización para la actividad turística.

Palabras-Clave: El Soplaio; Láser Escáner; Modelización Tridimensional; Cavernas y minas turísticas.

Abstract

The solutions for many practical problems that can be found in many areas of human activity require the development of topographical measurements that allow generating models of the real world. These models provide certain knowledge about the objects which are measured, in order to purpose the best solution for the problem considered. It is important to acquire the information in a fast, accurate and non-expensive way, what justifies a constant research for new techniques that provide a direct and continuous 3D measure. Hence, during the late 90s the development of a technique called terrestrial laser scanner began. The emergence of these technologies substantially alters work methods and therefore the results, which are remarkably satisfactory. Laser scanner modifies the conception of 3D survey, as it captures thousands of points per second with excellent accuracies. On a basis of a 3D scan of the objects that exist on the terrain, outputs obtained from the data acquisition are numerous, showing relative accuracies for the points that range between 5 and 10 mm, depending on the density of the scan and the distance to the object. The application of this new technology is shown as the best alternative in order to meet speed and comfort expectations in the capture of observables that allow developing reliable data-bases to apply in the maintenance and reconstruction of the object observed. The works conducted in the mining complex where Cave El Soplaio is located (Cantabria-España), are described in this paper, and also with a view to their use for tourism.

Key-Words: El Soplaio; Laser Scanner; 3D-modelling; Tourist caves and mines.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes. El Grupo Minero La Florida

Los trabajos descritos en el presente artículo han sido desarrollados en El Grupo Minero La Florida, que se encuentra en el borde oeste de Cantabria (norte de España), próximo a la frontera con Asturias. Las labores se distribuyen en los municipios de Rionansa, Valdáliga y Herrerías (Figura 1), situándose la mayoría de las explotaciones en la denominada Corona de Arnero, comprendida entre la Sierra de Arnero y el Escudo de Cabuérniga.



Figura 1 - Situación de los municipios de Rionansa, Herrerías y Valdáliga.

Las actividades mineras desarrolladas en dicho complejo tuvieron como consecuencia el descubrimiento en 1908 de la Cueva El Soplao (Figura 2), mundialmente conocida además de por los múltiples hallazgos científicos que ha propiciado, por la profusión de espeleotemas. Especialmente relevantes son las formaciones excéntricas. Desde hace ya algunos años, se ha atribuido la generación y desarrollo de las excéntricas a fenómenos de capilaridad, que podrían explicar la génesis de las múltiples morfologías asociadas a este tipo de depósitos. En El Soplao existen numerosos ejemplos de estas morfologías, destacando las ubicadas en la Galería de la Ópera, comúnmente considerada “Capilla Sixtina de la Geología”, en la que se pueden observar excéntricas en sierra, vara, mariposa, concha, cinta, rotativa ascendente, en cuerno de ciervo, o de tipo tornado (Robledo Ardila; Durán Valsero, 2009). El Soplao comprende unos 19,8 km de galerías exploradas, localizados en un paquete de carbonatos marinos del Aptiense (Cretácico Inferior).

Los primeros testimonios históricos documentados relacionados con las Minas del Grupo La Florida, datan de los comienzos de la segunda mitad del S. XIX. En 1857, la reina Isabel II otorga

la concesión “Isidra” a la recién constituida “Compañía de Minas y Fundiciones de la Provincia de Santander” (Cueto Alonso, 2008). Con anterioridad a 1930 la explotación se dividía en tres sectores: el occidental (La Cuerre: “Tres Amigos”, “Elvira”), el central (La Florida: “Isidra”, “Isidora”, “Josefita”, “Primera” y “Clara”), y el oriental (Grupo de Minas de Cuévanos, carente de explotación regular). Una descripción del yacimiento de dicha época (Mazarrasa, 1930), señala la presencia de calamina roja de gran riqueza (40-45% de Zinc) desde la superficie hasta unos 160 m de profundidad (ubicación de la Cueva El Soplao), y de sulfuros por debajo de dicho nivel (20-25% Zn, 8% de Pb y 6-8% Fe). La producción anual aproximada era de 650 t de calamina y 600 t de blenda, quedando constatada ya la importancia del aprovechamiento de dicha mena sulfurada, que con posterioridad y junto a la galena serían objeto exclusivo de beneficio. El total de obreros adscritos al Grupo era de 100 mineros en interior y 50 empleados en exterior.



Figura 2 - Vista parcial de las instalaciones de El Soplao.

A partir de 1948 acontece una época de gran desarrollo en el Grupo Minero de La Florida, estando en actividad de Este a Oeste: Cuévanos (donde las labores de investigación cortaron mineralizaciones de entidad insuficiente para justificar posteriores labores), Ligorias, La Clara, Cereceo, Plaza del Monte, La Isidra y La Cuerre. Este periodo viene ligado a la aplicación de nuevas estrategias extractivas y a un mayor grado de mecanización, que contribuyeron a situar la producción media anual de los últimos 20 años de explotación en el entorno de las 75.000 t, con riquezas medias en Zinc y Plomo de 4,5% y 0,6% respectivamente (Colina et al., 2003). En 1979 se abandonaron los trabajos, si bien durante un tiempo determinado se continuaron las labores de mantenimiento.

El 27 de Marzo de 2012 se firmó el convenio en el que se sentaron las bases sobre las que se

cimentaron los trabajos para obtener “*Un modelo tridimensional de la zona de galerías mineras existentes en el entorno de la Cueva El Soplao*”, al amparo de otros firmados previamente y que pretendían establecer la colaboración en materia de investigación, desarrollo e innovación de la Universidad de Cantabria con la empresa pública El Soplao, S.L.

1.2. Objetivos de la modelización tridimensional

Los objetivos de este trabajo consisten en la generación de un modelo 3D de aquellas galerías del Grupo Minero La Florida que son susceptibles de un potencial aprovechamiento a través de su puesta en valor para su uso turístico, así como las salidas gráficas derivadas del mismo.

De esta forma, se han obtenido las nubes de puntos constituyentes de dicho modelo, que pueden considerarse además un producto de naturaleza intermedia, a partir del cual generar infografías, ortoimágenes o incluso recorridos virtuales. La simulación de itinerarios a lo largo de trayectorias definidas supone una de las aplicaciones más destacables desarrolladas a partir de los modelos tridimensionales. Los vídeos así obtenidos permiten facilitar el acceso virtual de personal no experto a las labores, así como su distribución y puesta en conocimiento del común de la sociedad, a través de las plataformas 2.0. Entre las ventajas de este producto está la versatilidad, ya que una vez captada la nube de puntos, existe la libertad de marcar el itinerario mediante la inserción de cámaras y trayectorias, pudiendo a partir de un modelo inicial, obtener infinidad de vídeos distintos.

La obtención de dichas salidas gráficas implica la consecución de una serie de materiales que pueden resultar tanto idóneos para la difusión on-line, como para la propia gestión interna, proporcionando una base en función de la cual desarrollar cualquier potencial proyecto de puesta en valor que pueda plantearse, además de un documento de gran interés desde el punto de vista de la gestión de emergencias.

2.- INSTRUMENTAL

El desarrollo de modelos de determinados elementos de la realidad constituye una alternativa de gran interés a la hora de estudiar el comportamiento de ciertos fenómenos, o alcanzar un adecuado conocimiento de los mismos. Dada la naturaleza tridimensional de la realidad, los medios destinados a su captura habrán de serlo igualmente, máxime en la época actual, en la que el nivel de

desarrollo tecnológico facilita las tareas de procesado y la propia visualización eficiente de los datos 3D. Esta observación ha de ser rápida y precisa, además de económica.

Por otro lado, los métodos aplicados tradicionalmente en topografía, tales como los basados en el empleo de las estaciones topográficas, se caracterizan por proporcionar información de naturaleza discreta. Determinadas estaciones topográficas, que presentan la opción de exploración (barrido de las superficies de interés a través de la adquisición de puntos equiespaciados) o la fotogrametría digital, son algunas de las alternativas que han resultado útiles en el planteamiento de iniciativas de puesta en valor y conservación de elementos patrimoniales.

El principal instrumental aplicado en el desarrollo del presente trabajo es el láser escáner, que en esencia se compone de un distanciómetro láser, y una unidad deflectora del rayo, que permite que éste describa un barrido por la superficie o elementos que se deseen capturar. La irrupción de la nueva tecnología basada en el láser escáner supone una revolución no únicamente en lo relativo al instrumental de observación, sino también en la metodología a aplicar, tanto durante la captura como en el propio procesado de datos, además de en la propia concepción de los levantamientos topográficos, auspiciada por la posibilidad que ofrece de adquirir mediante el barrido láser miles de puntos en reducidos lapsos de tiempo. Es común que un único escaneo no ofrezca una visión completa del elemento a considerar, por lo que la identificación de puntos homólogos materializados a través de referencias estandarizadas (dianas, esferas o patrones bicolors), o de elementos de geometría particular que aparezcan en varias capturas, puede contribuir a la unión de dichos escaneos, incrementando la densidad de la nube de puntos resultante hasta parámetros de espaciado entre puntos que pueden resultar inferiores a 1 cm. El producto así obtenido, en contraposición con las alternativas tradicionales de modelización en base a puntos codificados y croquización, se caracteriza por su masividad, una cuasi-continuidad, y por la no jerarquización de la información: una vez estacionado el instrumento en un punto, y habiéndose fijado el área a captar, se observará el total de elementos que ofrezcan una superficie sobre la que el láser pueda incidir, proporcionando además de información métrica (coordenadas x,y,z relativas con respecto al propio instrumento, que con posterioridad podrán referirse a un sistema absoluto), datos radiométricos.

El láser escáner cuenta con numerosas aplicaciones en ámbitos diversos, tales como estudios geotécnicos (Mah et al., 2013), obtención de modelos de suelos de alta resolución (Hancock et al., 2008), análisis de fenómeno de flujo de terrenos (Tarolli et al., 2013), monitorización de costras de origen biológico en elementos de obra civil o arquitectónicos (González-Jorge et al., 2012), análisis de geodinámica litoral (Barbarella; Fiani, 2013), puesta en valor y conservación de patrimonio arquitectónico (Núñez et al., 2012; Oreni et al., 2012), auscultación de edificios (Bonali et al., 2014), generación de modelos urbanos de inundación (Sampson et al., 2012) o aplicaciones silvícolas y de evaluación de biomasa (Pueschel, 2013) entre otras.

La disponibilidad de esta tecnología y los procesos asociados a la misma invitan a cuestionar las metodologías clásicas empleadas en la representación, tradicionalmente bidimensional, en favor de los productos que el láser escáner permite generar, que cuentan con aplicaciones tanto para la gestión y conservación de un determinado activo de patrimonio geológico-minero, como para la puesta en valor y publicitación del mismo a través de las plataformas 2.0.

3. METODOLOGÍA

En todo trabajo de índole topográfica que se desarrolle en una determinada localización, resulta de vital importancia contar con un sistema de referencia que permita proceder a todos aquellos encajes planimétricos y altimétricos que puedan requerirse para el normal del mismo. Este sistema posibilita además el establecimiento de un marco unificado para la superposición de los diversos niveles de información con que se pueda contar, resultando de gran interés para todas aquellas actividades de gestión a las que puedan destinarse. Dada la existencia de redes tanto planimétricas (Red Geodésica Nacional), como altimétricas (Red de Nivelación de Precisión), resulta relativamente cómodo dotar de coordenadas en base a dichos sistemas de referencia (X,Y,Z) a una red local, que facilite el desarrollo y gestión de los posteriores trabajos.

Es por ello que como paso previo a las actividades de modelización se requirió la implantación de una serie de vértices topográficos que cumpliesen la misión anteriormente señalada. Tras un estudio de detalle de las redes preexistentes, se diseñó aquélla a establecer en los exteriores de las principales unidades consideradas en el desarrollo del trabajo. Su implantación y observación mediante GPS garantiza en un futuro la existencia de una red

de vértices desde la cual enganchar todos aquellos trabajos topográficos que puedan realizarse, dotando a los mismos de coordenadas en un sistema de referencia absoluto. Las características principales de dicho sistema quedan recogidas a continuación:

- Ω Sistema de Referencia ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). El R.D. 1071/2007 de 27 de julio regula la adopción en España del sistema de referencia geodésico global ETRS89, sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50.
- Ω Coordenadas planimétricas en Proyección UTM (*Proyección Universal Transversa de Mercator*), proyección oficial desde julio de 1970.
- Ω Coordenadas altimétricas respecto al NMMA (Nivel Medio del Mar en Alicante), mediante nivelación GPS y con enganche previo a clavos de la red de nivelación.

Con el fin de garantizar una precisión de la red adecuada, y adoptando una escala de representación 1/500, se procedió a la observación y enganche de los vértices topográficos con la estación permanente del Gobierno de Cantabria ubicada en Puentenansa, empleando para ello dos receptores GPS marca Leica, modelo del sensor GS-15, con observación de fase en L1 y L2, observando mediante RTK y grabando las coordenadas de cada una de las bases cuatro veces. Las coordenadas finales se obtuvieron a partir de la media de dichas observaciones, siempre y cuando la diferencia no superase los 3,5 cm. Con el fin de actualizar la cartografía exterior existente, se desarrollaron igualmente una serie de levantamientos topográficos mediante GPS y estación topográfica (marca Geodimeter, modelo System 540) en las inmediaciones de las bocaminas de Cereceo, Clara, La Cierre, Isidra y Plaza del Monte.

Una vez concluidos los trabajos de observación en exterior, se configuró y observó la red interior en las galerías mineras, mediante el empleo de estación topográfica. Dada la complejidad de las labores, la magnitud del trabajo, y la necesidad de intervisibilidad entre las bases, esta red (Figura 3), que sirvió con posterioridad para la adecuada georreferenciación de las nubes de puntos, se caracterizó por una mayor complejidad que la establecida en el exterior, contando con un total de vértices próximo a los 350.

Dadas las características de las labores a observar, con una importante componente lineal en determinados tramos, se realizaron un total de 675 escaneos, con un posicionamiento de 14.000 millones de puntos, que definen de forma pormenorizada el modelo tridimensional de las

galerías mineras, con una información inicial asociada de 72 Gb. De los 25,6 km de galerías mineras identificadas con los que a priori cuenta el entramado minero, se han observado unos 6 km (Figura 4). El instrumento seleccionado para esta fase de observación fue un láser escáner marca FARO, modelo FOCUS 3D, caracterizado por unas reducidas dimensiones y peso, resultando ideal para

el tránsito por labores estrechas. Su interfaz táctil posibilita además un manejo sencillo, no requiriendo del transporte y utilización de un ordenador portátil para el control de la operación. Este instrumento permite medir distancias de rangos comprendidos entre los 0,6 y los 120 m, con precisiones próximas a los 2 mm y ritmos de captura cercanos al millón de puntos por segundo.



Figura 3 - Superposición de la poligonal interior y la ortoimagen correspondiente.

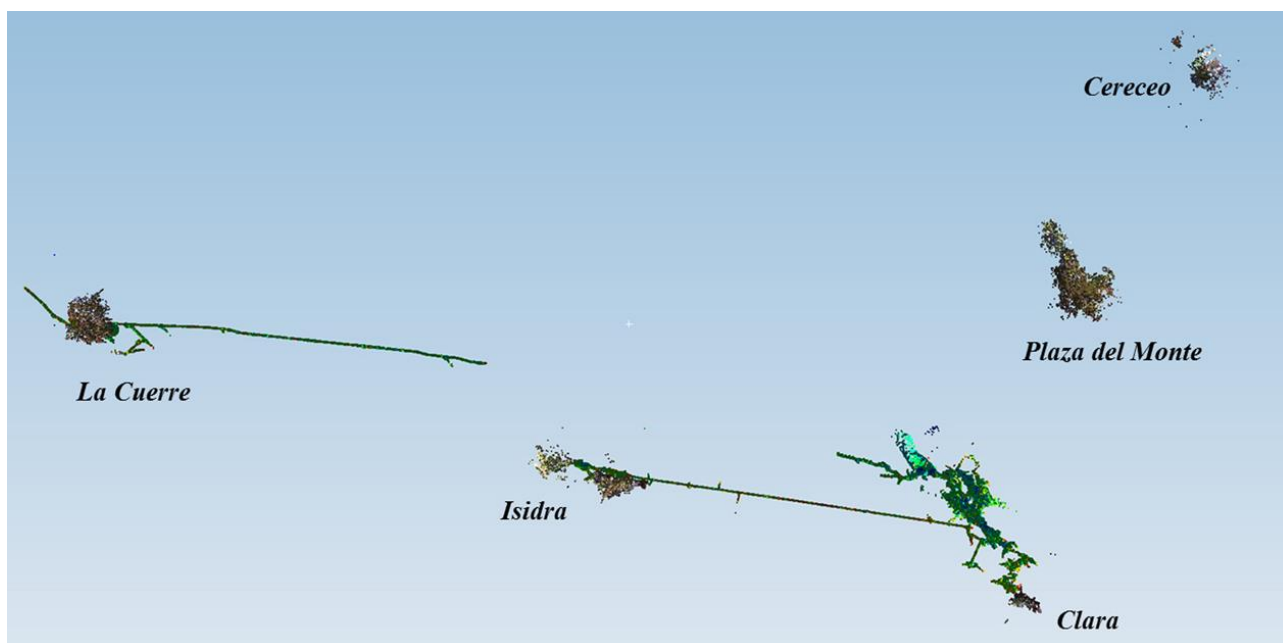


Figura 4 - Relación de labores observadas, representadas en planta.

El recorrido descrito en las labores de captura puede definirse en base a dos localizaciones principales. Los trabajos en la primera de ellas, asociada a la Mina Isidra, comenzaron en la bocamina próxima al transformador, avanzando hasta la entrada de la torca, cercana a la primera.

Seguidamente se accedió a la Galería de La Maestra, prosiguiendo la observación hacia Mina Clara, ascendiendo hasta el exterior, para posteriormente descender, alcanzando la cabeza del plano inclinado de Isidra (Figura 5). Desde aquí se trazaron dos recorridos principales: el primero de ellos siguió

dicho plano inclinado hasta alcanzar la zona derrumbada, y el segundo de ellos describió el itinerario alternativo que existe, hasta alcanzar el final de dicho plano inclinado y el nivel de la Cueva El Soplo. Una vez ahí, se avanzó hacia la zona comúnmente conocida como “El Infierno”, anexa a la Galería de la Sirena. Seguidamente se retornó al nivel de la Cueva, para posteriormente descender hasta el distribuidor, y proseguir el avance a la Galería de los Sondeos. El acceso a Ana y Las Ligorias no fue posible por la anegación de dichas labores.

La segunda zona fundamental a considerar en los trabajos es la asociada a la Mina de La Cuerre

(Figura 6). Accediendo por la denominada “Puerta de Hierro”, se alcanzó por la rampa de explotación el Segundo Nivel, ascendiendo a partir de éste hasta el Primer Nivel. Las condiciones de la rampa de descenso, que dificultaban significativamente el acceso aun sin instrumental topográfico, y la imposibilidad de establecer conexión alguna entre las zonas de La Isidra y La Cuerre a través de la Galería General de Transporte de Cereceo, hizo que los esfuerzos se centraran en la definición de esos dos primeros niveles, susceptibles de una sencilla puesta en valor.

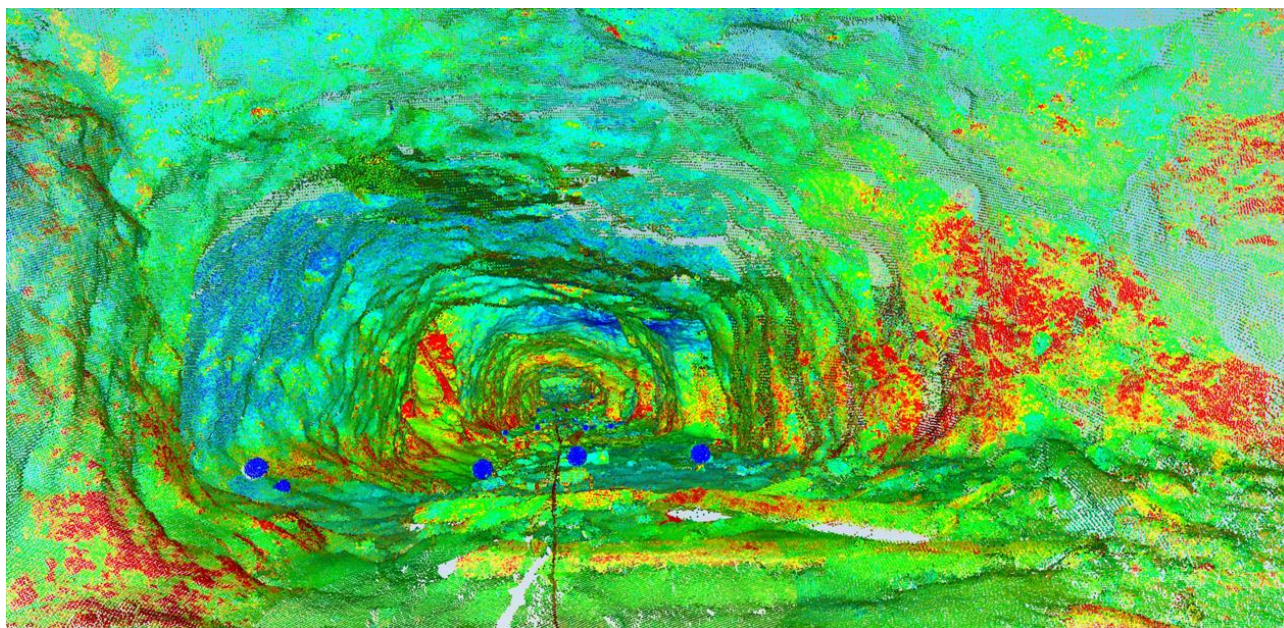


Figura 5 - Plano inclinado de La Isidra.

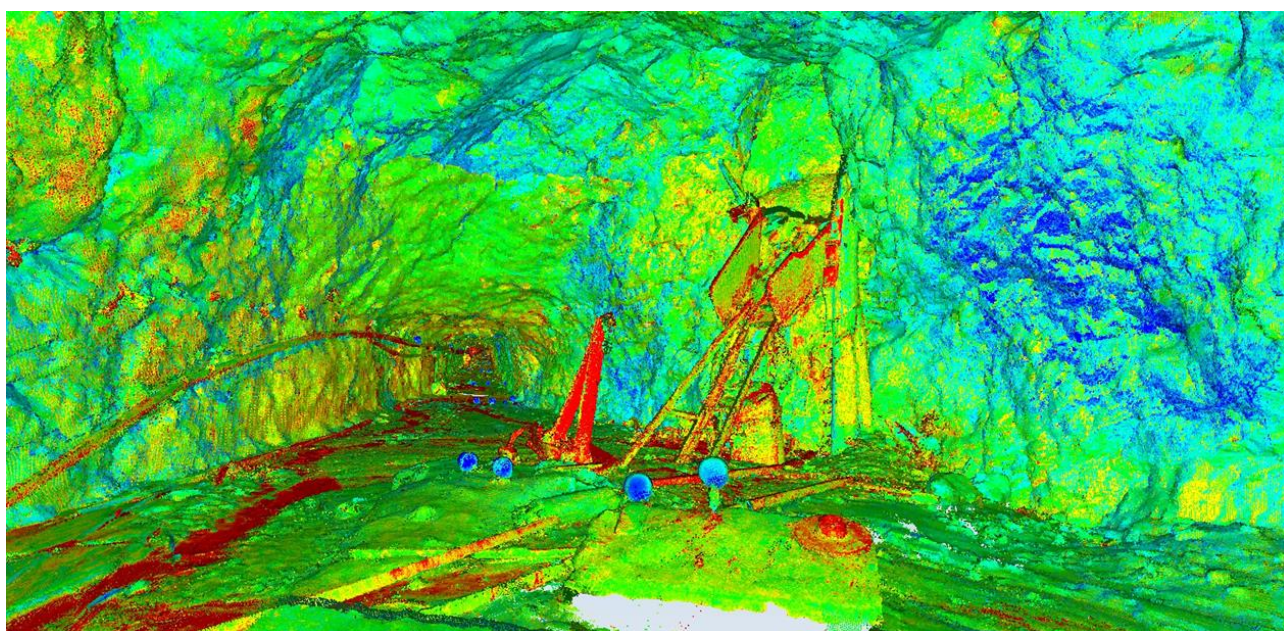


Figura 6 - Cargadero en La Cuerre.

El láser escáner proporciona nubes de puntos brutas en un sistema de referencia local, de forma que una vez realizada toda la secuencia de escaneos que se desea llevar a cabo, requiere de la unificación y georreferenciación en una única nube de puntos. Dichas nubes de puntos pueden considerarse el primero de los productos obtenibles a partir de las metodologías de trabajo basadas en el láser escáner. La plataforma elegida para el tratamiento de datos, debido básicamente a su volumen, ha sido el programa Cyclone de Leica, herramienta informática que se ha especializado precisamente en la gestión de datos procedentes de láser escáner, aunque éstos no procedan de equipos desarrollados por dicho fabricante.

Los paquetes de gestión de datos existentes en la actualidad presentan algoritmos específicos destinados a la depuración, la identificación de formas geométricas primitivas en base a las que modelizar estructuras, la generalización o simplificación de las nubes, etc. Como operaciones básicas del procedimiento de gestión seguido para el tratamiento de la nube de puntos pueden señalarse el registro de varios escaneos (alineación y referencia de los mismos con respecto al sistema de coordenadas relativos de uno de ellos), depuración, unificación (generación de una única nube de puntos a partir de las capturas independientes) y georreferenciación (traslación de la nube de puntos a un sistema absoluto, a partir de la caracterización de las bases de unión consideradas y de sus coordenadas con respecto al mismo). Conviene señalar que el orden de desarrollo de dichas operaciones puede diferir en función de las necesidades específicas de tratamiento, que se suele caracterizar por notables demandas en tiempo, recursos de hardware/software y formación específica del personal dedicado al mismo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del desarrollo de los trabajos se ha obtenido un modelo que recoge labores emplazadas en las localizaciones de La Cierre y La Isidra, incluyéndose además las capturas exteriores anteriormente señaladas. Uno de los principales aspectos de interés del modelo reside en la precisión relativa entre puntos del mismo, posibilitando la realización de mediciones en el ámbito reducido de las zonas en las que se prevea la actuación, proporcionando en tal caso precisiones de orden centimétrico. Éste es precisamente el gran potencial del modelo realizado: tener representadas tridimensionalmente las galerías y poder llevar a cabo las mediciones que se deseen, perfiles longitudinales, secciones transversales, cubicación

de movimiento de tierras, generación de cartografía convencional, etc., de forma sencilla, rápida y precisa, a través del empleo del software adecuado.

A partir de la nube de puntos se han obtenido igualmente ortoimágenes de elementos singulares que pueden resultar de especial interés para El Soplao, S.L., tales como el Castillete de La Cierre, el transformador anexo, o el edificio del compresor de la Plaza del Monte. Para la obtención de las ortoimágenes, desarrolladas mediante Cyclone, se ha adoptado un plano de referencia significativo con respecto al elemento observado. Una vez definido éste, se fijó un sistema de proyección ortográfico, seleccionándose posteriormente una cámara virtual a partir de la cual realizar la captura en perpendicular al plano de referencia, exportando los elementos recogidos en pantalla en un formato adecuado.

El tercer producto de interés a considerar es el constituido por los recorridos virtuales. En la obtención de estos videos se ha empleado nuevamente el programa Cyclone de Leica. Para el desarrollo de los vídeos se seleccionó una serie de puntos en los que se emplazaron cámaras virtuales, dispuestas a alturas de observación determinadas. A partir de las mismas, se generó una *spline* (Figura 7): dicha curva describe el desplazamiento del observador en el modelo. Para completar la definición de las características del vídeo, se definieron aspectos tales como la tasa de *frames* por segundo, la resolución, el factor de compresión y el formato. Estos productos se caracterizan por un importante peso si se obtienen a máxima resolución, por lo que suele recomendarse recurrir a tramos determinados de longitud no excesiva, que los mantenga por debajo de los 2 Gb. Teniendo en cuenta la naturaleza de las labores, con una longitud total observada de 6 Km, se optó por la realización de recorridos significativos en zonas concretas (La Isidra, Plaza del Monte, La Cierre, Clara, etc.), adoptando puntos de vista que van desde el recorrido en primera persona de un potencial observador que visite las labores, a vuelos externos y rotaciones que aportan una adecuada visión de la geometría del conjunto, resultando productos muy intuitivos para el usuario final al que el vídeo se destine.

Las posibilidades que esta tecnología ofrece no quedan restringidas a los productos obtenidos a partir de la nube de puntos, ya que la generación de mallas a través del empleo de software adecuado, supone una alternativa de trabajo que amplía dichas opciones (Figura 8). Concibiendo la malla, al igual que ya se hiciese con la nube de puntos, como un producto que cuenta con una entidad tanto final como intermedia, es posible obtener salidas de

diversa índole: infografías, ortoimágenes, recorridos virtuales, o aplicaciones y PDFs interactivos.

A la luz de lo mencionado anteriormente, es posible considerar algunas alternativas de uso de los productos generados, pudiendo distinguir entre aplicaciones ligadas a la fase de desarrollo del proyecto de puesta en valor, y aquellas adecuadas a la etapa de explotación del mismo. Teniendo en cuenta el proceso de rehabilitación o adecuación para visitas de un activo de patrimonio minero o geológico, siendo aplicable no únicamente al caso aquí considerado, las nubes de puntos obtenidas a partir de la aplicación del láser escáner constituyen una adecuada base de referencia para la obtención de

la información geométrica requerida para el propio desarrollo del proyecto y la implementación de las soluciones ingenieriles planteadas. La precisión en la definición de las coordenadas y la profusión de puntos obtenida en las nubes permite considerar estos recursos como herramientas de alto interés para la evaluación y presentación de las distintas alternativas de habilitación que se barajen, permitiendo la inserción de dichas soluciones constructivas en un marco realista que retrate de forma fiel la situación inicial del elemento considerado, facilitando la interpretación de las mismas, y favoreciendo la toma de decisiones en fase de proyecto.

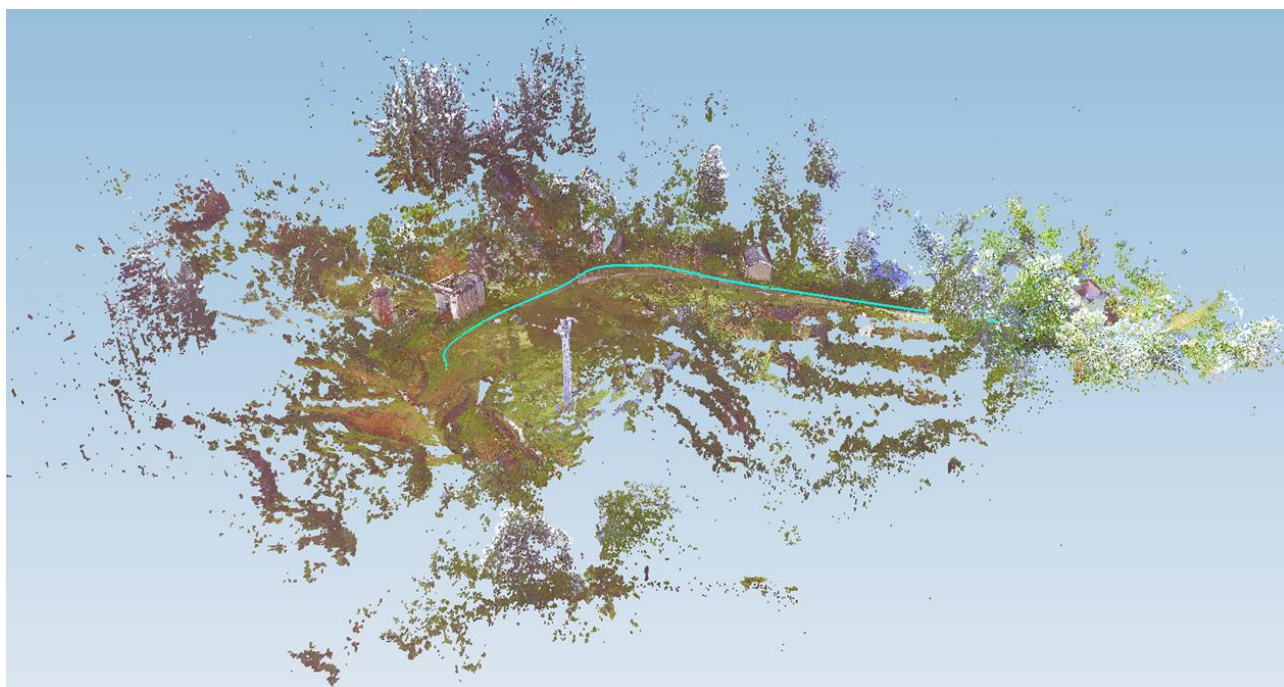


Figura 7 - En azul, spline para la introducción del recorrido a realizar en la generación de un itinerario virtual.



Figura 8 - Nube de puntos del entorno del Castillete de La Curre, y malla del mismo.

Otra vía de aprovechamiento de carácter general de este tipo de producto reside en las posibilidades de virtualización del bien de interés, que permiten su acercamiento a potenciales usuarios,

favoreciendo los procesos de difusión y comercialización. Resulta por tanto posible plantear la generación de visitas o recorridos virtuales con distintos niveles de interactividad, en función de la

plataforma y sector demográfico al que se orienten. Podrá por tanto trabajarse en base a recorridos cerrados, distribuidos en formato video a través de repositorios generalistas como Youtube o ubicados en la propia página web asociada a la Cueva o Mina Turística, o desarrollar herramientas interactivas basadas en la generación y aprovechamiento de modelos fotorrealistas, generados en base a las mallas derivadas de las nubes de puntos y a la utilización de imágenes proporcionadas por el propio láser escáner, o por cámaras externas al mismo. El empleo de motores gráficos, coincidentes con frecuencia con los utilizados en la industria del videojuego, permite obtener recorridos en los que el grado de inmersión del potencial observador, asociado a la libertad de desplazamiento por los mismos, resulta muy superior a la alcanzable mediante otras alternativas audiovisuales.

Las aplicaciones así generadas pueden plantearse como alternativas para la difusión en Internet, la utilización en ferias y congresos turísticos, o incluso para su implementación en salas debidamente equipadas en los centros de recepción de visitantes o de interpretación. El grado de inversión asociado a dicha implementación podrá variar en función de las interfaces seleccionadas, pudiendo recurrir a la instalación de terminales informáticos individuales dotados de dispositivos de control físico o de pantallas táctiles, o a otras alternativas, como sistemas de proyección en grandes pantallas o gafas de realidad virtual. Es interesante mencionar que esta alternativa puede constituir una vía útil de promoción tanto durante el periodo previo a la apertura al público del recurso turístico, como durante la explotación del mismo.

Deberá además tenerse en cuenta que, si bien el grado de satisfacción derivado de la experiencia asociada a la utilización de la herramienta virtual puede diferir de forma notable en función de las condiciones de utilización y del propio usuario, contar con esta alternativa puede contribuir a acercar determinados tramos del activo que por sus particulares características no sean de acceso aconsejado, a posibles usuarios sin formación espeleológica específica o con problemas de movilidad reducida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBARELLA, M.; FIANI, M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing. **European Journal of Remote Sensing**, v.46, p.126-151, 2013.
- BONALI, E.; PESCI, A. CASULA, G.; BOSCHI, E. Deformation of ancient buildings inferred by terrestrial laser scanning methodology: the Cantalovo Church case study (Northern Italy). **Archaeometry**, v. 56, n.4, p. 703-716, 2014.

5. CONCLUSIONES

Los trabajos realizados y los resultados obtenidos a partir de los mismos permiten afirmar que el modelo tridimensional de las galerías mineras existentes en el entorno de la Cueva El Soplaio satisfará una serie de objetivos fundamentales, en base a los que se planteó:

- Ω Permitirá generar documentos gráficos con un adecuado nivel de detalle, que posibilite la redacción de los pertinentes proyectos de habilitación y valorización de zonas de potencial interés turístico en el entorno de El Soplaio. Igualmente resultará de interés para el desarrollo de posteriores campañas de investigación, habiéndose establecido un adecuado marco de referencia para la conexión de las posibles nuevas cartografías espeleológicas generadas.
- Ω Aportará una información vital ante una intervención de los servicios de urgencia.
- Ω Facilitará la difusión digital del complejo turístico mediante recreaciones virtuales del entramado minero existente en la zona.

La generación de este modelo tridimensional constituye en sí mismo una herramienta única en el ámbito de las Cuevas y Minas Turísticas, que ofrece una gestión totalmente diferente desde el punto de vista técnico, científico y de difusión turística de la propia Cueva. Todas estas alternativas pueden revestir interés tanto para la propia gestión interna del bien patrimonial puesto en valor (pudiendo aplicarse en iniciativas formativas, conservación, peritajes, auscultaciones, etc.), como para el desarrollo de campañas divulgativas. Las aplicaciones que pueden darse a los mismos adquieren por tanto una doble vertiente, tanto off-line como on-line.

AGRADECIMIENTOS

Desde estas líneas queremos agradecer a la empresa pública El Soplaio, S.L. y a la Universidad de Cantabria por haber facilitado los medios e instalaciones que han permitido realizar este artículo.

- COLINA, J.; ARGUMOSA, A.; GÓMEZ, F.; SIEGRIED, V.; DE MANUEL, A. **El Soplo, una cavidad única**. Santander: Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria, 2003. 233 p.
- CUETO ALONSO, G. Una experiencia fallida en la minería del Norte de España: la Compagnie des Mines et Fonderies de la Province de Santander et Quiros (1855-1888). **De Re Metallica**, v.10-11, p.47-56, 2008.
- GONZÁLEZ-JORGE, H.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P.; ARIAS, P. Monitoring biological crusts in civil engineering structures using intensity data from terrestrial laser scanners. **Construction and Building Materials**, v.31, p. 119-128, 2012.
- HANCOCK, G.R.; CRAWTER, D.; FITYIUS, S.G.; CHANDLER, J.; WELLS, T. The measurement and modelling of rill erosions at angle of repose slopes in mine spoil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 33, p.1006-1020, 2008.
- MAH, J.; SAMSON, C.; MCKINNON, S.D.; THIBODEAU, D. 3D laser imaging for surface roughness analysis. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, v.58, p.111-117, 2013.
- MAZARRASA, J.M. Estudio de los criaderos minerales de la provincia de Santander. Criaderos de Cinc. **Boletín Oficial de Minas, Metalurgia y Combustibles**, v.157, p.521-550; v.158; p.571-600; v.159, p.631-651; v.160, p.675-692; v.161, p.711-754, 1930.
- NÚÑEZ, M.A.; BULL, F.; REGOT, J.; DE MESA, A. Levantamiento arquitectónico de la Puerta de Antioquia (Alepo). **Informes de la Construcción**, v.64, n.538, p.487-496, 2012.
- ORENI, D.; BRUMANA, R.; CUCA, B. Towards a Methodology for 3D Content Models: The reconstruction of ancient vaults for maintenance and structural behavior in the logic of BIM management. In: GUIDI, G.; ADDISON, A.C. (Eds). 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL SYSTEMS AND MULTIMEDIA. Milán, 2-5 September, 2012. **Proceedings of the VSM 2012**. Milán: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012. p. 475-482.
- PUESCHEL, P. The influence of scanner parameters on the extraction of tree metrics from FARO Photon 120 laser scans. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.78, p.58-68, 2013.
- ROBLEDO ARDILA, P.; DURÁN VALSERO, J.J. Datos preliminares sobre la tipología, distribución y génesis de las excéntricas en la Cueva El Soplo, Cantabria, España. In: DURÁN, J.J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ (Ed.), **Cuevas turísticas, cuevas vivas**. Madrid: Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, Madrid, 2009. p. 13-25.
- SAMPSON, C.C.; FEWTRELL, T.J.; DUCAN, A.; SHAAD, K.; HORRITT, M.S.; BATES, P.D. Use of terrestrial laser scanning data to drive decametric resolution urban inundation models. **Advances in Water Resources**, v.41, p.1-17, 2012.
- TAROLLI, P.; CALLIGARO, S.; CAZORZI, F.; DALLA FONTANA, G. 2013. Recognition of surface flow processes influenced by roads and trails in mountain areas using high-resolution topography. **European Journal of Remote Sensing**, v.46, p. 176-197, 2013.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Nov.2014

Accepted/Aprovado em: Jul.2015



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas



CONTENIDO DE RADÓN EN AIRE EN LA GRUTA DE LAS MARAVILLAS (ARACENA): PRIMEROS RESULTADOS

RADON GAS CONTENT IN THE GRUTA DE LAS MARAVILLAS (ARACENA): FIRST RESULTS

Ismael Fuente (1), Luis Santiago Quindós (1), Luis Quindós (1), Wenceslao Martín-Rosales (2), Manuel López-Chicano (2) & José Benavente-Herrera (2)

(1) Grupo Radon, Universidad de Cantabria, Santander, España;

(2) Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, Granada, España.

E-mail: funtei@unican.es; quindosl@unican.es; quindosll@unican.es.

Resumen

En las cavidades se suelen encontrar elevadas concentraciones de gas Radón, debido fundamentalmente a la baja tasa de ventilación que suele darse en este tipo de ambientes. Durante el periodo 2011-2013 se ha llevado a cabo un seguimiento del contenido de Radón en aire en diversos sectores de la Gruta de las Maravillas, con el objeto de cumplir con la reciente normativa relacionada con radiaciones ionizantes, que exige la caracterización de este tipo de gas en las cuevas turísticas, entre otros tipos de actividades. Los valores corresponden a concentraciones en aire (Bq/m³), y no se ha tenido en cuenta la fracción libre de Rn relacionada con las partículas o aerosoles. En concreto se ha llevado a cabo el seguimiento mensual en 10 sectores considerados como zonas homogéneas mediante la utilización de detectores pasivos suministrados y analizados en el laboratorio acreditado del Grupo de Investigación de Radón de la Universidad de Cantabria. En función de los resultados obtenidos y a partir del análisis estadístico de los datos, se considera como valor medio de concentración (y por tanto como valor de referencia) de gas Radón en la Gruta de las Maravillas, 1349 Bq/m³, con una variabilidad temporal muy elevada. La evolución mensual observada es muy similar a la tendencia estacional del contenido en anhídrido carbónico del aire de la cavidad, de forma que los máximos ocurren durante el periodo estival, mientras que los mínimos tienen lugar durante los meses de diciembre y enero. Teniendo en cuenta el tiempo de permanencia en el interior de la cavidad de los trabajadores adscritos a la Gruta (guías), y aplicando los criterios epidemiológicos del ICRP65, la dosis anual máxima recibida por los mismos es 4,112 mSv, en ningún caso superior a los 6 mSv recogidos en la Instrucción IS-33.

Palabras-Clave: Aracena; Gruta de las Maravillas; gas radón, dosis efectiva; anhídrido carbónico.

Abstract

The cavities typically have high concentrations of radon gas, mainly due to the low ventilation rate that usually occurs in such environments. During the period 2011-2013 has been carried out the monitoring of the content of radon in air in various sectors of the Cave of Marvels, in order to comply with recent regulations related to ionizing radiation, which requires the characterization of this type gas in tourist caves, among other activities. The values correspond to concentrations in air (Bq /m³), and was not taken into account the free fraction of Rn related with aerosols. Specifically we monitored the concentration of radon in 10 sectors considered as homogeneous zones using passive detectors supplied and analyzed in the laboratory of the Radon Research Group (University of Cantabria). The average value of radon gas concentration calculated in the Cave of Marvels is 1349 Bq/m³, with a very high temporal variability. The monthly pattern observed is very similar to the seasonal trend of the carbon dioxide content of the air in the cavity, so that the maximum occurs during the summer, while minimum occurring during the months of December and January. Considering the time spent within the cavity of the guides, and applying epidemiologic criteria (ICRP-65), the maximum annual dose received by them is 4,112 mSv (below the level established by Instruction I-33).

Key-Words: Aracena; Cave of Marvels; Radon gas; effective dose; carbonic anhydride.

1. INTRODUCCIÓN

El radón es un gas, incoloro, inodoro e insípido, que forma parte en una pequeña proporción

de la composición del aire atmosférico. Aislado por primera vez en 1908, es un elemento gaseoso procedente de la desintegración del radio que, a su

vez, es un producto de desintegración de la cadena del uranio presente en la corteza terrestre. Se identifica concretamente como radón al isótopo ^{222}Rn que forma parte de la cadena radiactiva de origen natural del $^{238}\text{uranio}$, aunque también se encuentran isótopos de Rn en la del $^{232}\text{torio}$ y del $^{235}\text{uranio}$ (^{220}Rn o torón y el ^{219}Rn o actinón, respectivamente). La toxicidad del radón se debe a su radiactividad. Al ser un emisor de radiación alfa, el riesgo potencial surge cuando penetra en el organismo, ya sea por inhalación y pudiendo instalarse en las paredes del tracto respiratorio, o por ingestión, adhiriéndose a las paredes del tracto digestivo. El radón es considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de acuerdo con la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA). Al tratarse de un producto de la desintegración del uranio, su existencia en un área concreta está condicionada íntimamente con la cantidad de dicho elemento presente en la corteza, que a su vez depende del tipo de roca que aflora en dicha región. Así, en suelos (no son más que materiales procedentes de la meteorización de rocas) y rocas basálticas es frecuente encontrar concentraciones del orden de 1 ppm en $^{238}\text{Uranio}$; en areniscas y rocas carbonatadas son normales valores del orden de 0.5 ppm; las arcillosas y graníticas poseen valores próximos a 3.5 ppm, mostrando estas últimas un mayor potencial emisor de radón. Los lugares poco ventilados suelen presentar elevadas concentraciones de Rn en aire, especialmente en minas y cuevas. En general, el contenido en radón en el aire de las cavidades suele ser muy elevado en relación con el aire exterior

La dinámica del Rn y las transferencias entre los distintos sectores de la zona vadosa del karst dependen de la interrelación entre una serie de factores externos (gradiente térmico entre el interior y el exterior, velocidad del aire, humedad, diferencias de presión atmosférica, entre otros), e internos, tales como la geomorfología de la cavidad, porosidad (se incluye aquí el grado de fracturación y karstificación) y el contenido en Ra de los sedimentos y la roca (Kies *et al.*, 1997, ISRN, 2009). En las cavidades de origen kárstico, los sedimentos arcillosos que recubren el suelo (frecuentemente residuos insolubles contenidos originariamente en la roca caliza), constituyen en general una fuente potencial de radón, ya que la roca caliza no suele presentar en general valores importantes de Rn. El agua puede no obstante ser un vector importante de transferencia del Rn, bien a partir de la percolación del agua de lluvia a través del suelo y las discontinuidades del macizo, lo que permite el

transporte del Rn hacia zonas profundas, o bien a partir de procesos de desgasificación.

Son muy numerosos los trabajos publicados en relación con el contenido en radón en cavidades, especialmente los encaminados a determinar su potencial riesgo para los trabajadores, en el caso de cuevas turísticas (Dueñas *et al.*, 1998; Galán-López *et al.*, 2004; Quindós *et al.*, 2004; Field, 2007; Sainz *et al.*, 2007), o bien dirigidos al estudio del radón como indicador cuantitativo de la ventilación de la cavidad y su uso como trazador ambiental (Fernández *et al.*, 1986 y Quindós *et al.*, 2013).

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos a partir del seguimiento del contenido de Radón en aire en diversos sectores de la Gruta de las Maravillas, durante el periodo 2011-2013, con el objeto de cumplir con la reciente normativa relacionada con radiaciones ionizantes, que exige la caracterización de este tipo de gas en las cuevas turísticas, entre otros tipos de actividades.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Las medidas se realizaron en la Gruta de las Maravillas, una de las cuevas turísticas más visitadas de España. Se trata de una cavidad desarrollada en mármoles de edad precámbrica con un recorrido predominantemente horizontal (2150 m de galerías conocidas), aunque existen al menos tres niveles de galerías superpuestos (Martín-Rosales *et al.*, 1995).

La temperatura del aire de la Gruta oscila entre 15° C y 19° C, dependiendo del sector considerado. Los mayores valores se registran en las zonas más alejadas de la entrada, coincidiendo además con los valores más elevados de concentración en aire de anhídrido carbónico. Los impactos ambientales producidos por la acción antrópica han sido descritos y analizados en diversos trabajos (Pulido-Bosch *et al.*, 1997). En general se trata de afecciones en el agua (descenso del nivel de los lagos por extracciones en sondeos próximos), el aire (incremento de la temperatura del aire y de la concentración de CO₂ y descenso de la humedad relativa del aire) y la roca. A partir de los estudios realizados se propusieron diversas medidas correctoras que han surtido efectos positivos en el microclima de la cavidad (Martín-Rosales *et al.*, 2007)

La medida de la concentración de Rn en aire se llevó a cabo mediante la utilización de detectores pasivos, tipo CR39, que es un polímero plástico denominado técnicamente allyl diglycol carbonate desarrollado por Columbia Resins en 1940. que permiten obtener información sobre concentraciones

promedio durante un tiempo que puede llegar a días, semanas o meses. Son los métodos menos caros y los más utilizados ya que son los más adecuados para estudios de inspección y reconocimiento y los que permiten, en muchos casos, decidir sobre la conveniencia de tomar acciones correctoras tras efectuar medidas de, por lo menos, tres meses de duración. Los periodos de registro de los detectores instalados han variado desde 1 mes hasta más de tres meses en algunos casos. En la Figura 1 se recogen algunas fotografías de diversos detectores instalados en la Gruta.

Se estableció un protocolo de medida y toma de datos, que fue suministrado al personal adscrito a la Gruta de las Maravillas. El protocolo, muy simple establecía las siguientes indicaciones:

- a. Definición y ubicación de los puntos de muestreo
- b. Fecha de inicio de medidas

c. Instalación de detectores

d. Recogida de datos.

e. Envío de detectores.

Para llevar un control adecuado de la toma de datos, el responsable de la retirada de los detectores rellenaba una ficha en donde se indicaba toda la información requerida. En concreto se indica el código de detector, día de instalación, día de retirada, identificación del punto de muestreo e incluso la fecha de envío al laboratorio acreditado de la Universidad de Cantabria. Finalmente, desde el laboratorio donde se realizaron las determinaciones de Radón en los detectores, se suministraron los resultados en formato digital, mediante ficheros excell. Junto a las determinaciones se adjuntaba, en cada medida, el valor de la incertidumbre experimental, así como el límite de detección de cada detector.



Figura 1.- Fotografías de algunos de los detectores pasivos de Radón instalado en la Gruta de las Maravillas, facilitados por la Universidad de Cantabria.

La red de detectores se estableció en 10 sectores de la Gruta en las que las características térmicas eran más o menos homogéneas, y que aparecen recogidas en la Figura 2.

Finalmente, la estimación de la dosis efectiva proveniente de la inhalación de radón se utilizó la metodología recomendada por el ICRP65. El procedimiento de cálculo utilizado para la estimación de la dosis efectiva en la Gruta de las Maravillas se resume en la expresión:

$$E = f (C_{Rn}, t, F, DCF)$$

Donde

E es la dosis efectiva,

C_{Rn} es la concentración de Radón,

t es función del tiempo de exposición del trabajador/a frente al Rn,

F es el factor de equilibrio y

DCF es el factor de conversión a dosis antes definido. Analíticamente la expresión es

$$E = \frac{C_{Rn} \cdot F \cdot t \cdot DCF}{170 \cdot 3700} \quad (1)$$

DCF es el Factor de Conversión de Dosis, con un valor adoptado de 5 mSv/WLM

Donde

C_{Rn} es la concentración de Rn en Bq/m³

F es el Factor de equilibrio, con un valor adoptado de 0,5

t tiempo de permanencia del trabajador en esas condiciones, recogido por las hojas de control establecidas al efecto por la dirección de la Cueva.

En la Figura 3 se representa gráficamente la secuencia de trabajo, que comienza con la lógica determinación de la concentración de Rn en aire, tras la cual se ha procedido a la estimación de las horas de trabajo de los guías adscritos a la Gruta, para finalmente calcular la correspondiente dosis efectiva recibida a escala anual.

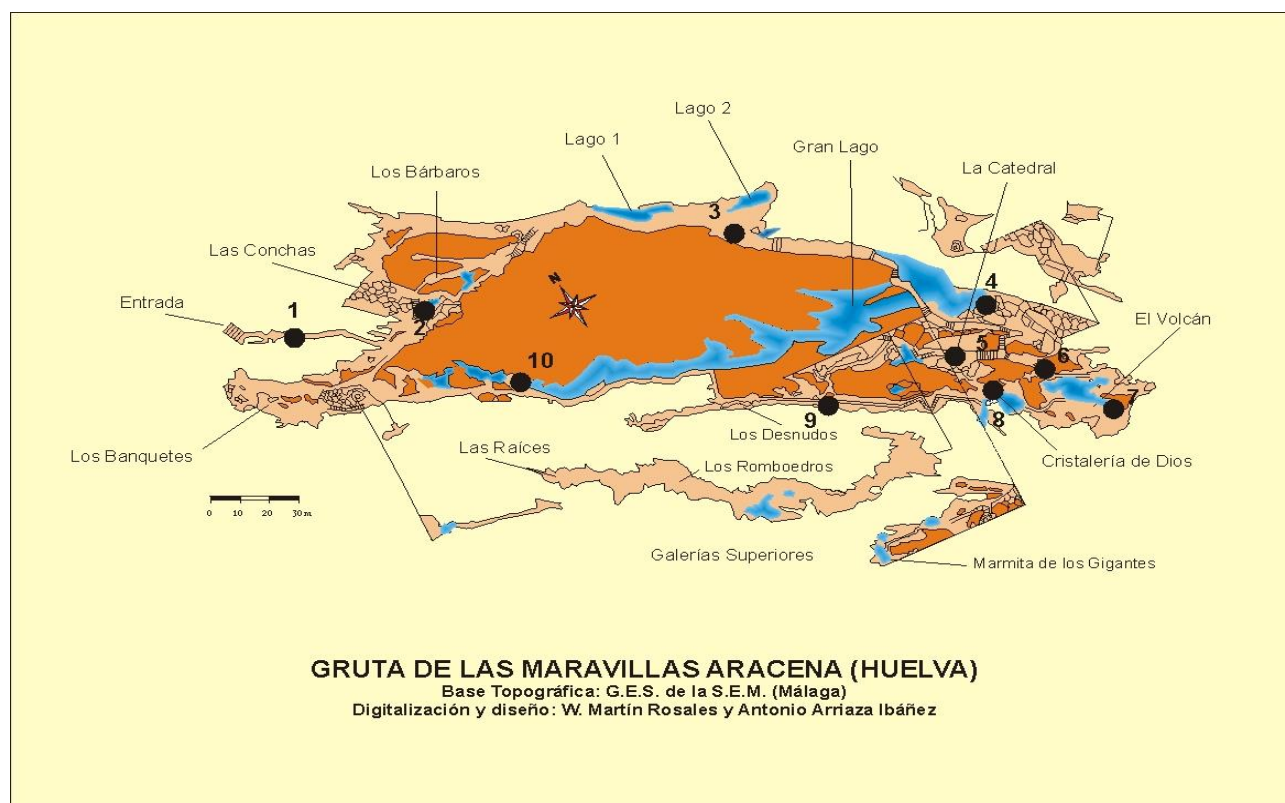


Figura 2.- Localización de los detectores de Radón instalados en la Gruta de las Maravillas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de Rn

Hay que indicar que la fracción libre relacionada con el número de partículas en aire no se ha considerado. Se realizó un análisis mensual, para tratar después de analizar los valores promedio a nivel anual. Hay que indicar que existen lagunas de datos, especialmente en el año 2012. En el año 2011 faltan datos correspondientes a dos meses (abril y junio), si bien y como se podrá comprobar, la tendencia, muy regular a nivel mensual, permite realizar un completado de la serie mensual con un elevado margen de seguridad (desde una perspectiva estadística). Durante 2012 se disponen de medidas muy escasas y dispersas. Además, se trata de

medidas efectuadas durante periodos superiores al mes. En concreto, se instalaron detectores pasivos que permanecieron de forma ininterrumpida durante los periodos agosto-octubre y noviembre-diciembre de ese año. Los resultados son sensiblemente inferiores a los registrados durante el año 2011.

Los resultados obtenidos muestran una gran variabilidad espacial y temporal de la concentración de gas radón en el aire de la cavidad.

Utilizando toda la serie de datos disponibles (periodo 2011 a 2013), se han podido calcular valores promedio para cada uno de los meses. A efectos comparativos, se han estimado los parámetros estadísticos de dos series mensuales de concentración de radón en aire alternativas. Se trata, por un lado, del análisis estadístico de toda la serie

de datos disponible, así como de la serie correspondiente al año 2011. En ésta última, dada la marcada tendencia de la serie, ha sido relativamente fácil proceder al completado de los datos ausentes, a través del promedio de los datos anterior y posterior. En la tabla 1 adjunta se muestran los datos correspondientes a la serie de 2011, incluyendo en color rojo los datos completados.

En la Tabla 2 se muestran, junto a los valores promedio calculados, los correspondientes intervalos de confianza al 95 %. Los coeficientes de variación calculados son elevados en la serie completa (2011 a 2013), oscilando entre el 20 % y el 70 %, mientras que en el caso de la serie de 2011 estos valores se reducen sensiblemente.

Otro aspecto interesante es la variación intra-anual de la concentración en aire del gas radón. Así, en la Figura 3 se muestran sendos diagramas de cajas (Figura 4) correspondientes a cada una de las series analizadas. Aunque ambas presentan la misma tendencia general, en la gráfica correspondiente al periodo 2011-2013 se observa, a parte de una mayor variabilidad antes comentada, un cierto desvío de la tendencia durante el mes de mayo. En la serie correspondiente a 2011, sin embargo, la concentración registrada durante el mes de septiembre parece desviarse de la tendencia general. De cualquier modo, parece clara la evolución

estacional de la concentración de radón a lo largo del año, con valores máximos durante el periodo estival, mientras que los mínimos se registran durante el invierno.

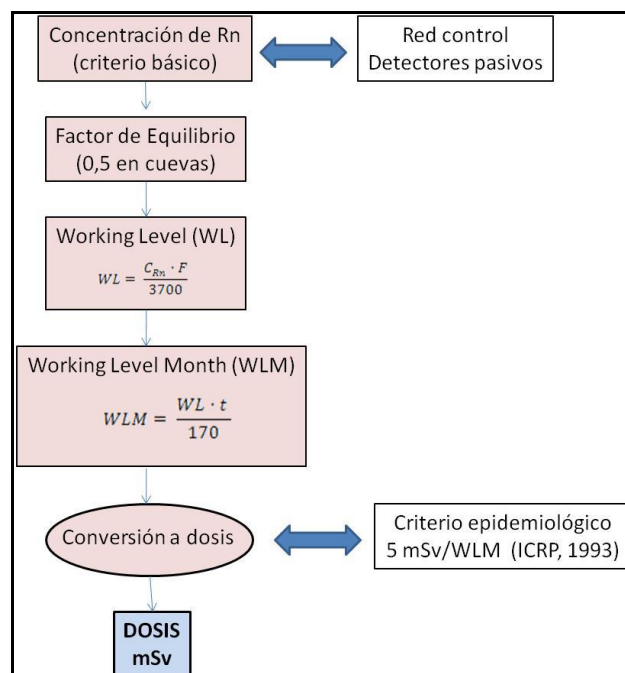


Figura 3.- Resumen esquemático del procedimiento de estimación de dosis recibidas por los trabajadores de la Gruta de las Maravillas.

Tabla 1. Serie completada correspondiente al año 2011 (en rojo, valores completados)(Bq/m3)

ZONA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Galería de Entrada	105,3	146,6	286,4	1279,7	2272,9	2478,6
Las Conchas	211,6	423,2	705,9	1390,7	2075,4	2427,8
Estalactita/ La Codorniz	322,0	323,6	555,9	1392,0	2228,0	2403,6
Gran Lago	428,8	321,2	579,5	1406,2	2232,9	2616,6
La Catedral	391,4	319,3	445,8	1352,3	2258,8	2471,8
La Sultana	260,2	328,5	610,5	1326,2	2041,9	2477,1
La Esmeralda	289,9	311,9	616,4	1706,6	2796,7	2905,7
Cristalería de Dios	196,1	359,3	596,8	1369,1	2141,4	2530,0
Los Desnudos	338,0	353,1	611,5	1177,1	1742,6	2392,9
Galería de los Lagos	139,1	477,3	595,3	1593,7	2592,2	2628,4

ZONA	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Galería de Entrada	2684,2	2638,7	1992,5	820,8	822,5	1242,0
Las Conchas	2780,2	3440,4	2867,0	1077,9	343,6	623,0
Estalactita/ La Codorniz	2579,2	2964,4	2667,5	829,5	298,7	513,0
Gran Lago	3000,3	2543,4	2900,0	879,3	228,3	438,0
La Catedral	2684,7	2979,1	2685,8	882,5	250,5	430,0
La Sultana	2912,4	1919,7	3011,5	849,0	180,7	133,0
La Esmeralda	3014,6	3035,6	3142,4	942,1	258,6	153,0
Cristalería de Dios	2918,6	2628,7	2596,3	905,3	215,3	76,0
Los Desnudos	3043,3	2772,7	2941,4	628,7	310,6	186,0
Galería de los Lagos	2664,6	2958,1	3162,3	758,6	184,5	220,0

Tabla 2.- Tabla resumen de los valores promedio, con sus respectivos intervalos de confianza al 95 % (valores expresados en Bq/m³).

MES	PERIODO 2011/2013			PERIODO 2011		
	Media	Límite Inferior	Límite superior	Media	Límite Inferior	Límite superior
ENERO	251,7	204,8	298,6	268,2	192,5	344,0
FEBRERO	278,5	229,2	327,8	336,4	275,3	397,5
MARZO	390,5	295,9	485,1	560,4	477,6	643,2
ABRIL	220,6	153,8	287,4	1399,3	1291,5	1507,2
MAYO	3205,8	2628,1	3783,5	2238,3	2030,5	2446,0
JUNIO	1445,1	1262,3	1627,9	2533,2	2423,4	2643,1
JULIO	3429,8	3106,9	3752,8	2828,2	2707,0	2949,4
AGOSTO	2724,7	2357,9	3091,5	2788,1	2501,4	3074,7
SEPTIEMBRE	2460,5	2199,1	2721,8	2796,7	2552,1	3041,2
OCTUBRE	1198,5	1048,8	1348,1	857,4	773,6	941,1
NOVIEMBRE	276,6	222,4	330,9	309,3	174,8	443,8
DICIEMBRE	308,4	221,6	395,1	401,4	152,5	650,3
PROMEDIO	1349,2	615,1	2083,4	1443,1	739,7	2146,4

Los valores máximos se registran en el sector más alejado de la entrada (Sala de la Esmeralda o del Volcán), si bien también el promedio registrado en las Conchas (muy próxima a la entrada) registra sistemáticamente valores muy elevados en comparación con el resto de los sectores analizados.

Concentración de Rn vs concentración de CO₂

La evolución mensual observada es en cierta medida bastante similar a la tendencia estacional del contenido en anhídrido carbónico del aire de la cavidad, tal y como sugiere la Figura 5, que corresponde a los valores medios, máximos y mínimos de este gas (en ppm) registrados durante el año 2010 en la Cristalería de Dios (no existen datos correspondientes a 2011). Se aprecia, al igual que ocurre con el radón, una tendencia ascendente a medida que avanza el año, de forma que los máximos ocurren durante el periodo estival (no existen registros correspondientes al mes de agosto), mientras que los mínimos tienen lugar durante los meses de diciembre y enero. No obstante, hay que indicar que en este caso esta variable está muy condicionada por la afluencia de visitantes.

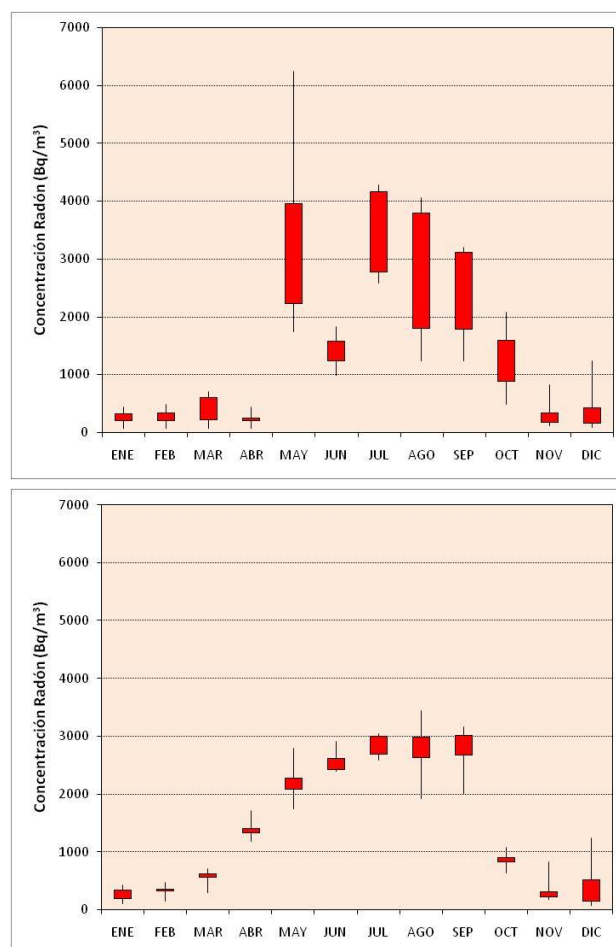


Figura 4. Gráficos box plot (cajas) de las series de concentración de gas radón en aire correspondientes al periodo 2011-2013 (superior) y al periodo 2011 (inferior)

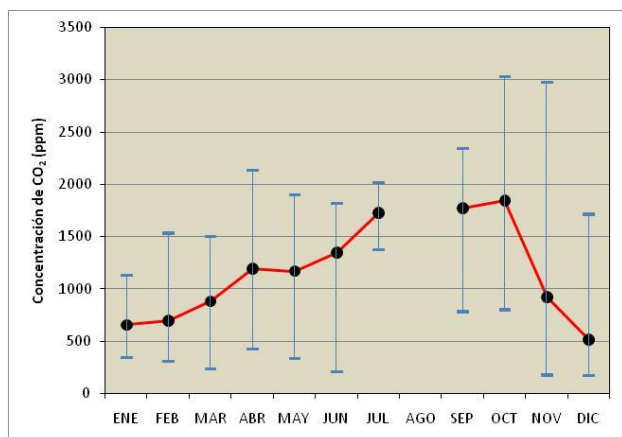


Figura 5.- Valores medios, máximos y mínimos de concentración de anhídrido carbónico registrados en la Cristalería de Dios durante el año 2010. No existen registros durante el mes de agosto.

La correlación es relativamente significativa entre las concentraciones mensuales medias de radón y anhídrido carbónico, incluso a pesar de corresponder a registros de años diferentes, tal y como se puede observar en la Figura 6. Dicha correlación es muy elevada si se prescinde del dato correspondiente al mes de octubre, mes por otro lado caracterizado por una elevada afluencia de visitantes, que provoca concentraciones de anhídrido carbónico anómalamente elevadas.

La explicación de esta tendencia del contenido en radón puede ser la misma que justifica la evolución de la concentración de anhídrido carbónico (Martín-Rosales et al., 2010). Los valores mínimos se registran durante el invierno, precisamente en el periodo durante el cual las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior son máximas. La temperatura del exterior es mucho más baja que en el interior de la cavidad, y ello podría provocar la entrada del aire denso y frío en la cueva desplazando el aire del interior. Durante la primavera, y concretamente a finales de mayo, se produce un fenómeno de inversión térmica, de modo que la temperatura exterior llega a superar a la del interior. En este periodo, durante el cual el CO₂ se ha mantenido relativamente constante y con valores inferiores a 1.500 ppm, comienza a aumentar de forma prácticamente constante hasta alcanzar sus máximos en el mes de agosto. Esta tendencia ascendente podría explicarse por las elevadas temperaturas del exterior (y superiores a la temperatura de la cueva), que impedirían la entrada de aire del exterior menos denso y por tanto provocarían un progresivo aumento de la concentración de CO₂ y acumulación de gas Rn.

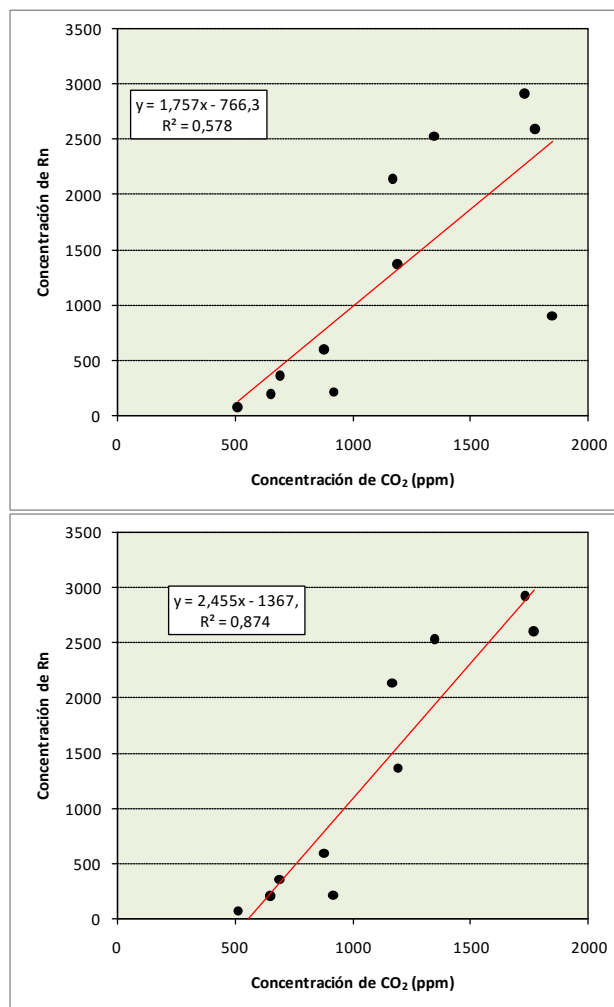


Figura 6.- Gráficos de correlación entre el contenido en Rn registrado en la Cristalería de Dios durante 2011 y el contenido medio en anhídrido carbónico registrado durante 2010.

Estimación de las dosis efectivas

En lo referente a las dosis efectivas, y a falta de cualquier criterio que permita seleccionar una serie de las analizadas, se ha optado por considerar como serie tipo para las estimaciones dosimétricas la correspondiente a todo el conjunto de observaciones realizadas, es decir, la serie constituida por el periodo comprendido entre 2011 y 2013. Por lo tanto el valor de referencia adoptado ha sido 1349 Bq/m³

En la tabla 3 se muestra el resultado de la estimación de las dosis recibidas cada mes, así como del total recibida por año, tanto para los trabajadores fijos como para los eventuales, estimadas según el procedimiento descrito en párrafos precedentes. Como puede deducirse de la tabla, en las que las estimaciones dosimétricas están referidas a los valores promedio, en el caso de la dosis recibida por los trabajadores fijos, el valor obtenido es 4,112 mSv, inferior por tanto a los 6 mSv a los que hace referencia la Instrucción I-33. En el caso de los

trabajadores eventuales, lógicamente es mucho menor (1,860 mSv).

En lo referente a trabajadores fijos, destacan por su valor relativamente elevado (aunque siempre inferior a 0,9 mSv) los meses de mayo, julio, agosto y septiembre, si bien durante los 8 meses restantes, la dosis recibida es muy baja, casi nunca superior a 0,1 mSv. En el caso de los trabajadores eventuales, la mitad del año la dosis mensual es inferior a 0,1 mSv, y nunca se superan los 0,4 mSv.

Teniendo en cuenta el criterio de concentración de gas radón adoptado (1349 Bq/m³), el número máximo de horas que podrían permanecer en el interior de la cavidad los trabajadores (con el protocolo de entradas vigente), sin que se superaran los 6 mSv por año de dosis recibida sería de 1119 horas, o lo que es igual, un promedio de 93,3 horas por mes, lo cual es el resultado de aplicar la expresión (1) anteriormente referida, tomando esta vez el tiempo como variable a determinar.

Tabla 3. Estimaciones de dosis mensuales (mSv) con indicación de los valores anuales.

2011-2013	CONCENTRACIÓN RADÓN			DOSIS RECIBIDA (mSv)			
MES	Media	Límite Inferior	Límite superior	FIJOS		EVENTUALES	
	(Bq/m ³)	(Bq/m ³)	(Bq/m ³)	HORAS	DOSIS	HORAS	DOSIS
ENERO	251,7	204,8	298,6	63,9	0,064	28,9	0,029
FEBRERO	278,5	229,2	327,8	63,9	0,071	28,9	0,032
MARZO	390,5	295,9	485,1	63,9	0,099	28,9	0,045
ABRIL	220,6	153,8	287,4	63,9	0,056	28,9	0,025
MAYO	3205,8	2628,1	3783,5	63,9	0,814	28,9	0,368
JUNIO	1445,1	1262,3	1627,9	63,9	0,367	28,9	0,166
JULIO	3429,8	3106,9	3752,8	63,9	0,871	28,9	0,394
AGOSTO	2724,7	2357,9	3091,5	63,9	0,692	28,9	0,313
SEPTIEMBRE	2460,5	2199,1	2721,8	63,9	0,625	28,9	0,283
OCTUBRE	1198,5	1048,8	1348,1	63,9	0,304	28,9	0,138
NOVIEMBRE	276,6	222,4	330,9	63,9	0,070	28,9	0,032
DICIEMBRE	308,4	221,6	395,1	63,9	0,078	28,9	0,035
PROMEDIO	1349,2	615,1	2083,4	767	4,112	347	1,860

4. CONCLUSIONES

Se ha registrado durante el periodo 2011-2013 el contenido de Radón en aire en diversos sectores de la Gruta de las Maravillas, con el objeto de cumplir con la reciente normativa relacionada con radiaciones ionizantes. Se trata de los primeras medidas de concentración de este gas realizadas en la Gruta de las Maravillas. Los valores corresponden a concentraciones en aire (Bq/m³), y no se ha tenido en cuenta la fracción libre de Rn relacionada con las partículas o aerosoles. En concreto se ha llevado a cabo el seguimiento mensual en 10 sectores considerados como zonas homogéneas mediante la utilización de detectores pasivos suministrados y

analizados en el laboratorio acreditado del Grupo de Investigación de Radón de la Universidad de Cantabria.

En función de los resultados obtenidos y a partir del análisis estadístico de los datos, se considera como valor medio de concentración (y por tanto como valor de referencia) de gas Radón en la Gruta de las Maravillas, 1349 Bq/m³, con una variabilidad temporal muy elevada.

Teniendo en cuenta el tiempo de permanencia en el interior de la cavidad de los trabajadores adscritos a la Gruta (guías), y aplicando los criterios epidemiológicos del ICRP65, la dosis anual máxima recibida por los mismos es 4,112 mSv, en ningún

caso superior a los 6 mSv recogidos en la Instrucción IS-33. No obstante, los valores de concentración, que superan los recogidos en dicha normativa (1000 Bq/m^3), obligan a establecer medidas de control y seguimiento de las dosis recibidas por los trabajadores, por otro lado informados ya en varias reuniones sobre esta problemática. Lógicamente, una posibilidad sería la adopción de medidas de tipo estructural o constructiva, encaminadas a reducir la concentración de gas radón; ello se conseguiría de forma relativamente fácil mediante un sistema de ventilación forzada en la cavidad. Sin embargo, cualquier sistema de este tipo alteraría notablemente las condiciones climáticas de la cavidad, afectando con toda seguridad el estado de conservación de los diferentes y frágiles espeleotemas de la cavidad, que constituyen el principal atractivo de la Gruta. Por tanto, esta medida no es viable, pues a medio plazo provocaría la pérdida de los valores estéticos de la Gruta, y probablemente el deterioro irreversible de la misma.

Por todo cuanto antecede, la única solución o medida de control plausible es la adopción de controles de tipo administrativo, consistentes en

controlar el tiempo de permanencia de todos y cada uno de los trabajadores de la Gruta. Dicho control se establecerá a nivel diario, de forma que cada mes se podrá establecer la dosis recibida por cada uno de los trabajadores (a través del tiempo de permanencia y de la concentración de gas radón medida en la Gruta).

Por otra parte, y con el objeto de determinar con precisión el contenido en Radón, se considera importante la instalación de dos equipos de registro continuo de concentración de gas radón en la cavidad, concretamente en los sectores más distanciados entre sí (Sala de Las Conchas y Cristalería de Dios), lo que permitirá cuantificar la gran variabilidad temporal de la concentración de Rn en el aire, así como determinar la tasa de ventilación de la cavidad.

Estas medidas serán complementarias de las que provengan de los detectores pasivos que se mantendrán en las distintas zonas consideradas en el presente estudio. De este modo queda garantizado el seguimiento y cuantificación de la variabilidad espacial (red de control de detectores) y temporal (equipos de registro continuo) de la concentración de gas radón en el aire de la Gruta.

BIBLIOGRAFÍA

- Dueñas, C., Fernández, M.C., Canñete, S., Carretero, J., and Liger, E., 1998. ^{222}Rn concentrations, natural flow rate and the radiation exposure levels in the Nerja Cave. *Atmospheric Environment*, v. 33, p. 501–510.
- Galán-López, M., Martín-Sánchez, A., and Gómez Escobar, V., 2004. Estimates of the dose due to ^{222}Rn dissolved in water. *Radiation Protection Dosimetry*, 111: 3-7.
- International Commission on Radiological Protection, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Pergamon Press; ICRP Publication 65, Oxford, 1993, Ann. ICRP 23 (2) 1993.
- ISRN, 2009. Guide méthodologique de mesure de l'activité volumique du radon dans les cavités et ouvrages souterrains. Rapport DEI/SARG/2009-020. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, France, 19 p.
- Fernández, P.L., Gutiérrez, I., Quindós, L.S., Soto, J. y Villar, E. 1986. Natural ventilation of the Paintings Room in the Altamira Cave. *Nature*, 321, 586-588.
- Field, M.S., 2007. Risks to cavers and cave workers from exposures to low-level ionizing alpha radiation from Rn-222 decay in caves. *Journal of Cave and Karst Studies* 69 (1): 207-228.
- Kies, A., Massen, F., Feider, M., 1997. Measuring radon in underground locations. In: Virk, H.S. (Ed.): *Rare Gas Geochemistry*. Guru Nanak Dev University, Amritsar, pp. 1–8
- Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., Rodríguez, C.M. y Pulido-Bosch, A. 1995. Morfología, espeleotemas y climatología de la Gruta de las Maravillas, Aracena (Huelva). *Espeleotemas*, 5:1-12.

- Martín-Rosales, W., López-Chicano, M., Rodríguez, C.M. y Cerón, J.C. ,2007. Efectos de las medidas de protección ambiental en la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva). In: J.J. Durán, P.A. Robledo y J. Vázquez (Eds.) *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*, Madrid, 169-180.
- Martín-Rosales, W. López-Chicano, M. y Caballero, V. (2010). Variación temporal de la concentración de anhídrido carbónico en la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva, España). En: J. J. Durán y F. Carrasco (Eds.), *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*, pp. 159-168. Madrid. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.
- Pulido Bosch, A., Martín Rosales, W., López Chicano, M., Rodríguez Navarro, C.M. y Vallejos, A. 1997. Human impacts in a tourist karstic cave (Aracena, Spain). *Environmental Geology*, 311, 142-149.
- Sainz C, Quindós LS, Fuente I, Nicolás J, Quindós L. (2007). Analysis of the main factors affecting the evaluation of the radon dose in workplaces: the case of tourist caves. *Journal of. Hazardous Materials*, 16;145(3):368-71.
- Quindós, L., Fernández, P., Sainz, C., Gómez-Arozamena, J., Bordonaba, M. (2004). Radon exposure in uranium mining industry vs. exposure in tourist caves. *Radiation Protection Dosimetry*, 111, 41-44.
- Quindos, L.S., Sainz, C., Fuente, I., Gutierrez-Villanueva, J.L., González-Diez, A. (2013). The use of radon as tracer in environmental sciences. *Acta Geophysica*, 61 (4): 848-858.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Jan. 2015

Accepted/Aprovado em: Abr. 2015



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas



PROCESO DE REALIZACIÓN DE MOLDES Y RÉPLICAS DE UN ESPELEOTEMA SINGULAR: EL CASO DE “LA PALMATORIA”, GRUTA DE LAS MARAVILLAS, ARACENA (HUELVA, ESPAÑA)

PROCEDURE OF MOLDS AND REPLICAS MAKING OF A SINGULAR SPELEOTHEM: THE CASE OF “CANDLESTICK”, MARAVILLAS CAVE, ARACENA (HUELVA, SPAIN)

Eleuterio Baeza Chico (1) & Juan José Durán Valsero (2)

(1) Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España;

(2) Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, España.

E-mail: e.baeza@igme.es; jj.duran@igme.es.

Resumen

En las cuevas turísticas es frecuente la presencia de elementos geológicos singulares de alto valor patrimonial. Muchos de estos elementos son espeleotemas de diversos tipos, algunos con un importante significado simbólico o representativo de la propia cavidad. Es los casos de elevada vulnerabilidad o fragilidad, es conveniente la realización de un molde que asegure la posibilidad de replicar el elemento en las condiciones óptimas, con diversos fines. Por un lado, asegurar la posibilidad de reponer el elemento en caso de vandalismo, robo o accidente; por otro, permitir la realización de réplicas en distintos materiales para usos diversos (expositivos, conmemorativos, didácticos, comerciales, entre otros). En este trabajo se detalla el proceso técnico de realización del molde de un espeleotema singular concreto (la denominada “Palmatoria”, un bello espeleotema mixto epiacuático), especialmente representativo del patrimonio geológico inmueble presente en el interior de la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva, Sur de España). Este elemento posee un gran significado estético e histórico y una alta representatividad de los elevados valores geológicos de la cavidad, constituyéndose en uno de los iconos emblemáticos de la misma. Por ello, se ha considerado necesario garantizar su conservación, tanto en el sentido de protegerlo adecuadamente de posibles alteraciones naturales o antrópicas, como en el de realizar las acciones que permitan su restauración o reposición en el caso de que fuera necesario. En este último sentido, la confección de un molde de alta calidad y la replicación con diversos materiales y escalas asegura este objetivo.

Palabras-Clave: Espeleotema; conservación; Gruta de las Maravillas; molde, réplica.

Abstract

The presence of unique elements of interest from the geological heritage point of view is common in show caves. Many of these elements are speleothems, some with a high value, symbolic or representative of the cavity itself. The cases of high vulnerability or fragility, is suitable for mold making that ensures the possibility of replicating the element in optimum conditions, with different objectives. On the one hand, to ensure the possibility to replace the element in the case of vandalism, theft, or accident; on the other hand, enable replicas on different materials for different applications (exhibition, commemorative, educational or commercial). This work details the technical making of the mold of a singular speleothem called “La Palmatoria”, that means “The Candlestick”, a beautiful mixed epiacuatc speleothem. This speleothem is representative of the geological heritage present in the interior of the Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva, South Spain). This element has a great aesthetic and historical significance and is representative of the geological values of the cave, becoming one of its most emblematic icons. Therefore it is considered that it is necessary to ensure its conservation, protecting it from natural or anthropogenic alterations, and carry out actions that allow its restoration or replacement if necessary. In this latter sense, the preparation of a high quality mold and replication with different materials and scales ensures this objective.

Key-Words: Conservation; Gruta de las Maravillas; mold; replica; speleothem.

1. INTRODUCCIÓN

Las cuevas turísticas contienen numerosos elementos geológicos singulares de alto valor

patrimonial. Estos elementos están representados habitualmente por morfologías erosivas, sedimentos detríticos o espeleotemas de diverso tipo. En el caso de los espeleotemas, debido a su gran variedad (de

origen, tamaño, forma y color) y belleza, es frecuente que algunos de ellos se constituyan en iconos o símbolos representativos de la cavidad que los alberga.

Un ejemplo de este valor simbólico de ciertos elementos puntuales del patrimonio geológico inmueble de una cavidad turística es la denominada “Palmatoria” de la Gruta de las Maravillas (Aracena, Huelva). Este singular espeleotema es una combinación de cristales calcíticos de origen epiacuático, con una estalagmita central, cuya resultado es un conjunto armónico, de gran belleza y espectacularidad (Fig.1). La Palmatoria tiene, además del valor intrínseco como espeleotema singular, un notable valor histórico, puesto que ha sido protagonista de algunas anécdotas relacionadas con las visitas de algunos personajes ilustres a lo largo de la dilatada historia de la Gruta de las Maravillas, que en el año 2014 cumple 100 años de su descubrimiento y habilitación, constituyendo un extraordinario ejemplo de cueva turística sostenible.



Figura 1. Espeleotema singular, denominado “La Palmatoria”, presente en la Gruta de las Maravillas de Aracena. El diámetro aproximado de la forma circular exterior es de unos 20 cm

Curiosamente, el de “La Palmatoria” onubense no es el único ejemplo emblemático conocido en una cueva europea de este tipo de espeleotemas de origen mixto. En la cueva rumana de Piatra Altarului (*Altar de Piedra*), ubicada en un espacio natural protegido de las Montañas Bihor y con un elevado nivel de protección dentro del mismo, debido a la cantidad y variedad de los espeleotemas que contiene, existe un ejemplar similar, que ha sido elegido como símbolo de la cavidad y utilizado como elemento representativo de la misma (Fig. 2).

Estos elementos emblemáticos no están exentos de riesgos de cara a su conservación. Por un lado, pueden producirse alteraciones de carácter más

o menos natural o inducido antrópicamente de manera involuntaria; por otro, se han documentado casos de vandalismo, o expolio, vinculados, en ocasiones, precisamente al carácter emblemático de dichos elementos. Un caso paradigmático reciente es la agresión intencionada llevada a cabo por un visitante (rotura parcial y desaparición posterior) sufrida por un espeleotema con forma de mariposa que constituía el emblema de las famosas *Caverns of Sonora*, en Texas, EEUU. El día 21 de noviembre de 2006, un desaprensivo que visitaba la cueva formando parte de un grupo aprovechó un descuido del guía para mutilar una de las “alas” del extraordinario espeleotema. Se llegó a ofrecer 20.000 dólares de recompensa por la devolución del fragmento mutilado y robado, sin éxito, para intentar la recuperación del emblemático espeleotema.

También en España se han dado en algunas cuevas turísticas, en los últimos años, varios casos de vandalismo e intentos de hurto de algunos espeleotemas singulares. Afortunadamente, las medidas de seguridad y la actuación conjunta de los guías y gerentes, junto con las fuerzas y cuerpos de seguridad del Estado y la diligente maquinaria judicial han permitido, en todos los casos conocidos y denunciados, el adecuado castigo de los responsables, aunque los daños causados han sido de imposible reparación. Con estos antecedentes, parece claro que, entre las actuaciones de carácter preventivo que aseguren la adecuada protección del patrimonio geológico de una cueva turística debe estar la realización de las acciones que permitan la restauración o reposición de estos elementos emblemáticos en el caso de que fuera necesario.

La confección de moldes de alta calidad de elementos de pequeño y mediano tamaño es relativamente frecuente en el ámbito del patrimonio mineralógico y paleontológico, Baeza (1995, 2000), Baeza; Llorente, (2004); Baeza *et al.*, (2006, 2008). También este tipo de estrategias de conservación se ha aplicado a los objetos de arte tridimensionales, Pereira (1999 a y b). En este trabajo se describe el proceso de realización de un molde de alta calidad de “La Palmatoria” y la posterior realización de réplicas en diferentes materiales, a la misma escala que el original o a menor tamaño. Esta actuación, junto con otras medidas de protección, asegura la posibilidad de replicar el elemento en las condiciones óptimas, con diversos objetivos. Por un lado, permitiría reponer el elemento en caso de vandalismo, robo o accidente; por otro, permite, igualmente, la realización de réplicas en distintos materiales para los usos más diversos: expositivos, conmemorativos, pedagógicos, comerciales, entre otros.



Figura 2. Espeleotema epiacuático similar a “La Palmatoria” de la Gruta de las Maravillas de Aracena, situado en la cueva rumana Piatra Altarului (izquierda), cuya imagen siluetada ha sido utilizada como marca de agua en material publicitario de la cavidade (centro y derecha).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El empleo de moldes y réplicas en el ámbito de la conservación de bienes culturales (y más recientemente, naturales) es relativamente habitual desde hace décadas Fleischmann (1979), Smith; Bruce (1985). El desarrollo de ciertos materiales plásticos y resistentes, como la silicona, ha facilitado mucho esta labor, Chaney (1989).

No en todos los casos es posible realizar un molde de un elemento singular de esta naturaleza, ya que existen morfologías como algunas formas excéntricas de gran fragilidad o complejidad que harían inviable el proceso de moldeo. Sin embargo, en casi todos los casos es posible la realización, siempre que se tengan en cuenta todas las medidas necesarias, muy diferentes según cada caso.

En el caso de “La Palmatoria” de la Gruta de las Maravillas, las especiales condiciones del lugar donde se encuentra, a gran distancia de la boca de la cueva y con alta humedad relativa y la ubicación del espeleotema, en el interior de un gour parcialmente relleno de agua en su interior, así como el goteo de estalactitas situadas sobre el elemento a replicar *in situ*, han determinado, junto a la compleja morfología de la pieza, el método y los materiales que ha sido necesario emplear (Fig. 3).

La morfología de la pieza a moldear y replicar presentaba unas características muy especiales, que ha condicionado el método empleado para la realización del molde. Su forma central de diábolo y la existencia de un borde superior estrecho y delicado, rematado con el ápice de la estalagmita que sirvió de nucleación al resto del espeleotema epiacuático, ha hecho necesaria la realización de un molde de una sola pieza para evitar rebabas en las zonas más visibles. Sin embargo, la carcasa ha tenido que confeccionarse en múltiples piezas, como se detallará posteriormente, y el propio molde ha debido cortarse *in situ* para permitir el desmoldeo y volver a ser reintegrado en laboratorio.

Las fases sucesivas del trabajo realizado, ordenadas cronológicamente han sido: 1) protección del original y su entorno, 2) fabricación del molde y la carcasa, 3) obtención del máster, 4) realización de réplicas en diversos materiales y 5) reproducciones a tamaño diferente del original.

Respecto a los diferentes materiales utilizados, en la tabla 1 se indican los más importantes, indicándose la composición, utilidad y otras características de interés.



Figura 3. Transporte de materiales por el interior de la gruta y ubicación del espeleotema a replicar, en un gour con el fondo parcialmente ocupado por agua.

Tabla 1. Materiales utilizados en el proceso de realización del molde de “La Palmatoria”

DENOMINACIÓN	FUNCIÓN	COMPOSICIÓN
Silicona RTV 3481	Material de moldeo	Polixiloxano
RTV 3081 F Curing agent	Catalizador de silicone	Compuesto orgánico de estaño
Film polietileno	Aislante separador	Polietileno
Thixo additive	Agente tixotrópico	Alquileter sulfato sódico
Blanco óxido cinc	Carga y pigmento	óxido cinc
Fluoline A	Consolidante/protector	Resina acrílica fluorada
Molikote spray	Separador/desmoldeante	Base alcohólica
Fetadur 55/63	Endurecedor Resina epoxy	Bisfenol A
Fetadit 55/63	Base Resina epoxy	Epiclohidrina
Escayola Alamo-70	Escayola dureza media	Sulfato cálcico hemihidrato
Escayola exaduro	Escayola alta dureza	Sulfato cálcico modificado
Marmolina impalpable	Carga	Carbonato cálcico
Carbonato de cal ligero	Carga	Carbonato cálcico
Cosmoloid 80 H	Desmoldeante	Cera microcristalina

2.1 Protección del original y su entorno

En primer lugar, sobre la superficie del *gour* se ha colocado una capa de polietileno resistente para no manchar los grandes cristales de calcita que tapizan la zona de trabajo (fig. 4). El ápice de la estalactita que goteaba de forma constante sobre la palmatoria, se ha rodeado con papel absorbente y cinta a modo de reservorio. El hecho de que la pieza a replicar se encontrara permanentemente mojada, suponía una ventaja a la hora de aplicar silicona sobre ella, por su carácter hidrófugo, aunque ha habido que eliminar parte del agua presente, que creaba pequeños charcos. Pese a ello, para mayor seguridad, se ha aplicado un desmoldeante en espray de base alcohólica que no deja ningún tipo de residuo. El material de trabajo se colocó fuera del *gour* en un entorno seguro a ambos lados del camino cercano, para evitar cualquier problema relacionado con vertidos accidentales.

2.2 Fabricación del molde y la carcasa

Existen infinidad de elastómeros con los que se podría fabricar el molde (hidrocoloides, látex, poliéteres, polisulfuros, gomas de poliuretano, siliconas de adición y siliconas de condensación, entre otros), cada uno con sus ventajas e inconvenientes, con unas características físicas y químicas distintas, distintos tiempos de curado y unos costes muy dispares. Los hidrocoloides son extremadamente frágiles y exigen una rápida actuación, tanto en la extracción del molde como, especialmente en la obtención del primer master. En el caso del látex, la alta humedad de la cueva, junto con sus cambios dimensionales en el curado lo hacen inviable. Lo mismo ocurriría con las gomas de poliuretano y la humedad hasta su reticulación. Los poliéteres y polisulfuros son adecuados para piezas

más pequeñas y resultan excesivamente rígidos o poco elásticos, con tiempos de trabajo insuficientes. Las siliconas de adición, además de su alto coste, al llevar platino uno de los componentes, suelen dar problemas de curado en contacto con metales azufres y otros compuestos. En cuanto a las siliconas de condensación (formadas por una enorme gama de productos con distintas viscosidades y propiedades físicas, como resistencia al desgarro y diferentes grados de contracción tras el curado) resultan ser las más adecuadas para nuestro trabajo. Son de carácter hidrófugo, muy buena resolución, costes aceptables y permiten un buen control, tanto en la forma de aplicación como de los tiempos de curado o reticulación.

Por tanto, para la fabricación del molde se ha utilizado la silicona “Silastic 3481”, de condensación y curado en condiciones ambientales (RTV-2), mediante colada y pincelado (Fig. 5), catalizadas con catalizador rápido (3081F) al 8 % ya que el pequeño tamaño de la pieza lo permite y se acelera el proceso. Una vez iniciado el proceso de coagulación de ésta primera capa de silicona y antes de que termine de reticular, se aplica una segunda capa igual que la anterior pero añadiendo agente tixotrópico al 2 % en peso y se extiende mediante pincel y, posteriormente, mediante espátula humectada, por toda la superficie de la pieza. Para una óptima aplicación, en estas condiciones ambientales, aún hubiera resultado más eficaz una silicona de mayor viscosidad o con alto grado de coagulación derivada de la evolución en el envase, y próxima a la caducidad, junto con el uso de un catalizador rápido. Con ello obtendríamos comportamientos similares al material tixotropado pero mejor resolución y mejor comportamiento y evolución del molde de cara al futuro.



Figura 4. Protección del entorno y colocación de los diversos materiales necesarios para llevar a cabo el molde.

Con posterioridad al espatulado, se ha colocado sobre el conjunto una lámina de polietileno y se ha suavizado la silicona para evitar la formación de llaves accidentales.

Existen resinas en forma de masillas que posibilitan la realización de una carcasa ligera y rígida, tanto de poliéster (CM2) como epoxídicas (Free form) pero el exceso de humedad o el lento proceso de curado, respectivamente, nos hizo decantarnos por el uso de la escayola, más limpia y controlable.

Por tanto, la facilidad de aplicación de la escayola, la posibilidad de realización de llaves y el control preciso de los tiempos de fraguado nos llevó a utilizar este material. Se ha utilizado una escayola de baja dureza, pero de calidad suficiente (Álamo-70).

El siguiente paso fue la fabricación de tres carcasas alrededor de la pieza, dejando libre la zona superior, donde posteriormente se construyó una cuarta carcasa para completar el armazón del molde

y que servirá de base rígida al conjunto (Fig. 6).

Se ha dotado a cada carcasa, una vez iniciado el fraguado, de llaves semicirculares y paralelepédicas, pincelando y aislando cada una con una solución de jabón negro. Este modo de proceder se ha llevado a cabo hasta completar la serie de tres piezas (Fig.7). Posteriormente, se ha añadido una cuarta carcasa, de base plana, que corona el conjunto. Una vez fraguadas todas, se han numerado y extraído, más tarde, con ayuda de una espátula.

El molde de silicona se ha seccionado con un bisturí por un lateral y se ha desmoldeado muy lentamente, dada la extraordinaria fragilidad de los bordes de “La Palmatoria”, formada por grandes cristales planos de calcita, imbricados entre sí. Se ha obtenido, así, un molde final de una sola pieza (Fig. 8) que se selló, posteriormente en laboratorio, con silicona ácida especial. Mediante este procedimiento se ha conseguido salvaguardar la morfología original con gran detalle y sin riesgo alguno para el espeleotema (Fig.9).



Figura 5. Aplicación de silicona tixotrópica de forma puntual y fluida mediante colada.



Figura 6. Detalle de la palmatoria recubierta de silicona e inicio de la base para la construcción de la carcasa.



Figura 7. Fabricación de las cuatro piezas de la carcasa de escayola y sus llaves correspondientes.



Figura 8. Extracción de las piezas de la carcasa y del molde de silicone.



Figura 9. Aspecto de la Palmatoria tras el trabajo de moldeo y desmoldeo.

2.3 Obtención del máster

Una vez en el laboratorio, con las carcasas completamente secas e impermeabilizadas con resina acrílica (Fluoline- A, diluída al 50 % en acetona) y aplicado el desmoldeante, (cera microcristalina en *white spirit*) se procedió a vaciar una escayola dental (escayola Exaduro) previamente sometida a vacío para extraer las pequeñas burbujas generadas durante el batido en el interior del molde (Fig. 10). Dicho molde nos ha servido, posteriormente, para enviar a la empresa de prototipado en 3D (fundición CAPA) y realizar las copias en bronce mediante el procedimiento de la cera perdida.



Figura 10. Máster de "La Palmatoria" en escayola de alta resistencia, realizado al mismo tamaño que el original.

2.4 Realización de réplicas en diversos materiales

Entre los materiales más adecuados para imitar el original están las siguientes resinas: poliuretano, epoxy y poliéster, Hildreth-Werker

(2006). Todos ellos deben incluir la pigmentación y las cargas necesarias para imitar al original.

La cantidad de resinas epoxídicas válidas (Epoxy glass, Epofer, Fetadit, válidas para llevar a cabo las copias es inmensa (solo DOW posee cerca de 100 tipos). Generalmente las que mejor comportamiento presentan a largo plazo son completamente transparentes, con protectores U.V., de curado lento y generalmente muy costosas. Entre los poliuretanos transparentes podemos destacar Crystal clear 200. Respecto al poliéster ocurre lo mismo, los poliéster preacelerados, de total transparencia, a falta de activador suelen dar muy buenos resultados (p. ejem. Cronolita)

En todos los casos, trabajar con estas resinas supone entrar en relación con productos químicos muy tóxicos (bisfenol A, isocianatos, estireno...) que exigen el uso de buena ventilación, mascarilla de gases, etc.

Para poder tener el molde a punto con estos materiales de alta fluidez, fue necesario sellar con silicona ácida y una pequeña gasa, el corte practicado en el molde durante su extracción. Se ha llevado a cabo un vaciado en epoxy de dos componentes (Fetadit 55/63 de Ferroca) cargado con polvo de mármol de baja granulometría y carbonato de cal ligero, así como blanco de zinc como pigmento (Fig. 11). Para el vaciado de la resina y dado el gran tamaño del molde así como su carácter exotérmico, fue necesario efectuar el vaciado en múltiples etapas.



Figura 11. Réplica de "La Palmatoria" realizada en resina epoxy, al mismo tamaño que el original.

Posteriormente, se ha realizado, con la colaboración de la empresa CAPA, el vaciado de piezas en bronce a escala 1:1. (fig 12) Se trata de una aleación de bronce silícico ($\text{Cu Si}_3 \text{Mn}$) de alta dureza, mediante el procedimiento de la cera perdida, para lo cual se ha realizado un molde en

silicona, sobre éste se ha obtenido una réplica en cera, a la que se ha aplicado, en primer lugar, un baño cerámico (Molochite) y posteriormente chamota (una mezcla de escayola y ladrillo pulverizado). La cera se funde, con recuperación, en autoclave y en su hueco se vacía el bronce a 1250 ° C. en un horno de inducción, con recubrimiento de grafito.



Figura 12. Réplica de “La Palmatoria” realizada en bronce, al mismo tamaño que el original.

2.5 Reproducciones a tamaño diferente del original

El proceso ha consistido en realizar una copia a una escala diferente de la original. En este caso se ha realizado un máster a $\frac{1}{4}$ del tamaño original, mediante un prototipado en 3D con un escáner 3DROMER Ra-733051 (3D Reshaper). Posteriormente, una vez obtenida la imagen tridimensional, se ha pasado a una impresora zprinter 650 que utiliza un material (Zp 151) al que se hace fraguar mediante un líquido, logrando una resolución de 87 micras. El vaciado posterior se ha realizado en bronce con el mismo proceso y características que las piezas a escala 1:1. (fig 13).



Figura 13. Réplica de “La Palmatoria” realizada en bronce a un cuarto de su tamaño.

3.CONCLUSIONES Y ALGUNAS REFLEXIONES FINALES A PARTIR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Las cuevas turísticas presentan numerosos elementos geológicos que forman parte del patrimonio inmueble de las mismas, de gran belleza y fragilidad. En ocasiones, algunos de estos elementos son representativos y emblemáticos de la cueva que los contiene, convirtiéndose en iconos o símbolos de la misma.

Muchos de estos elementos son muy vulnerables, debido a diferentes razones: su situación, a veces cercana a los caminos, la fragilidad intrínseca de algunos tipos de espeleotemas, la extraordinaria belleza o singularidad de los mismos y su potencial atracción, son algunas de ellas. Esta realidad obliga a considerar la existencia de un riesgo de deterioro, rotura o pérdida de estos elementos debido a actos vandálicos, por accidente u otras posibles causas.

La realización de moldes de alta calidad y réplicas de elementos geológicos singulares del patrimonio inmueble subterráneo es una medida sencilla, barata y eficaz, que complementa cualquier estrategia de conservación y protección integral de una cueva turística.

La combinación de las más modernas técnicas de moldeo y replicado, con la utilización de los mejores materiales disponibles, ha demostrado, en el caso de “La Palmatoria” de la Gruta de las Maravillas, que este tipo de actuaciones son aplicables a cualquier elemento geológico, con independencia de su complejidad y fragilidad, sin causar daño alguno al elemento a replicar ni a su entorno, siempre y cuando estas actividades estén perfectamente estudiadas, planificadas y realizadas por profesionales competentes, con la autorización, supervisión y control de los gestores de la cueva.

La elaboración de moldes de alta calidad y réplicas de diferentes materiales y a distintas escalas de elementos emblemáticos de una cavidad posee numerosas ventajas y aplicaciones. Además de la más importante, la posibilidad de reposición de una parte o la totalidad del elemento en caso necesario (por rotura o pérdida debida a vandalismo o accidente), existen múltiples usos posibles de las réplicas: conmemorativos, pedagógicos, comerciales, propagandísticos, entre otros.

El replicado de espeleotemas singulares en cuevas aún está poco desarrollado, al contrario que la restauración, con adhesión y reintegración de partes deterioradas, Hildreth-Werker (2006) por lo que esta actividad debería llevarse a cabo con mayor

frecuencia para la preservación de algunas piezas por los motivos antes expuestos

Falta investigación en este campo del moldeo y vaciado, con unas condiciones ambientales muy singulares y la cantidad enorme de materiales disponibles en el mercado.

La realización de piezas muy complejas como excéntricas o macarrones, con impresoras 3D, a partir de múltiples imágenes tomadas del original, permiten la preservación de las morfologías sin riesgos, aunque todavía la resolución final es muy

baja, comparada con los métodos de moldeo y vaciado tradicionales y expuestos aquí.

AGRADECIMIENTOS

A Manuel Durán, por su decidido apoyo y su ayuda sobre el terreno durante todo el proceso de elaboración del molde. Al personal de la Gruta de las Maravillas por la asistencia en la gruta. A la empresa fundición CAPA, por su colaboración en el replicado con diferentes materiales y a diferentes escalas.

REFERENCIAS

- Baeza, E. Las réplicas en Paleontología. Técnicas y materiales de moldeo y vaciado. **Tierra y Tecnología**, nº 11. pp. 7-13, 1995. Madrid.
- Baeza, E. El uso de copias y réplicas de objetos singulares. Su justificación en la actualidad. **Boletín de Productos de Conservación**, nº 46, pp. 2-3. Madrid, 2000.
- Baeza, E. y Llorente Bárcena, M. Patrimonio paleontológico de alto valor científico y exposiciones itinerantes: aplicación de técnicas y métodos de conservación al registro de grandes mamíferos plio-pliocenos (Fonelas P-1, Cuenca de Guadix-Baza, Granada). **XX Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología, Libro de resúmenes** pp. 25-26. Alcalá de Henares, 2004.
- Baeza, E. Lozano, R.P., de Frutos, M.C. y De la Fuente, M. Reproducción de una cavidad miarolítica del granito de La Cabrera (Madrid) en el Museo Geominero (Instituto Geológico y Minero de España). **Boletín Geológico y Minero**, vol. 117, nº 3, pp.457-465, 2006.
- Baeza, E., De Frutos Sanz, C., Gutiérrez-Marco, J.C. y Rábano, I. Realización de una gran réplica icnológica en las cuarcitas del Ordovícico Inferior del Parque Nacional de Cabañeros (Castilla-La Mancha): aspectos técnicos y aplicaciones. **XXIV Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología**, pp. 19-20, MUJA, Colunga, 2008.
- Chaney, S. Mold making with room temperature vulcanizing silicone rubber. In R.M. Feldman, R.E. Chapman, y J.T. Hannibal (Eds.), **Paleotechniques**, pp. 284-304. Knoxville, 1989.
- Fleischmann, M. Open-face mold making. **Curator**, vol. 22 (4), 1979. pp. 265-270,
- Hildreth-Werker V, Werker JC, editors. **Cave Conservation and Restoration**. Huntsville (AL): National Speleological Society 500+ p., 2006
- Pereira, C. Facsímiles de objetos de arte tridimensional, 1ª parte: moldeo. **Restauración & Rehabilitación**, 25, pp. 66-71., 1999 a.
- Pereira, C. Facsímiles de objetos de arte tridimensional, 2ª parte: vaciado. **Restauración & Rehabilitación**, 26, pp. 66-71, 1999 b.
- Smith, A. y Bruce, L. The Joy of casting. **Explorer**, 27(4):4-5, pp. 22-24. 1985.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Mar. 2015

Accepted/Aprovado em: Jun. 2015



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas

