

Colección  
Medio Ambiente

MONUMENTO NATURAL Cueva de Castañar



**JUNTA DE EXTREMADURA**  
Consejería de Medio Ambiente y Rural,  
Políticas Agrarias y Territorio



MONUMENTO NATURAL  
**Cueva de  
Castañar**

*Un laboratorio natural*

**JUNTA DE EXTREMADURA**



## MONUMENTO NATURAL Cueva de Castañar

*Un laboratorio natural*

Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio

#### COORDINADORES DE LA EDICIÓN:

Ana María Alonso Zarza  
Pedro Muñoz Barco  
Esperanza Martínez Flores

#### DISEÑO:

Antonio Grajera

#### MAQUETACIÓN:

Juan Carlos Conde

#### ILUSTRACIONES:

Andrea Martín, Ángel Fernández-Cortés,  
Antonio Grajera, Rebeca Martín,  
Soledad Cuezva, Sergio Sánchez.

#### FOTOGRAFÍAS:

Ana Blázquez, Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza,  
Ana Isabel Casado, Andrea Martín,  
Ángel Fernández-Cortés, Antonio Grajera,  
Atanasio Fernández, Cesáreo Saíz,  
Juan Carlos Conde, Miguel Ángel Romo,  
Pedro Muñoz, Rebeca Martín,  
Sergio Sánchez, Soledad Cuezva.

Depósito Legal: BA-0590-2015

I.S.B.N.: 978-84-8107-087-3

Imprime: UFRABALMA Servicios Gráficos



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural  
Europa invierte en las zonas rurales

JUNTA DE EXTREMADURA



# Presentación

**L**a Cueva de Castañar encierra un maravilloso mundo de formas y colores, que se han ido labrando a lo largo de los últimos millones de años y cuya formación responde a la singular geología de la Comarca de Las Villuercas. Si bien cualquier visitante es capaz de valorar la espectacularidad de las formaciones de espeleotemas de la cueva, los estudios llevados a cabo en los últimos diez años han puesto de manifiesto que ésta es una cavidad casi única en el mundo, de esta forma se ha podido conocer cómo se ha formado la cueva y sus espeleotemas, su funcionamiento, el impacto que ejercen las visitas, su microambiente y sus visitantes. Siguiendo las directrices de estos estudios se ha acondicionado para las visitas y se ha diseñado el itinerario y régimen de visitas para que éstas generen el mínimo impacto en la misma.

La singularidad de esta cavidad ha requerido una amplia labor de divulgación de las formaciones que encierra este laboratorio natural que es la Cueva de Castañar para dar a conocer y conservar sus valores científicos y naturales. El Centro de Interpretación y los paneles de la ruta del camino de entrada son una prueba de ello, además de numerosas publicaciones y reportajes, o de los numerosos artículos científicos.

Pero la cueva no se puede desligar de su entorno, Las Villuercas, comarca con extraordinarios valores naturales especialmente los geológicos que han permitido su reconocimiento internacional como Geoparque. No menos importante es su entorno más inmediato, la localidad cacereña de Castañar de Ibor, con especial mención al descubridor de la cueva y todos sus vecinos, orgullosos de su patrimonio natural.

Este libro recoge la información más significativa de la cueva y su entorno e intenta ser otra vía para dar a conocer esta joya geológica y hacerla accesible a todos los públicos.

**Begoña García Bernal**  
*Consejera de Medio Ambiente y Rural,  
Políticas Agrarias y Territorio*

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	8
	<i>Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza</i>	
<b>2</b>	<b>Descubrimiento de la cueva y gestión del Monumento Natural</b> .....	12
	<i>Pedro Muñoz Barco y Esperanza Martínez Flores</i>	
<b>3</b>	<b>La Comarca de Las Villuercas</b> .....	31
	<i>Pedro Muñoz Barco, Esperanza Martínez Flores, Miguel Á. Romo Bedate, Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza, Inma Gil Peña, Andrea Martín-Pérez, Rebeca Martín-García</i>	
	3.1. Rasgos naturales .....	30
	3.2. Geología. La singularidad del relieve apalachiano .....	45
<b>4</b>	<b>Geología de la cueva</b> .....	54
	<i>Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza, Andrea Martín-Pérez, Rebeca Martín-García, Pedro Muñoz Barco, Esperanza Martínez Flores e Inmaculada Gil</i>	
	4.1. Materiales sobre los que se forma la cueva .....	57
	4.2. Morfología y estructura de la cueva .....	61
<b>5</b>	<b>La cueva está viva y es un laboratorio natural</b> .....	72
	<i>Andrea Martín-Pérez, Rebeca Martín-García, Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza</i>	
	5.1. La formación de la cueva y sus espeleotemas .....	74
	5.2. Tipos y situación de los espeleotemas .....	77
	5.3. Minerales de los espeleotemas .....	88
	5.4. ¿Cómo se forman y transforman los minerales/espeleotemas? .....	95
	5.4.1. La secuencia de formación de los distintos minerales .....	95
	5.4.2. Transformaciones entre distintos minerales .....	98
	5.4.3. Los minerales también se ponen enfermos .....	100
	5.4.4. ¿Cuándo se formaron los espeleotemas? .....	103
	5.5. Las arcillas rojas .....	106
<b>6</b>	<b>Condiciones medioambientales y medidas de conservación</b> .....	108
	<i>Soledad Cueva, Ángel Fernández-Cortés, Rafael Abella, Miriam Álvarez-Gallego, Elena García Antón, Sergio Sánchez-Moral</i>	
	6.1. Condiciones medioambientales:	
	El laboratorio subterráneo de la Cueva de Castañar .....	111
	6.1.1. Condiciones climáticas en el entorno de Castañar de Ibor .....	115
	6.1.2. Condiciones climáticas en el interior de la cueva .....	117
	6.2. ¿Cómo conservar la cueva? .....	120
	6.2.1. Visitas turísticas controladas y ambientalmente sostenibles .....	121
	6.2.2. Control de la influencia de los visitantes en el microclima de la cueva .....	122
	6.3. Restricciones de accesibilidad a la cueva por la presencia de gas radón .....	124
<b>7</b>	<b>Biología de la cueva</b> .....	126
	<i>Valme Jurado, Estefanía Porca, Cesáreo Sáiz Jiménez</i>	
	7.1. Impacto de los visitantes .....	128
	7.2. Microbiología de la Cueva de Castañar .....	129
	7.2.1. Inicio del brote .....	129
	7.2.2. Los cuatro meses siguientes .....	132
	7.2.3. Control del brote fúngico .....	133
	7.2.4. Aerobiología de la cueva .....	134
	7.2.5. Consideraciones finales .....	136
<b>8</b>	<b>El centro de interpretación</b> .....	138
	<i>Pedro Muñoz Barco y Esperanza Martínez Flores</i>	
<b>9</b>	<b>Epílogo y algunas preguntas</b> .....	156
	<i>Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza, Rebeca Martín-García, Andrea Martín-Pérez</i>	
<b>10</b>	<b>Glosario</b> .....	170
<b>11</b>	<b>Bibliografía</b> .....	184

# Introducción

Las cuevas constituyen entornos geológicos únicos, cuyas características han hecho que muchas de ellas fuesen lugares habitables por el ser humano desde tiempos prehistóricos. Algunas de ellas contienen restos paleontológicos y arqueológicos que están permitiendo entender la evolución humana, como es el caso de las cuevas de la Sierra de Atapuerca. Otras, como la Cueva de Altamira son verdaderos santuarios artísticos y ya fuera de España, podemos también referirnos a la Cueva Dikteon, en Creta, en la que según la mitología nació Zeus. Además, en la mayor parte de los casos las cuevas son conocidas y estudiadas por las formaciones geológicas que contienen, los espeleotemas.

Estamos relativamente habituados a oír hablar e incluso muchas personas han visitado cuevas como la de Nerja (Málaga), Aracena (Huelva), el Drach (Islas Baleares) o algunas de las cuevas de Cantabria (El Soplao, Las Monedas), por mencionar algunas de las más conocidas por sus formaciones geológicas.

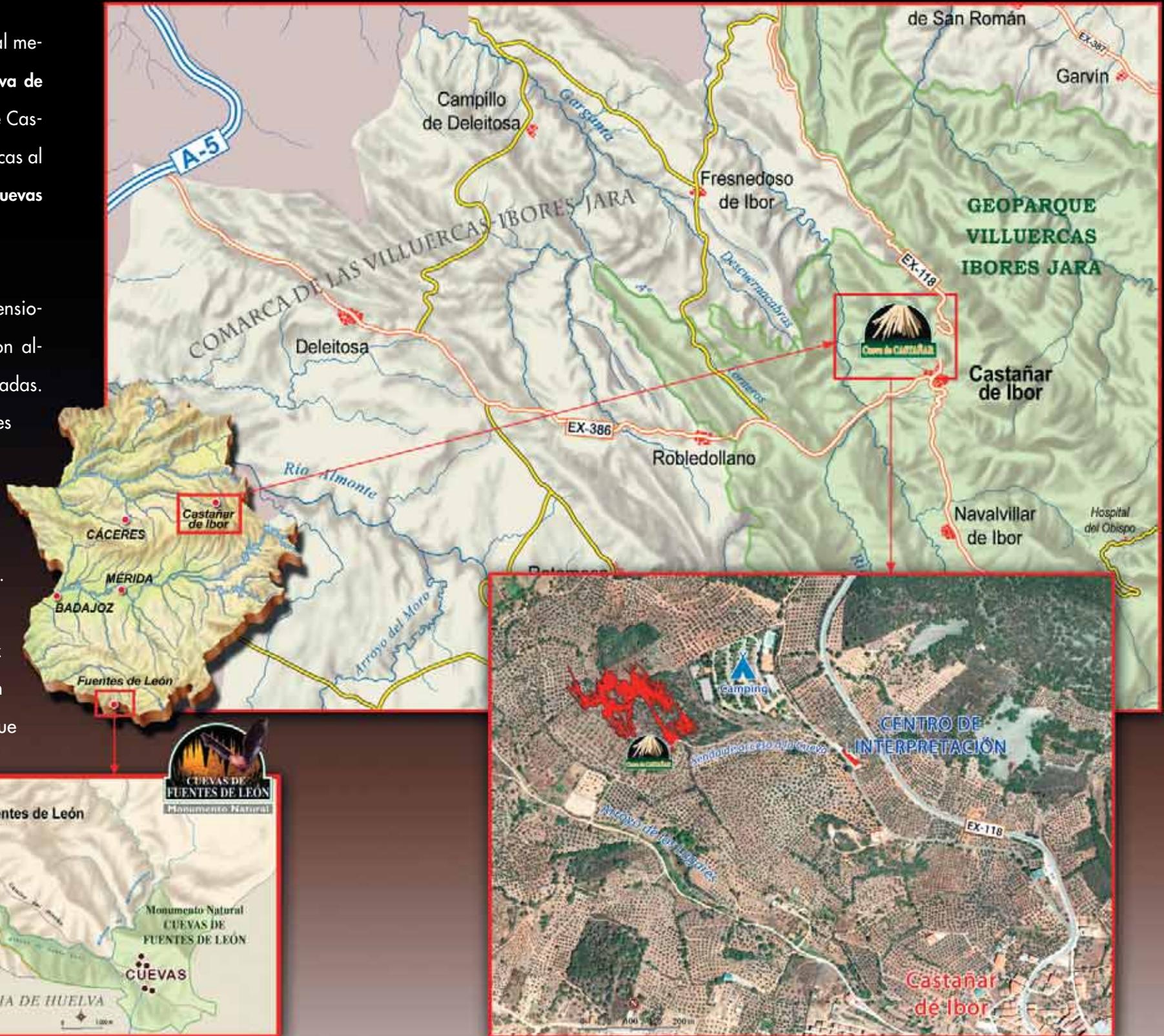
La mayor parte de las cuevas se sitúan en entornos geológicos constituidos esencialmente por materiales que se disuelven fácilmente en presencia de agua, como son las calizas, las dolomías o los yesos. Por ello la presencia de cuevas en Extremadura es bastante escasa y se puede considerar como excepcional, ya que en Extremadura dominan los materiales síliceos (granitos, pizarras, etc.), mucho menos solubles.



En nuestra región son bien conocidas, al menos dos cuevas con espeleotemas: la **Cueva de Castañar** que se localiza en el municipio de Castañar de Ibor, en la comarca de Las Villuercas al sureste de la provincia de Cáceres y las **Cuevas de Fuentes de León** en el sur de Badajoz.

En ambos casos las cuevas son de dimensiones relativamente escasas comparadas con algunas de las cuevas anteriormente nombradas. Esto se debe a que los materiales solubles (*calizas, dolomías y magnesitas*) forman paquetes relativamente poco potentes intercalados entre los no solubles, por tanto las dimensiones de las cuevas son menores.

Otro rasgo llamativo es la escasez de rasgos de disolución observables en superficie, lo que hacía difícil pensar que en el área de Castañar pudiese haber una cueva tan llamativa y explica que la Cueva de Castañar no se descubriese hasta finales del siglo pasado ■



# 2 Descubrimiento de la cueva y gestión del Monumento Natural

La cueva fue descubierta por casualidad en el 1967. El 14 de marzo de ese año, el agricultor y vecino del municipio de Castañar de Ibor, **Máximo Alonso Díaz**, estaba labrando su tierra cuando vio como de pronto las patas traseras de su mula se hundían en la tierra, quedando la mula sentada en el suelo, al mismo tiempo vio como salía por ese agujero un chorro de vapor de agua. Ni Máximo, ni sus vecinos se dieron cuenta entonces del significado de aquel hecho, que dejó al descubierto una cavidad con un impresionante y muy frágil universo de espeleotemas, de formas extremadamente finas y delicadas y colores claros que contrastan con los tonos rojizos y oscuros de las pizarras y arcillas que los rodean haciendo destacar aún más la belleza de las formaciones kársticas.

Un año después el Instituto Geológico y Minero de España hizo una visita al lugar sin descender a la cueva. Como resultado de la visita el ingeniero de minas, Juan Pérez Regodón, realizó un informe técnico con fecha 14 de febrero de 1968, en el que se describían los rasgos geológicos de la comarca, la geología local, la situación de la cueva y las medidas de seguridad para evitar todo peligro de accidente.

No hay muchos datos sobre el número de personas que pudieron acceder a la cueva en esos primeros años. El diario Hoy del 16 de octubre de 1986, cuenta que en ese año un grupo de jóvenes de Navalmo-



■ Primeros visitantes.

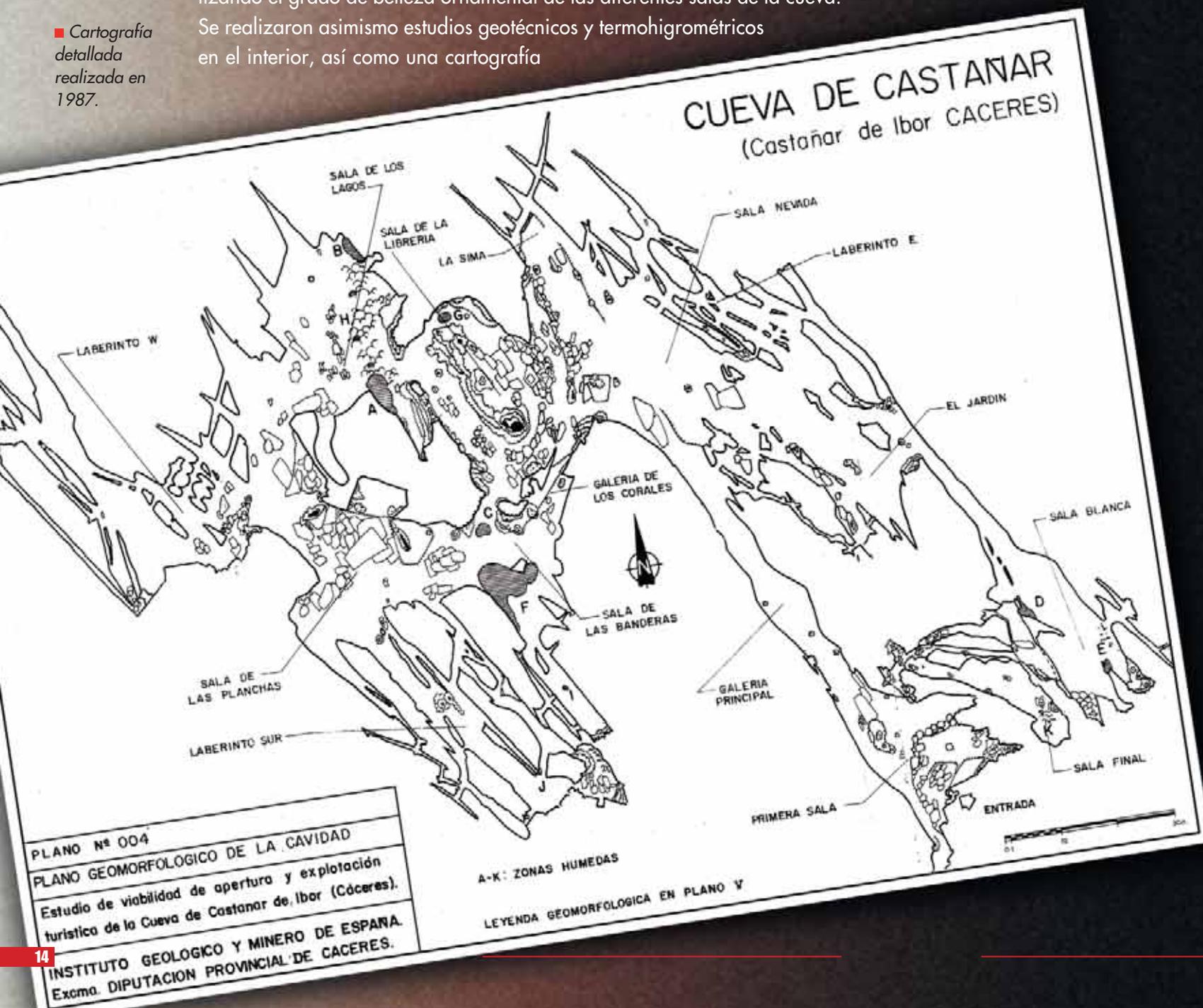
ral de la Mata y Castañar de Ibor decidieron adentrarse en la Cueva y salieron fascinados por el tipo de formaciones. Estos jóvenes solicitaron la ayuda de la Diputación de Cáceres para poder investigar la cueva con equipos adecuados.

■ Periódico Hoy dando a conocer al descubridor de la Cueva.



La Diputación de Cáceres con objeto de aprovechar turísticamente la cueva encargó, en el año 1987, un estudio de viabilidad de apertura y explotación turística de la Cueva de Castañar. Fue realizado por el Instituto Geológico y Minero de España con la colaboración de la empresa Estudios y Proyectos Técnicos e Industriales (EPTISA) constituyendo el primer estudio técnico sobre la cueva. Para ello se llevó a cabo una exploración completa de la cavidad, realizando el levantamiento topográfico de la misma y analizando el grado de belleza ornamental de las diferentes salas de la cueva. Se realizaron asimismo estudios geotécnicos y termohigrométricos en el interior, así como una cartografía

■ Cartografía detallada realizada en 1987.



geológica del entorno. Se propuso un recorrido visitable por el interior de la cueva y un estudio socioeconómico de la comarca.

En este estudio se realizó una cartografía detallada que dio nombre a las distintas salas de la cueva obteniendo los planos de la cavidad sobre los que se sigue trabajando actualmente.

En el marco del estudio de aprovechamiento turístico se analizaron los acondicionamientos necesarios tanto exteriores como interiores de la cueva para su apertura así como una valoración económica de estos. En este sentido llama la atención la solución que propone el estudio como óptima para dar acceso directo a la cueva consistente en la construcción de un túnel de unos 15 m de longitud con una pendiente del 20% por una cota inferior a la chimenea de entrada. El túnel diseñado tenía una dirección aproximada N150E, sección rectangular con 2 m de altura y 1,20 m de anchura, rematada por una bóveda de medio punto.

El proyecto no llegó a ejecutarse, pues el concurso para la contratación de las obras, publicado en el D.O.E. en el año 1989, quedó desierto al no presentarse ninguna empresa debido a las dificultades para la ejecución de las mismas.

La cueva permaneció cerrada con una simple reja y un candado que en contadas ocasiones fue forzado por algunos aventurados exploradores que quisieron adentrarse en ella.



■ Antiguas entradas a la Cueva (imágenes superior e inferiores).

En esta misma época se empieza a prohibir el vertido de alpechines a los ríos y como alternativa lasalmazaras utilizan huecos del terreno como antiguas canteras o minas abandonadas para verter dichos residuos. Por casualidad, en una visita del entonces Director General de Medio Ambiente y de algunos técnicos a Castañar de Ibor, el alcalde comentó la posibilidad de verter los alpechines de la almazara en el hueco de la cueva. Los técnicos que tenían conocimiento de los valores presentes en ella le advirtieron que



los vertidos supondrían la destrucción de la cueva, por lo que se descartó esa posibilidad.

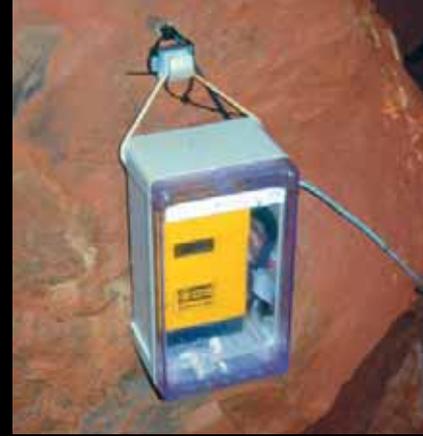
En 1997 la gestión de la cueva pasó a manos de la Junta de Extremadura, se cambió la reja existente por una puerta metálica mas segura para prevenir entradas clandestinas y se declaró como Espacio Natural Protegido con la figura de Monumento Natural según el Decreto 114/1997, de 23 de Septiembre.

Todo ello con objeto de preservar sus indudables valores geológicos y evitar el deterioro por entradas indiscriminadas. Un año después de su declaración entra a formar parte de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Extremadura actualmente denominada Red de Áreas Protegidas de Extremadura.



■ Primeros aparatos de medición instalados en la cueva.

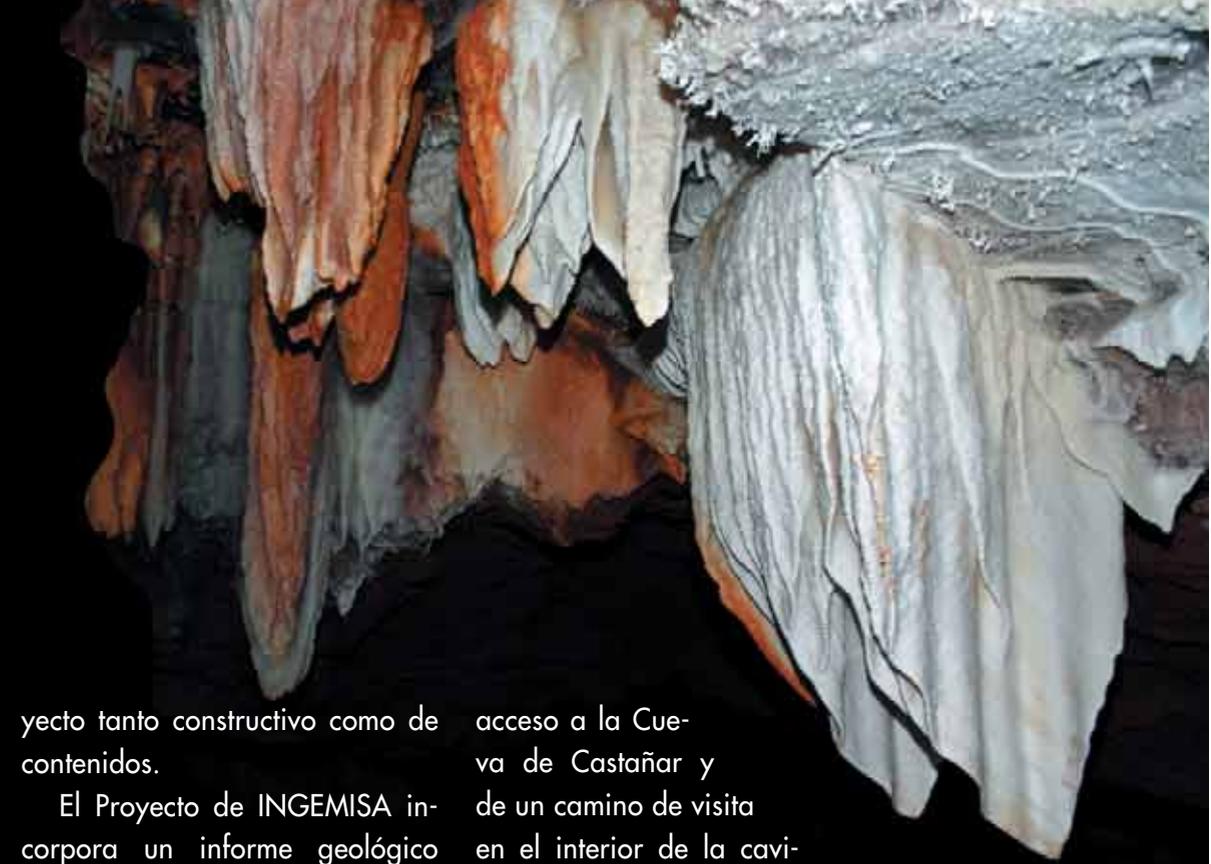
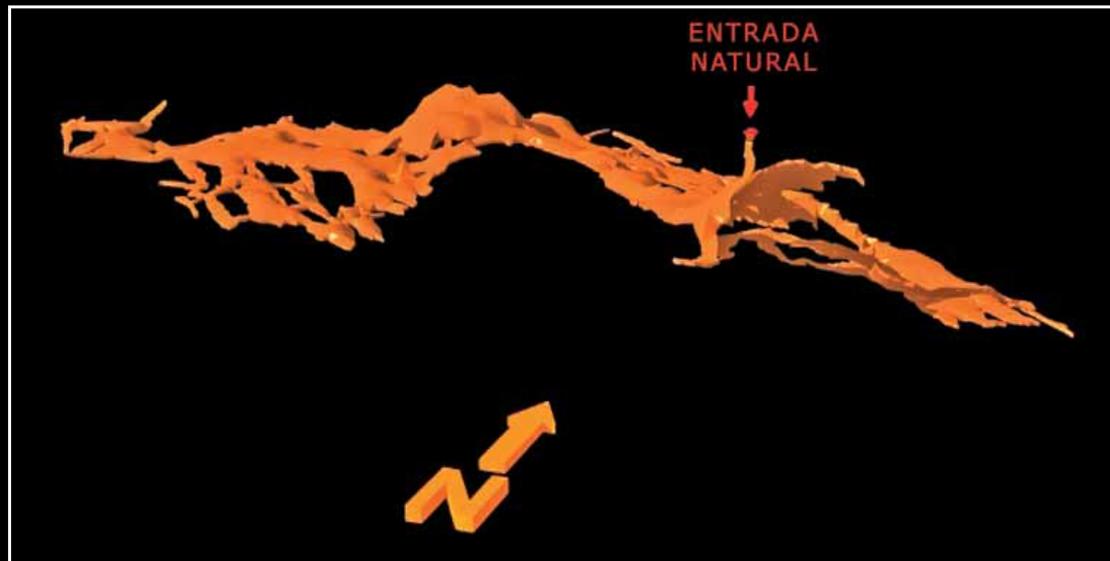
Ante la incertidumbre y el desconocimiento de las afecciones que podía suponer la apertura al público, se empiezan a hacer estudios sobre las condiciones ambientales de la cueva midiendo los parámetros básicos, temperatura y humedad, con la colaboración de espeleólogos de Málaga y Granada con amplia experiencia que culminan con el Proyecto de Protección Ambiental y Apertura al Uso Público de la Cueva de Castañar de Ibor que realiza la empresa INGEMISA en el año 1998. Dicho proyecto tampoco llegó a ejecutarse e incluía una memoria técnica, un proyecto de obra civil, un inventario de



espeleotemas y un modelo tridimensional de la cueva.

La memoria técnica es muy amplia, abarca aspectos muy diversos de la cueva, como análisis de muestras de agua tomadas en la cueva, análisis de las arcillas presentes en las paredes, la descripción y valoración de las obras necesarias para la canalización del desagüe del camping hasta el arroyo Lagares, se incorpora la conveniencia de construir un centro de interpretación indicando los aspectos a incluir en el pro-

■ Imagen tridimensional de la Cueva obtenida en el estudio realizado por INGEMISA.



yecto tanto constructivo como de contenidos.

El Proyecto de INGEMISA incorpora un informe geológico completo de la Cueva de Castañar que analiza aspectos geológicos generales, tectónica, hidrogeología, génesis y evolución de la cueva y un estudio geotécnico.

acceso a la Cueva de Castañar y de un camino de visita en el interior de la cavidad tomando como referencia la propuesta realizada en el Estudio de viabilidad de apertura y explotación turística de la Cueva de Castañar llevado a cabo por el

■ Equipo de geólogos realizando trabajos de campo.

Se incluyen consideraciones sobre la iluminación en el interior de la cavidad y se evalúan las posibilidades de su apertura turística destacando como sistema más factible la ejecución de una galería o túnel que comunicara el exterior con la cueva.

El proyecto de obra civil tenía por objeto definir los distintos elementos de las obras necesarias para la ejecución de un túnel de





■ Centro de Interpretación de la Cueva de Castañar.

IGME a solicitud de la Diputación de Cáceres.

Posteriormente, en el año 1999, la Junta de Extremadura promovió la construcción de un centro de interpretación junto al camino que conduce al camping y del que parte el acceso peatonal hacia la entrada de la cueva. El contenido del centro comprendía información sobre la comarca, una reproducción del interior de una cueva y una sala sobre el karst en general. Con los datos

■ Pasillo de entrada acondicionado y señalizado con indicadores reflectantes.



existentes hasta este momento procedentes de los estudios y proyectos realizados anteriormente, la Junta de Extremadura promovió la realización de nuevos estudios destinados a conocer principalmente la viabilidad de la apertura al público del declarado Monumento Natural "Cueva de Castañar" centrandose el análisis en la posible afección a las formaciones presentes en la cueva por la entrada de visitantes.

Entre las anualidades 2001 y 2002 se ejecutaron las obras de protección de acceso y de adecuación interior de la Cueva de Castañar. Para ello se adoptaron las medidas preventivas y protectoras necesarias para evitar cual-

quier afección sobre las formaciones de la cueva.

Los trabajos se realizaron de forma manual y consistieron exclusivamente en ampliar unos centímetros la sima de entrada a la cavidad que permitiera instalar una escalera metálica así como retirada de material suelto presente en la galería de entrada con el objeto de alcanzar una altura que facilitase el acceso más o menos erguido a los visitantes.

Las obras de protección consistieron en la construcción de una caseta y la instalación de una compuerta en el hueco de acceso destinadas a garantizar la seguridad de la cueva, evitar las entradas indiscriminadas, facilitar la preparación de las visitas y aislar la cavidad del exterior. Una vez acondicionada la entrada, y de forma continuada desde 2003, se establecieron distintos convenios de investigación con objeto de caracterizar las condiciones medioambientales de la cueva y los procesos de formación y transformación de sus espeleotemas. Se iniciaron las entradas controladas llegando a registrar un total de 1.508 visitantes durante el año 2003.



■ Caseta de entrada a la cueva.



■ Escalera de entrada a la cueva.



■ Monitorización de la cueva.

En el periodo comprendido entre el año 2003 hasta el 2005 se firmaron sendos convenios entre la Junta de Extremadura, la Universidad Complutense de Madrid y el Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) dirigidos por los científicos Ana María Alonso Zarza y Sergio Sánchez Moral respectivamente. En el marco de los convenios se procedió a la monitorización de la cueva con instalación de sensores de temperatura, de humedad, de radón, de CO<sub>2</sub>, etc. Se realizaron análisis de aguas así como el estudio de rocas, espeleotemas, arcillas, etc.

Como resultado de los estudios se determinaron los procesos de formación y transformación de los espeleotemas y se establecieron medidas para la realización de visitas destinadas a mantener el equilibrio físico químico de la cueva y a evitar daños sobre los espeleotemas.

Los convenios de investigación se renuevan de forma continuada hasta 2010, y además el estudio forma parte de distintos proyectos sucesivos de Investigación del Plan Nacional (MINECO, MICINN), vigentes hasta la actualidad.

El resultado de estos proyectos se divulga en numerosas publicaciones científicas y ha dado lugar a la realización de varias Tesis Doctorales.

Un incidente fortuito en el interior de la cueva en el año 2008 provocó una gran dispersión y colonización por hongos procedente de un vómito de un visitante por lo que se procedió a cerrar la cueva a la entrada de visitas controladas siguiendo las recomendaciones de los estudios científicos.

■ Estudios geológicos en la cueva.

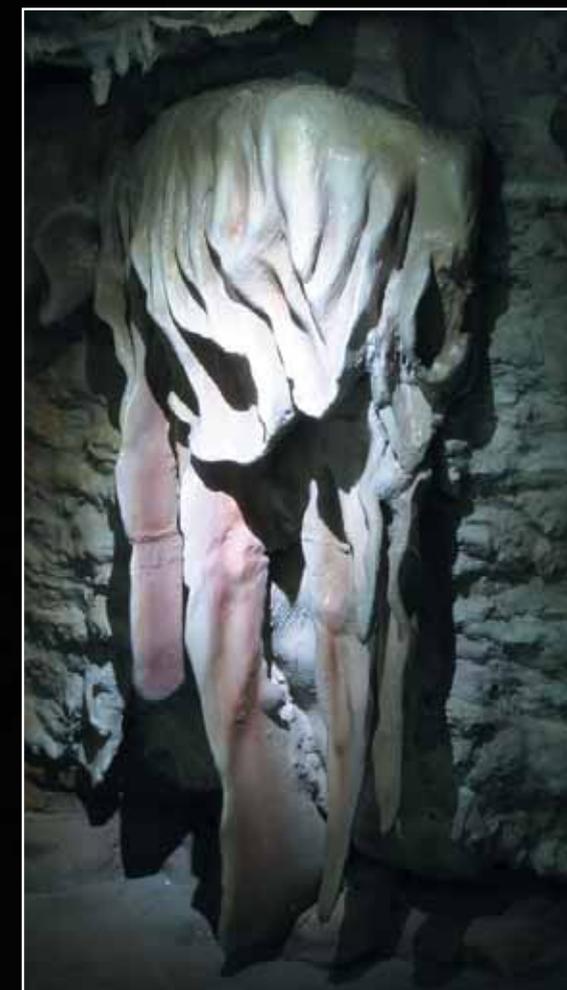




Con el objeto de divulgar los valores ambientales del Monumento Natural, y de forma simultánea con la realización de estudios técnicos y científicos sobre la cavidad, durante el año 2010 se ejecuta el proyecto Recreación Virtual de la Cueva de Castañar.

Se procede a la remodelación del centro de interpretación incorporando nuevos contenidos sobre la comarca y datos científicos (geología y microambiente) de la cueva obtenidos de la realización de los convenios.

■ *Recreación de la cueva en una de las salas del centro de interpretación.*



Se incluye una sala con una recreación de parte de la cueva. La visita al centro culmina con la emisión de un audiovisual en tres dimensiones del interior de la cueva que sumerge al visitante en el fascinante mundo de los espeleotemas.



■ Centro de Interpretación tras las obras de remodelación.

Como complemento al centro de interpretación en el camino de acceso a la caseta de entrada a la cueva, en el año 2013, se instalaron paneles interpretativos sobre la geología de la zona y la formación de la cueva.

En 2014 se reabre la cueva visitándola un total de 440 personas. En ese mismo año la Junta de Extremadura pone en marcha un nuevo convenio de investigación con el CSIC, para llevar a cabo el seguimiento ambiental y continuar el estudio geológico y divulgar, a través de este libro los valores del Monumento Natural "Cueva de Castañar".

Los trabajos de seguimiento y control medioambiental están dirigidos por Sergio Sánchez-Moral (MNCN), el estudio geológico por Ana M<sup>o</sup> Alonso Zarza (UCM-IGEO) y Cesáreo Sáiz Jiménez (IRNASE) se encarga del estudio microbiológico.



# La comarca de Las Villuercas

■ Fotografía desde el Risco de la Villuerca desde donde se observan las crestas y valles que siguen la orientación de los pliegues principales configurando el relieve apalachiano.

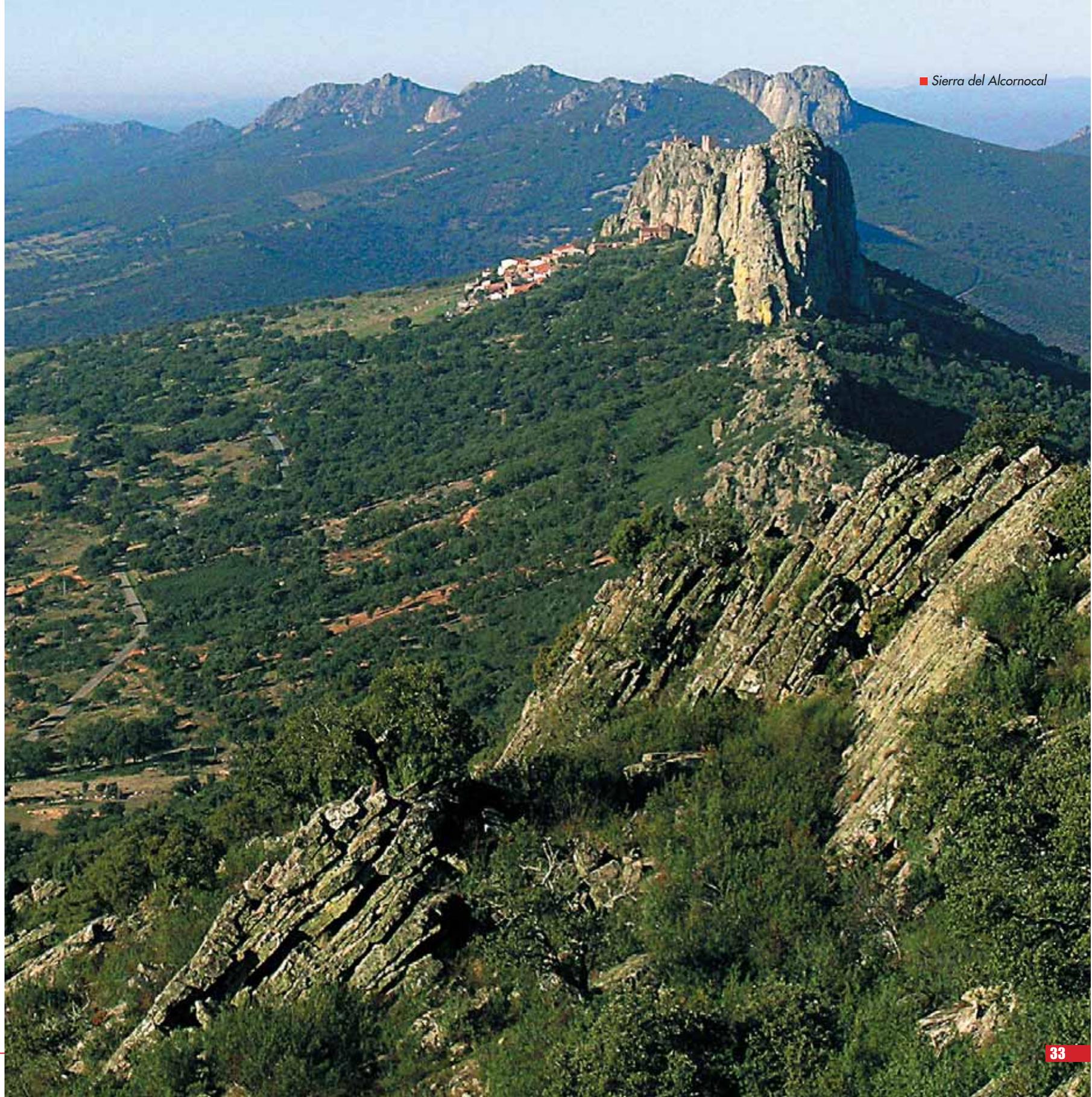
### 3.1. Rasgos naturales

La comarca de Las Villuercas tiene entidad geológica propia, por ello, no se tienen en cuenta en este caso las divisiones administrativas que engloban tres subdivisiones territoriales: La Jara cacereña al noroeste, Los Ibores al norte y también las Villuercas en la parte suroeste y central.

Se trata de una comarca con un microclima bastante lluvioso con respecto a la media autonómica, de unos 750 mm al año, prácticamente concentrada en invierno. La temperatura media anual es de unos 16°C y la oscilación termal anual es de 20°C.

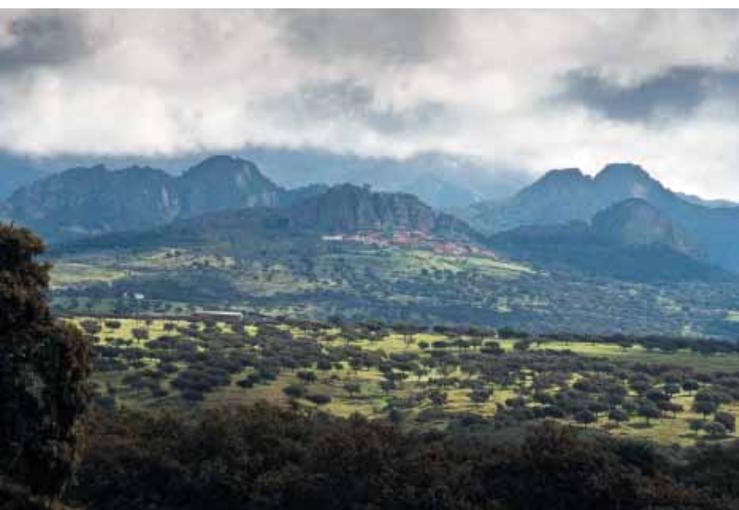
Las Villuercas presentan un relieve muy accidentado conocido como “relieve apalachiano” caracterizado por una sucesión alterna y casi paralela de crestas y valles en dirección noroeste-sureste. Destaca la presencia de la Sierra de La Villuerca con el Risco de La Villuerca, el de mayor altitud con 1.601 m y que marca la divisoria entre la cuenca hidrográfica del Tajo y la del Guadiana. Otras son la Sierra del Viejas, Sierra de la Palomera, Sierra del Hospital del Obispo, Sierra de La Ortijuela o la Sierra del Alcornocal.

Los resaltes de las sierras coinciden con los afloramientos de las cuarcitas formando elevadas crestas de gran dureza y resistencia. En los valles se encuentran los



materiales menos resistentes a la erosión coincidiendo con las pizarras. Completan el paisaje rañas, pedreras y preturas. Esta configuración del paisaje es la respuesta a los materiales y a la estructura geológica de la zona que interactúa con otros valores ambientales como la vegetación, los ríos, la fauna, los usos del suelo (especialmente agrícolas y forestales) y los asentamientos urbanos. Aunque destacan los resaltes en el paisaje, los valles constituyen paisajes de gran calidad y fragilidad ambiental por su buen estado de conservación y el alto valor biológico como son los valles del Guadarranque, del Ibor y del Viejas, este último en perfecto equilibrio con las actividades socioeconómicas de los municipios a los que pertenecen.

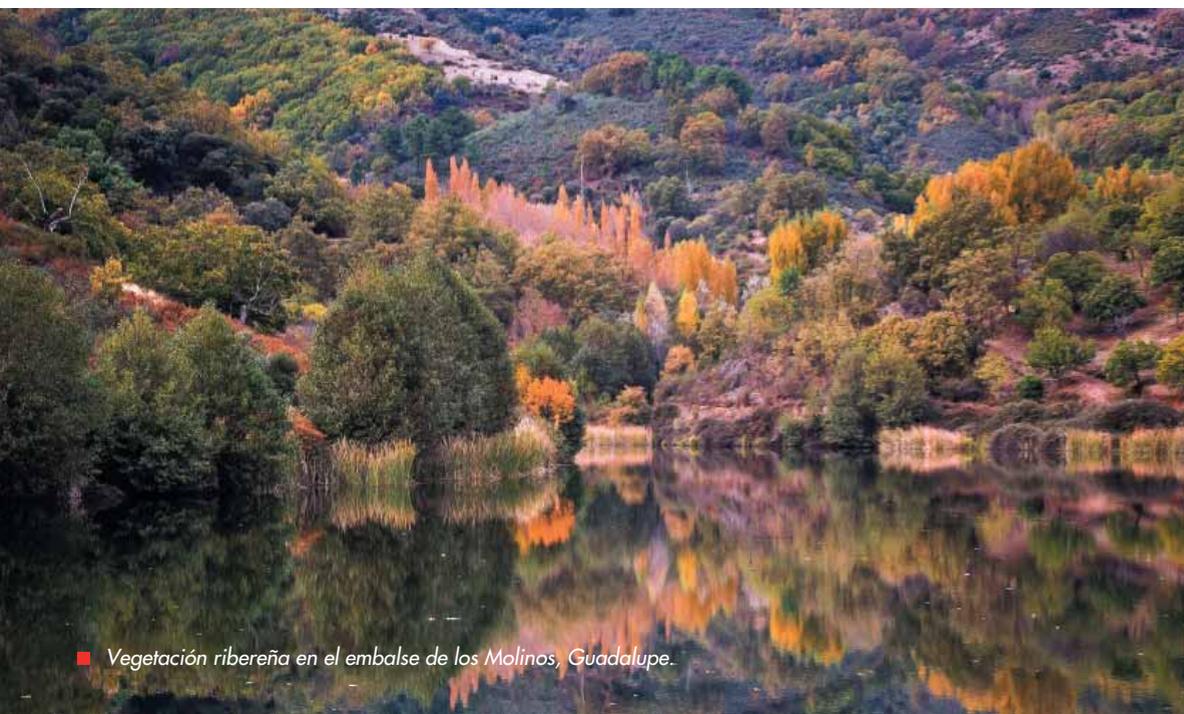
■ Panorámica del pueblo de Cabañas del Castillo



Si por algo destaca Villuercas, además de por su paisaje, es por la calidad de sus masas forestales. Extensos bosques bien conservados de robles, castaños, alcornoques, encinas, quejigos, enebros y pinos, aportan una diversidad de ambientes que multiplica las especies de flora y fauna, además de generar una gran riqueza micológica.

Algunas zonas mantienen un mar impenetrable de jaras y brezos. Las profundas y frescas gargantas albergan importantes bosques de alisos que forman los denominados "bosques de galería", donde se refugian algunas especies mas escasas entre las que destacan: el loro o laurel de Portugal (*Prunus lusitanica*), pequeño árbol relicto de épocas pasadas; arraclanes, avellanos, acebos, saúcos, endrinos; acompañados por fresnos, álamos negros, sauces, durillos, helechos reales, cárices, majuelos, ruscos, mardreselvas, etc.

Sobre las cumbres aparecen magníficos enebrales con encinas, clavelinas, cornicabras, dedaleras, almeces, helechos, etc. En las laderas y pedrizas son comunes los arces de Montpellier y los tupidos madroñales. Andando por Villuercas descubriremos peonías, orquídeas, narcisos, pequeños trampales con plantas insectívoras y una gran diversidad de helechos, líquenes y musgos. La comarca cuenta con varios árboles singulares entre los que se encuentran castaños y robles centenarios.



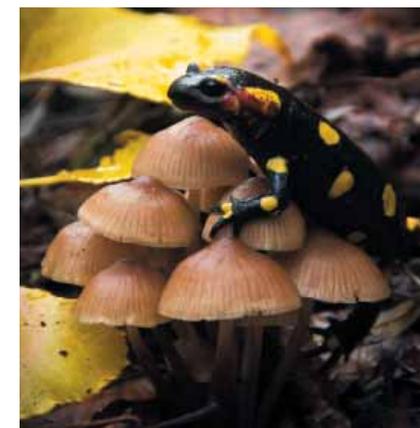
■ Vegetación ribereña en el embalse de los Molinos, Guadalupe.



■ Floración de Narcisos en el sotobosque del robledal.

■ Peonía.

Los magníficos y variados bosques de Villuercas albergan una importante población de aves forestales, entre las que destacan: buitre negro, halcón abejero, alcotán, azor, gavián, águila culebrera, aguillita calzada, ratonero, búho chico y cárabo, picogordo, oropéndola, tórtola común, alcaudones, zarceros, palomas torcaces y multitud de pequeñas aves. Destaca también por su diversidad de anfibios y reptiles, entre los que destacan la salamandra, diversos tritones, eslizones y la cada vez más amenazada, víbora hociuda.



■ Salamandra.

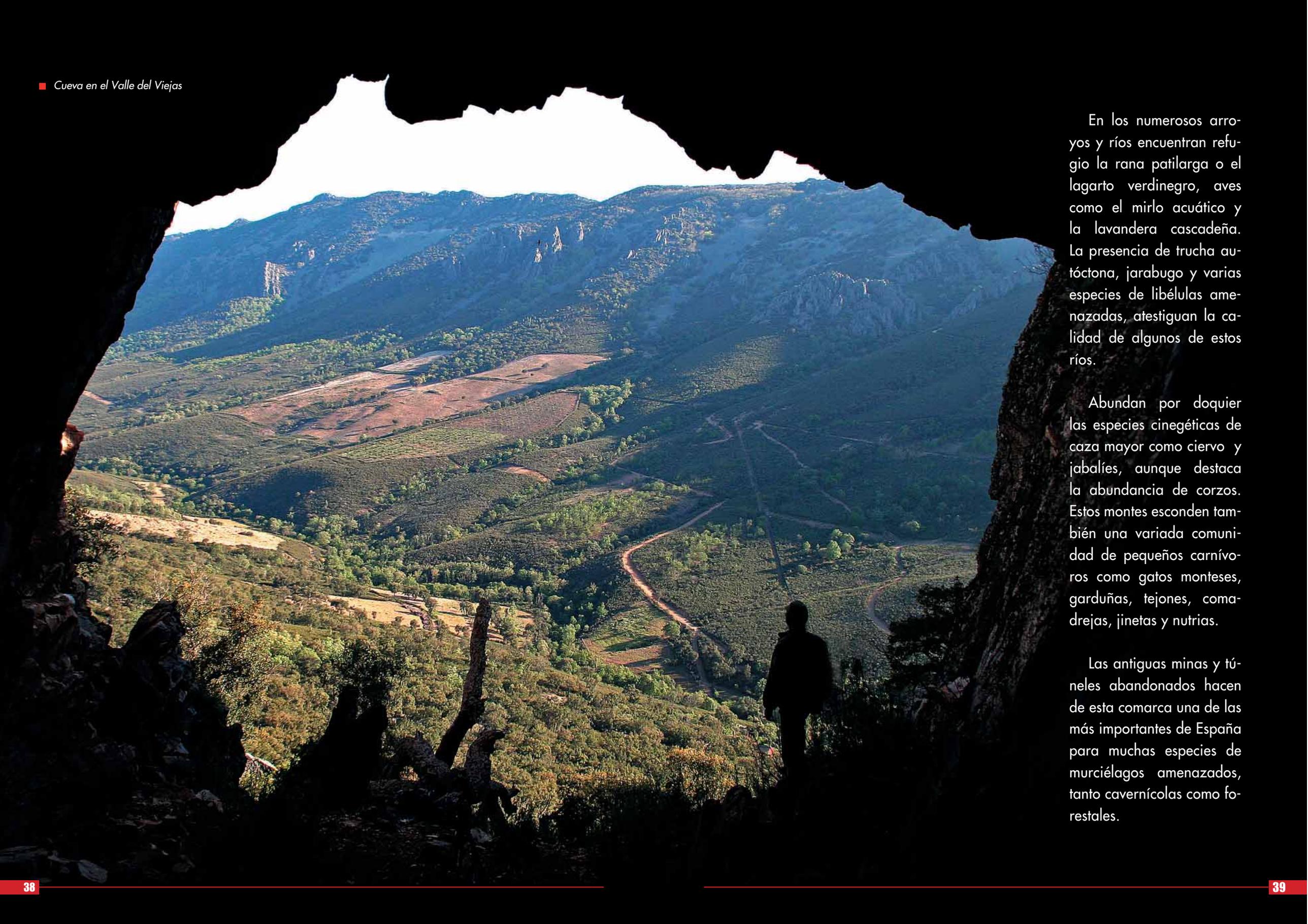
■ Rana patilarga. Endemismo ibérico vinculado a las alisedas ribereñas.

■ Águila perdicera.



Los numerosos roquedos y cantiles serranos albergan nutridas poblaciones de aves rupícolas como el buitre leonado, águila perdicera, halcón peregrino, alimoche, águila real, búho real, chova piquirroja, collalba negra, roquero solitario, vencejo real, escribano montesino, etc.





En los numerosos arroyos y ríos encuentran refugio la rana patilarga o el lagarto verdinegro, aves como el mirlo acuático y la lavandera cascadeña. La presencia de trucha autóctona, jarabugo y varias especies de libélulas amenazadas, atestiguan la calidad de algunos de estos ríos.

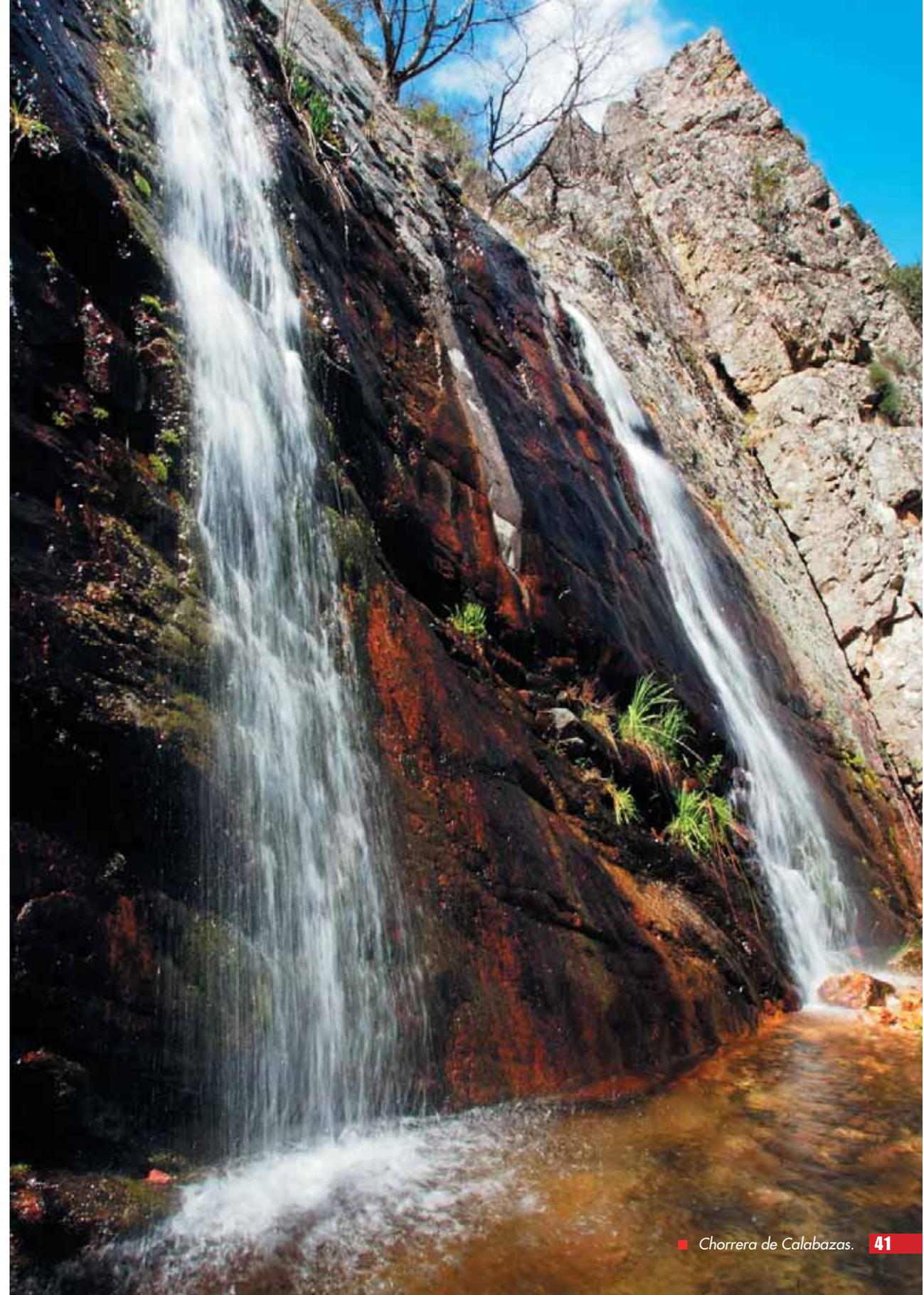
Abundan por doquier las especies cinegéticas de caza mayor como ciervo y jabalíes, aunque destaca la abundancia de corzos. Estos montes esconden también una variada comunidad de pequeños carnívoros como gatos monteses, garduñas, tejones, comadrejas, jinetas y nutrias.

Las antiguas minas y túneles abandonados hacen de esta comarca una de las más importantes de España para muchas especies de murciélagos amenazados, tanto cavernícolas como forestales.

La exuberante naturaleza que envuelve la comarca de Las Villuercas es una de las mejor conservadas de la región gracias en parte, a su abrupto relieve y profundos valles, que permitió que se conservara hasta nuestros días una forma de vida tradicional basada en el aprovechamiento de los recursos naturales mediante métodos ancestrales y respetuosos con el entorno. Una particular agricultura de montaña unida a una economía familiar de autoabastecimiento, permitía subsistir humilde pero dignamente a muchas familias. El modelo de explotación era principalmente familiar e incluía ganados (cerdos, vacas, cabras, ovejas, gallinas, bestias, etc.) así como pequeñas huertas y cultivos de olivar, higueras, nogales, castaños, almendros, cerezos, perales, etc. Todas las tareas agrícolas, ganaderas y domésticas estaban sincronizadas con las distintas estaciones. Otros recursos muy importantes eran la caza, la pesca de especies autóctonas mediante singulares técnicas y todos los productos que proporcionaba el monte como el corcho, la leña, las bellotas, las setas, los espárragos y numerosas plantas silvestres comestibles y medicinales que originaron una particular cultura etnobotánica.

Es destacable que en la Sierra de las Villuercas se encuentra la divisoria entre las cuencas del Tajo y la del Guadiana y en ellas nacieron numerosos ríos que vierten tanto a la cuenca del Guadiana (Ruecas, Cubilar, Guadalupejo, Guadarranque, Silvadillo), como a la del Tajo (Almonte, Santa Lucía, Viejas, Ibor, Gualija, Berzocana y Garganta de Descuernacabras), siendo mucho mayor la superficie y número de

■ Huertas tradicionales en el Valle del Viejas



cauces que se dirigen al Tajo que al Guadiana. Las aguas subterráneas son escasas ya que se asocian a zonas de fracturación y a las ocasionales capas de materiales calcáreos.

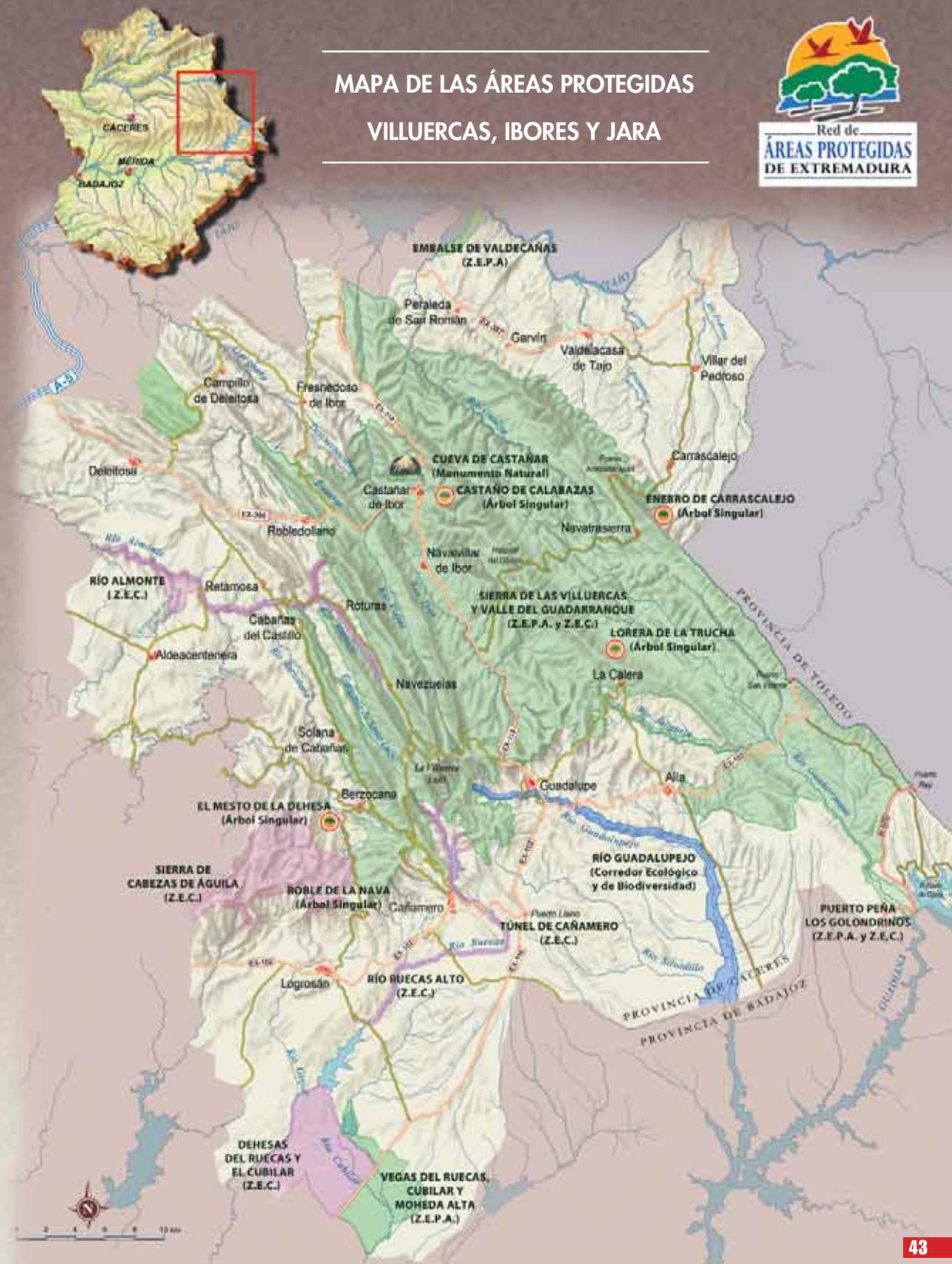
La calidad y fragilidad de los valores ambientales presentes en la comarca de Las Villuercas han determinado que se declaren distintas figuras de protección para garantizar la conservación de los mismos, todas ellas integrando la Red de Áreas Protegidas de Extremadura. El primer espacio natural declarado fue el Monumento Natural "Cueva de Castañar" iniciando una larga lista de espacios reconocidos por sus valores ambientales. La Cueva destaca sobre el resto por la gran fragilidad y belleza de las formaciones presentes.

Forman parte de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Extremadura el Corredor Ecológico y de Biodiversidad "Río Guadalupejo" y los Árboles Singulares "Castaños de Calabazas" en Castañar de Ibor, "Lorera de la Trucha" en Alía, "Roble de la Nava" en Berzocana, "Enebro de Carrascalejo" y "Mesto de la Dehesa de Berzocana". Atendiendo a sus valores naturales, presencia de aves y habitats, se incluyen en la Red Natura 2000 los "Riveros del Almonte" y las "Sierras de las Villuercas y Valle del Guadarranque" como Zonas de Especial Importancia para las Aves (ZEPAS) y el "Río Almonte", "Río Rucas Alto", "Río Guadalupejo", "Sierra de Cabezas de Águila" y "Sierra de las Villuercas y Valle del Guadarranque" como Lugares de Importancia Comunitaria (LIC).

■ Mosaico de robles, castaños, pinos y encinas en el paraje "Los Hoyicios" en Guadalupe.

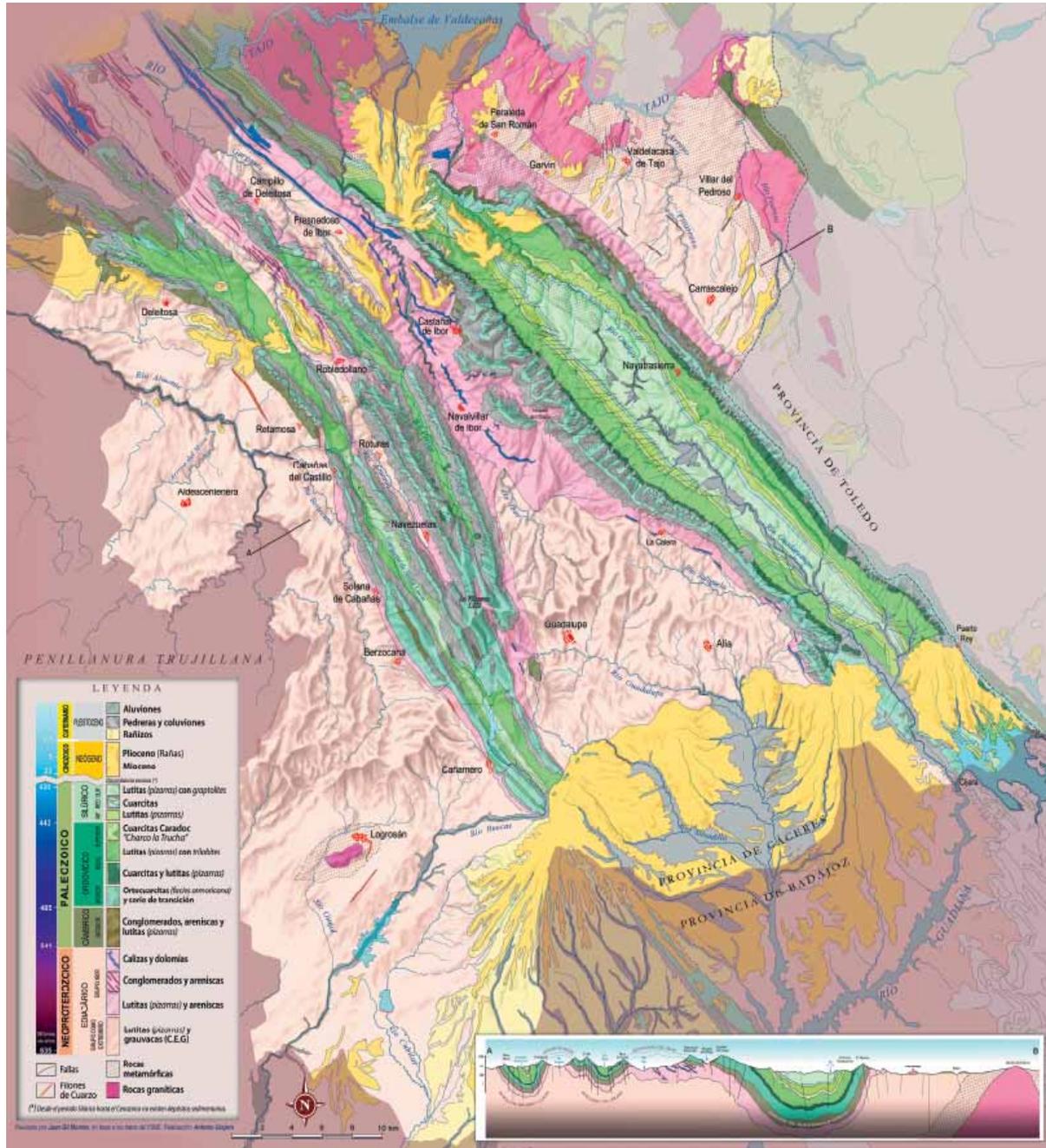


## MAPA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS VILLUERCAS, IBORES Y JARA



■ Mapa geológico del Geoparque Villuercas Ibores Jara.

Finalmente y como distinción al valioso patrimonio geológico, la UNESCO otorgó, en el año 2011, la categoría de Geoparque a toda la comarca Villuercas-Ibores-Jara que aparte del reconocimiento a la conservación de los valores geológicos se considera un motor de desarrollo local y de promoción turística.



## 3.2. Geología.

### La singularidad del Relieve Apalachiano

Desde el punto de vista geológico la comarca de Las Villuercas se localiza en el Macizo Ibérico, en concreto, en el sector Suroccidental de la Zona Centroibérica.



■ Mapa de la Península Ibérica mostrando las distintas zonas del Macizo Ibérico y la situación de la Cueva de Castañar en la Zona Centroibérica.

Los materiales geológicos que constituyen la comarca de Las Villuercas, son relativamente variados en cuanto a su composición y en general por sus edades se pueden agrupar en:

■ A) En las proximidades de Navalvillar se observa una alternancia de pizarras (capas más compactas y laminadas de la parte inferior), que alternan con dolomías/magnesitas (capa gris y roja superior).

■ B) Carretera de Robledollano. Las capas más masivas y grises de la parte inferior son magnesitas. Las más laminadas de la parte superior son pizarras y areniscas.

### **A: Materiales muy antiguos de más de 400 millones de años. Dentro de ellos se distinguen:**

1. Pizarras, areniscas y grauvacas bien estratificadas y de colores oscuros. Son los materiales más antiguos de la zona, se depositaron durante el Precámbrico (Neoproterozoico), es decir hace más de 541 millones de años. Son rocas detríticas constituidas por fragmentos de otras rocas y que se depositaron en zonas marinas.
2. Dolomías y magnesitas intercaladas con las pizarras, areniscas y grauvacas, que hemos descrito antes. Las dolomías y magnesitas son rocas formadas por carbonato cálcico y/o magnésico. Se depositaron inicialmente como calizas (carbonato cálcico) en ambientes marinos en los que vivían distintos tipos de organismos, que ya eran capaces de construir un armazón rígido de carbonato, como actualmente lo hacen por ejemplo las almejas o los corales.



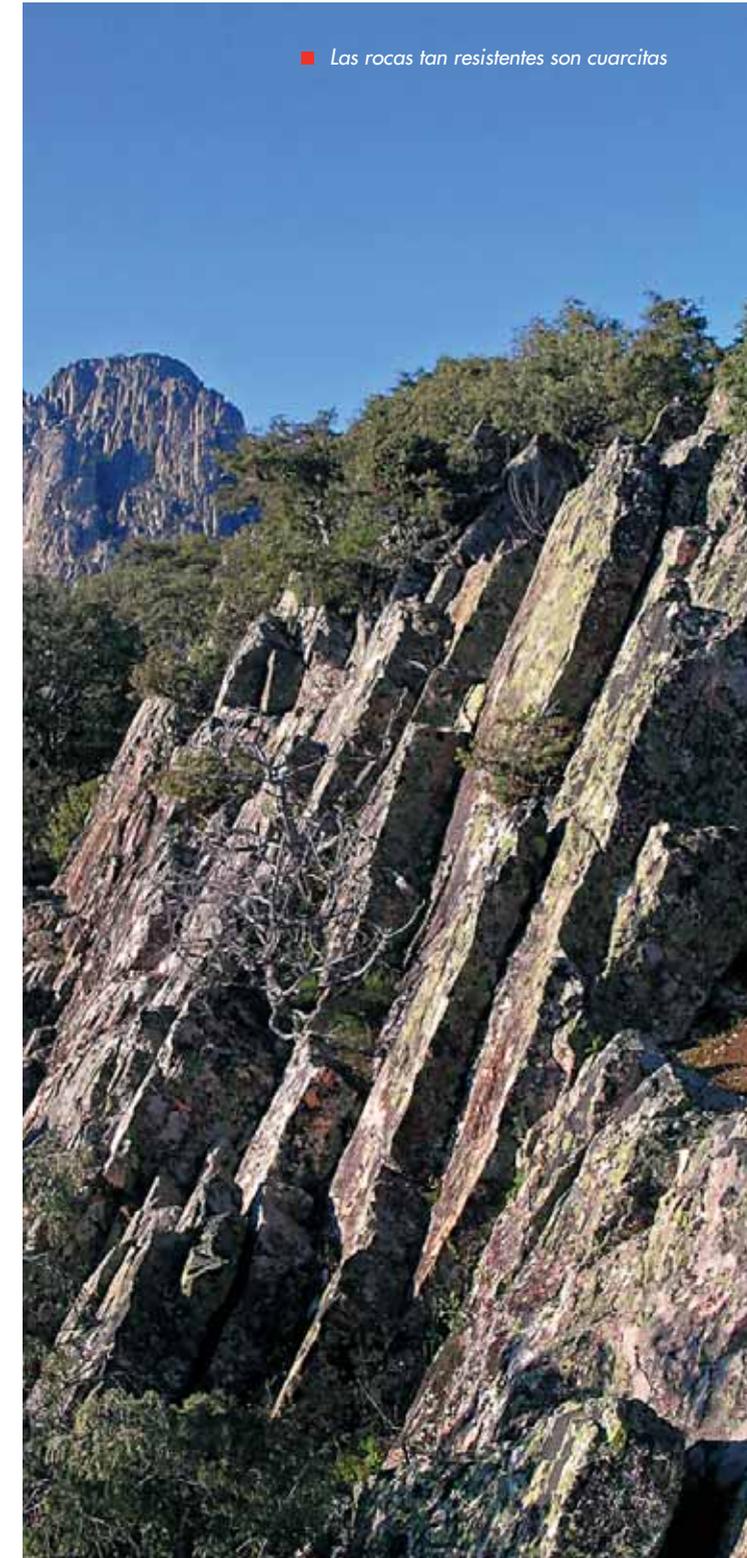
Es importante señalar que en esta zona se han encontrado los primeros organismos de este tipo de la Península Ibérica, que se llaman Cloudinas, lo que indica que las calizas se depositaron durante el Ediacárico (635 a 541 millones de años). Aunque posteriormente las calizas se transformaron en dolomías y magnesitas.

Estas rocas se pueden disolver en el agua y por ello son favorables para la formación de cuevas, de hecho es la disolución de estas rocas la que da lugar a la formación de la Cueva de Castañar.

3. Por encima de estas rocas y discordantes con ellas se depositó también en ambiente marino una sucesión de areniscas y lutitas, que con el tiempo fueron enterrándose para transformarse en cuarcitas y pizarras. Estos materiales tienen edades comprendidas entre 485 y 419 millones de años (Ordovícico-Silúrico). Las cuarcitas corresponden a una formación denominada Cuarcita Armoricana, son rocas muy duras y resistentes y están constituidas casi exclusivamente por granos de cuarzo que debido al enterramiento y a la presión que han sufrido se han soldado entre ellos para dar lugar a estas rocas tan duras que forman los resaltes o crestones que destacan en el paisaje.

Todos los materiales descritos están plegados y fracturados, debido a los esfuerzos tectónicos que sufrieron durante lo que se conoce como orogénias Caledónica y Varisca, que hicieron que distintas placas tectónicas chocaran produciendo así el levantamiento de las distintas sierras que constituyen hoy en día la Comarca de Las Villuercas-Ibores. Las sierras están

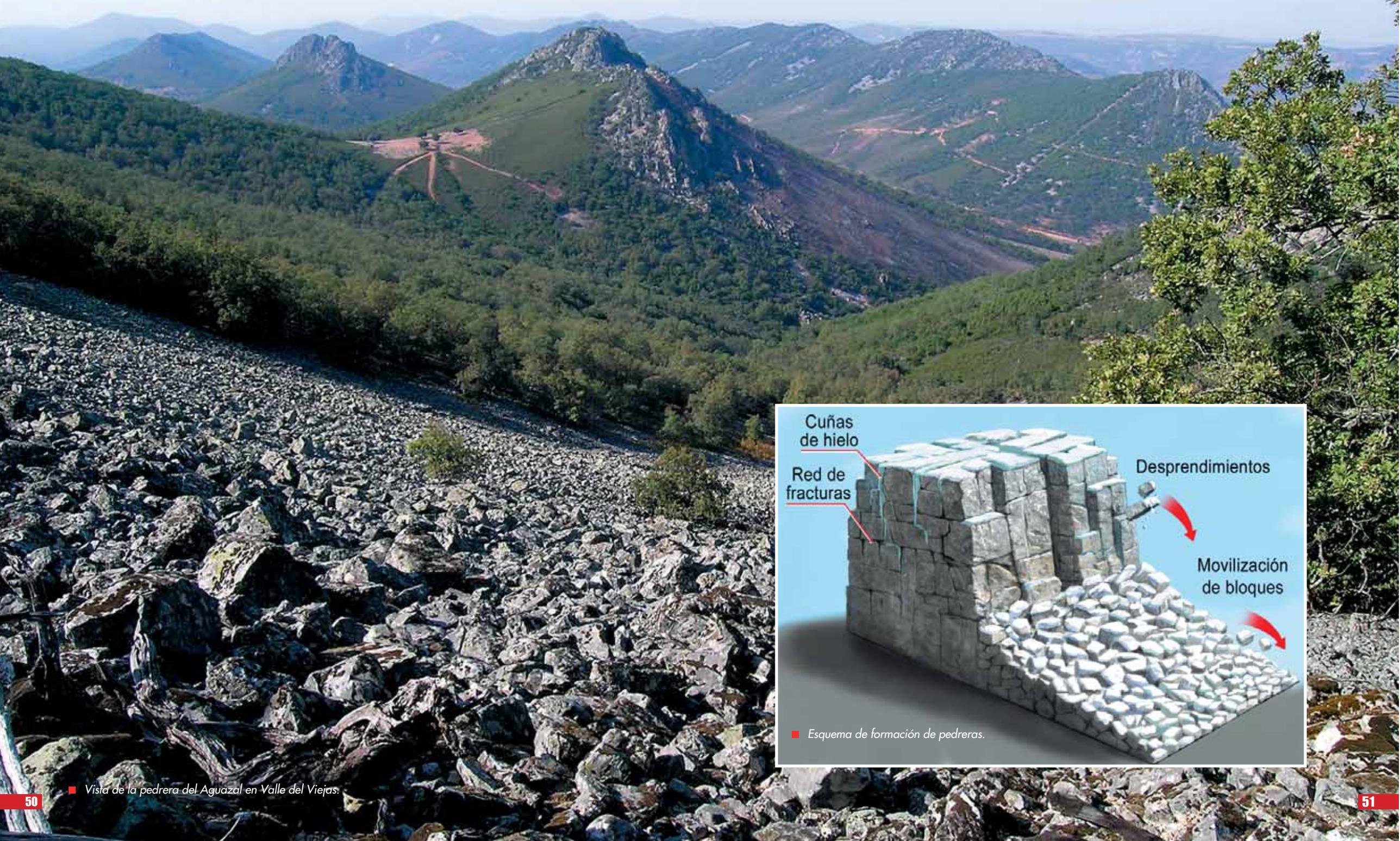
■ Las rocas tan resistentes son cuarcitas





2. Las pedreras, son también formas llamativas visibles hacia las partes altas de las sierras, son sobre todo fragmentos muy angulosos y de gran tamaño (dm) de cuarcita que se observan en zonas de pendientes

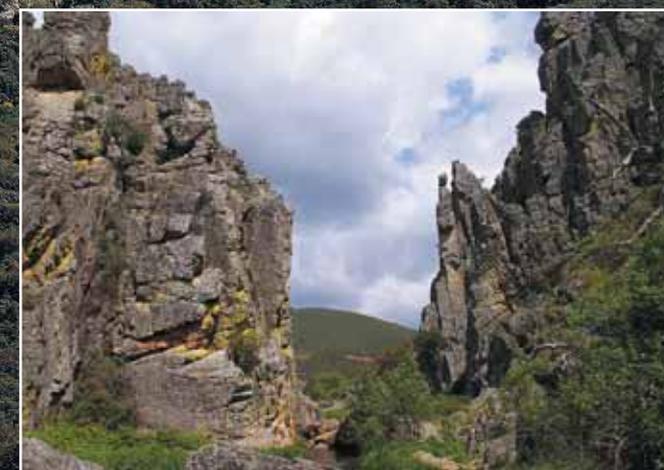
muy elevadas. La acción del hielo en las grietas de las rocas provoca su fracturación y la formación de bloques que se desplazan ladera abajo, acumulándose en zonas de menor pendiente.



3. El encajamiento de los ríos y la formación de la Cueva de Castañar. En el inicio del cuaternario (hace aproximadamente 2.5 millones de años) el basculamiento generalizado de la Península hacia en SW y los cambios del nivel del mar producidos por las glaciaciones hacen que los ríos empiecen a encajarse formando los valles que vemos en la actualidad y diseñando su itinerario hacia el mar. Durante este encajamiento, cuando los ríos aprovechan fracturas transversales a las sierras cortan como “a cuchillo” las rocas duras dejando gar-

gantas muy estrechas, como el Estrecho de La Peña o La Apertura del Almonte.

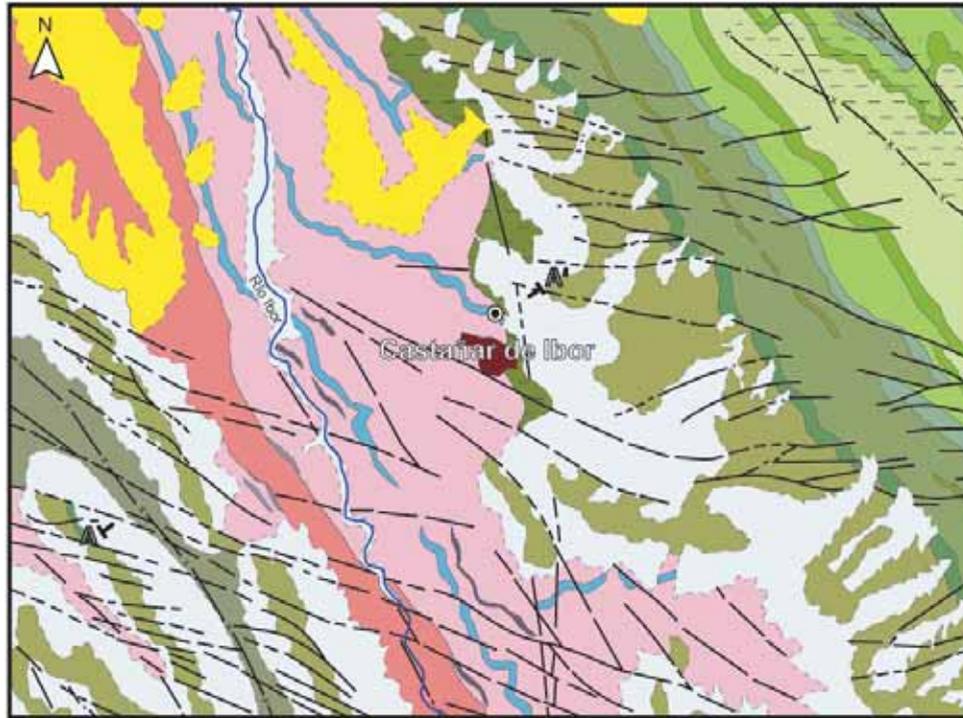
La circulación de las aguas de lluvia hacia los ríos y su infiltración en zonas con materiales solubles permitirá la disolución de estos materiales, como las dolomías y magnesitas, dando lugar a la formación de las cuevas. La más significativa es la Cueva de Castañar, que veremos con más detalle a continuación.



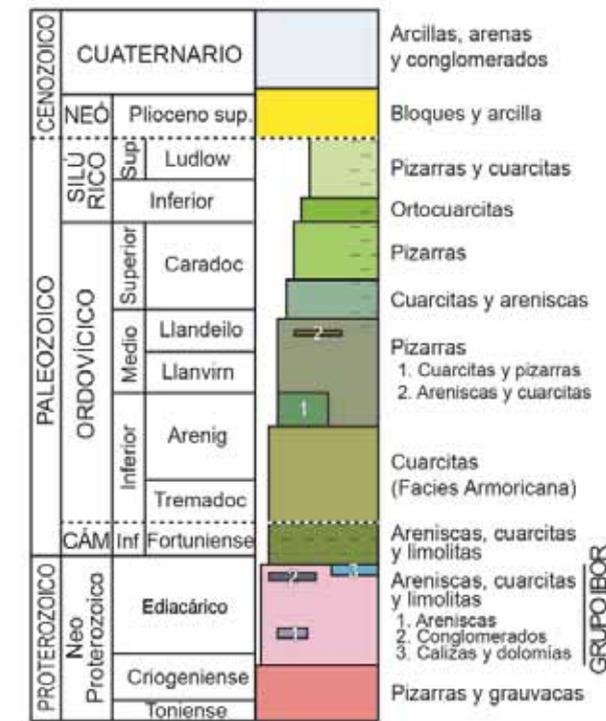
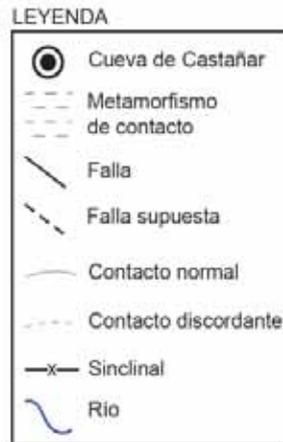


4

# Geología de la cueva

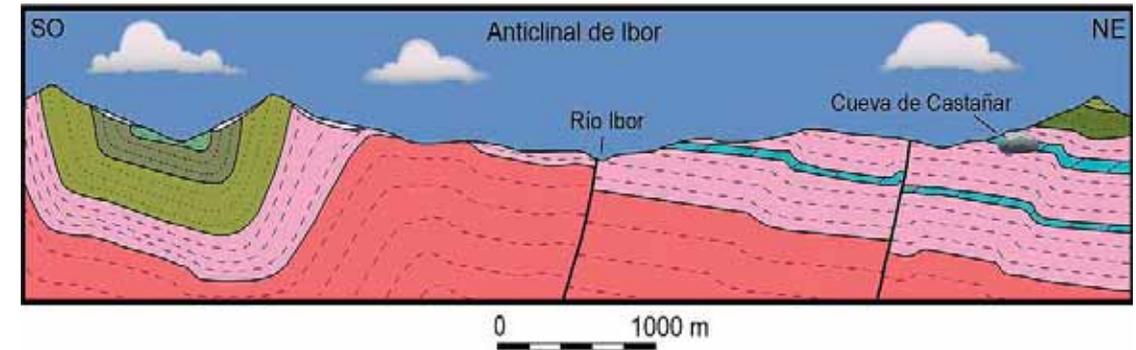


■ Mapa Geológico de los alrededores de Castañar de Ibor. Los materiales están agrupados por edades y los colores indican distintos tipos de rocas. A-A' indica la sección del corte geológico.

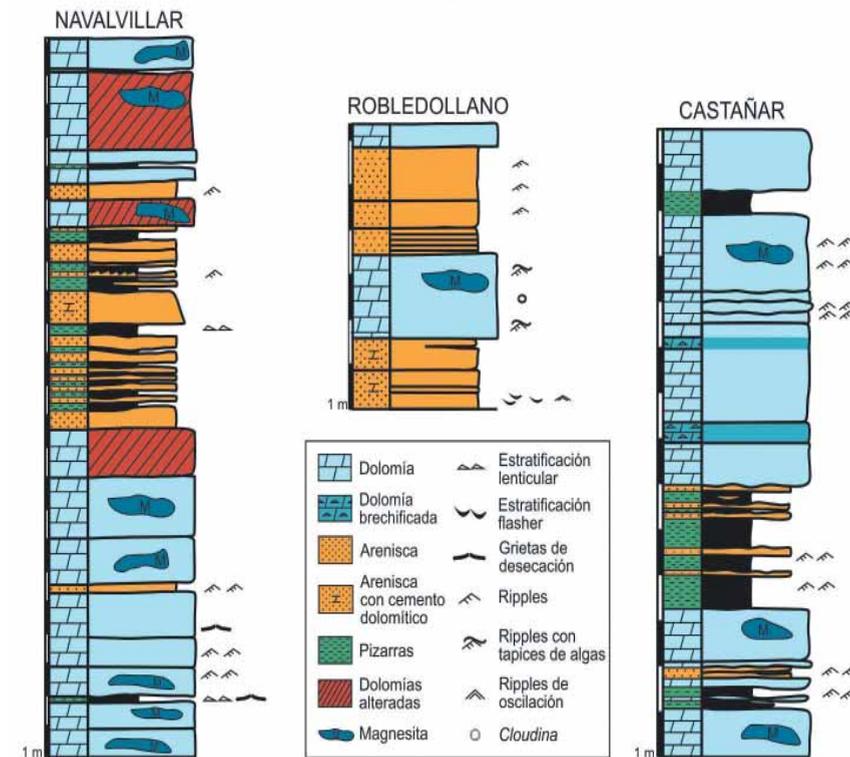


## 4.1. Materiales sobre los que se forma la cueva

En el entorno del Centro de Interpretación se pueden observar muy bien los materiales que se han descrito anteriormente, y sobre los que se desarrolla la Cueva de Castañar. Por ello, a lo largo del sendero que conduce a la entrada de la cueva se han instalado una serie de paneles interpretativos en los que se describen esos materiales, que son:



■ Corte geológico del Anticlinal de Ibor, en el que se observa la situación de la cueva.



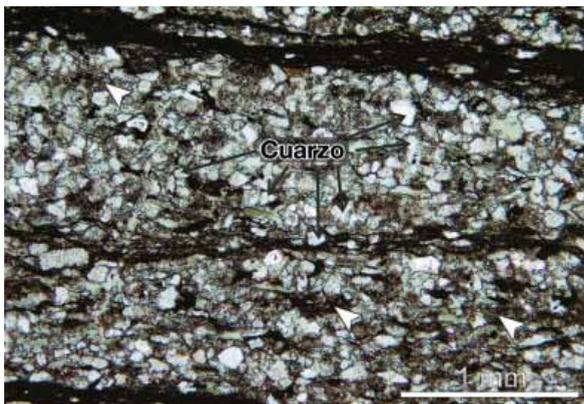
■ Para estudiar los materiales se realizan estas columnas estratigráficas que muestran la sucesión vertical de los distintos tipos de rocas. Los nombres indican dónde se han estudiado estas columnas.



■ Afloramiento de pizarras en los alrededores de Castañar de Ibor. Se pueden separar muy bien distintas capas muy finas.



■ Detalle de las areniscas y pizarras muy bien laminadas.



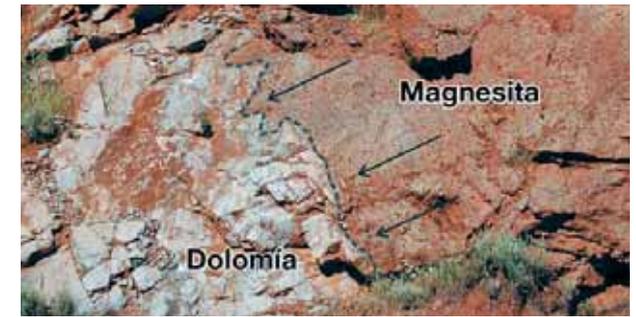
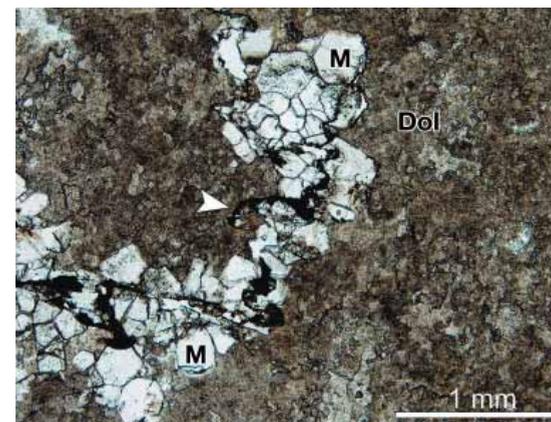
■ Imagen de microscopio óptico de una lámina delgada de una gravaca. Se observan muchos granos de cuarzo y bastantes filosilicatos.

1.- Pizarras, constituidas por minerales laminares (como las micas), cuarzo y otros minerales. Inicialmente eran lutitas que se depositaron en el fondo del mar. Pero por encima de ellas se depositaron más sedimentos, por lo que se fueron enterrando. El peso de los sedimentos ayudó a compactar la roca y a orientar paralelamente todos los minerales laminares dando así lugar a las pizarras. A lo largo del sendero se observa que estas pizarras son rocas oscuras y que están algo alteradas, como muestra la disgregación en hojas y los tonos rojizos que presentan en su superficie.

2.- Areniscas y gravacas. Están formadas por granos de cuarzo y otros minerales (feldespatos, fragmentos de otras rocas), que llegaron al fondo del mar en zonas de mayor energía y menor profundidad. Posteriormente la presión y temperatura alcanzadas durante su enterramiento hicieron que estas arenas se compactaran para transformarse en areniscas y cuarcitas. Las gravacas son un tipo especial de arenisca, en las que entre los granos hay arcillas. Las areniscas de los alrededores del centro son más duras que las pizarras y tienen color desde marrón a grisáceo.

3.- Dolomías y magnesitas. Las dolomías son más grises mientras que las magnesitas tienen colores marrones a veces acaramelados. Aparecen siempre muy unidas y las magnesitas se reconocen por tener más brillo, ya que están formadas por cristales más grandes y aparecen como masas irregulares de color marrón. Los dolomías, sobre todo las dolomías aparecen como capas muy bien laminadas. La laminación puede deberse a la actividad de corrientes en zonas de baja profundidad o a la presencia e intervención de microorganismos durante la formación de las calizas originales.

■ Imagen de Microscopio óptico en la que se observa que los cristales más grandes de magnesita se forman en relación con una pequeña discontinuidad y sustituyen en parte a los cristales de menor tamaño de dolomita.



■ En las cercanías de Navalvillar se observa muy bien el contraste entre las dolomías (de color gris) y las magnesitas (tonos más marrones).



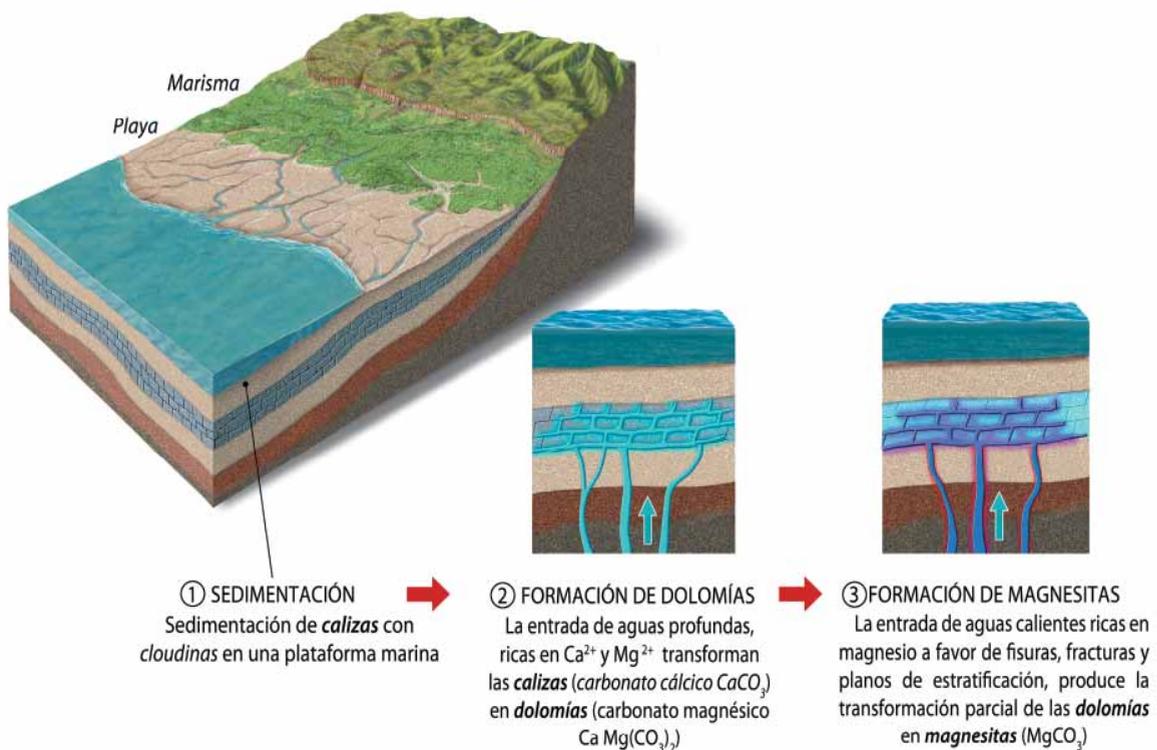
■ Detalle de la fotografía anterior. Se observa el color más oscuro y el aspecto poroso de las magnesitas (derecha) y que las magnesitas están penetrando por las fracturas y sustituyendo a las dolomías.



■ Detalle de las dolomías con laminación irregular. Sendero de acceso a la cueva.

Recordaremos que inicialmente lo que se sedimentó en el agua del mar fueron calizas que posteriormente se transformaron en dolomías y éstas se transformaron parcialmente en magnesitas.

LA FORMACIÓN DE CALIZAS → DOLOMIAS → MAGNESITAS

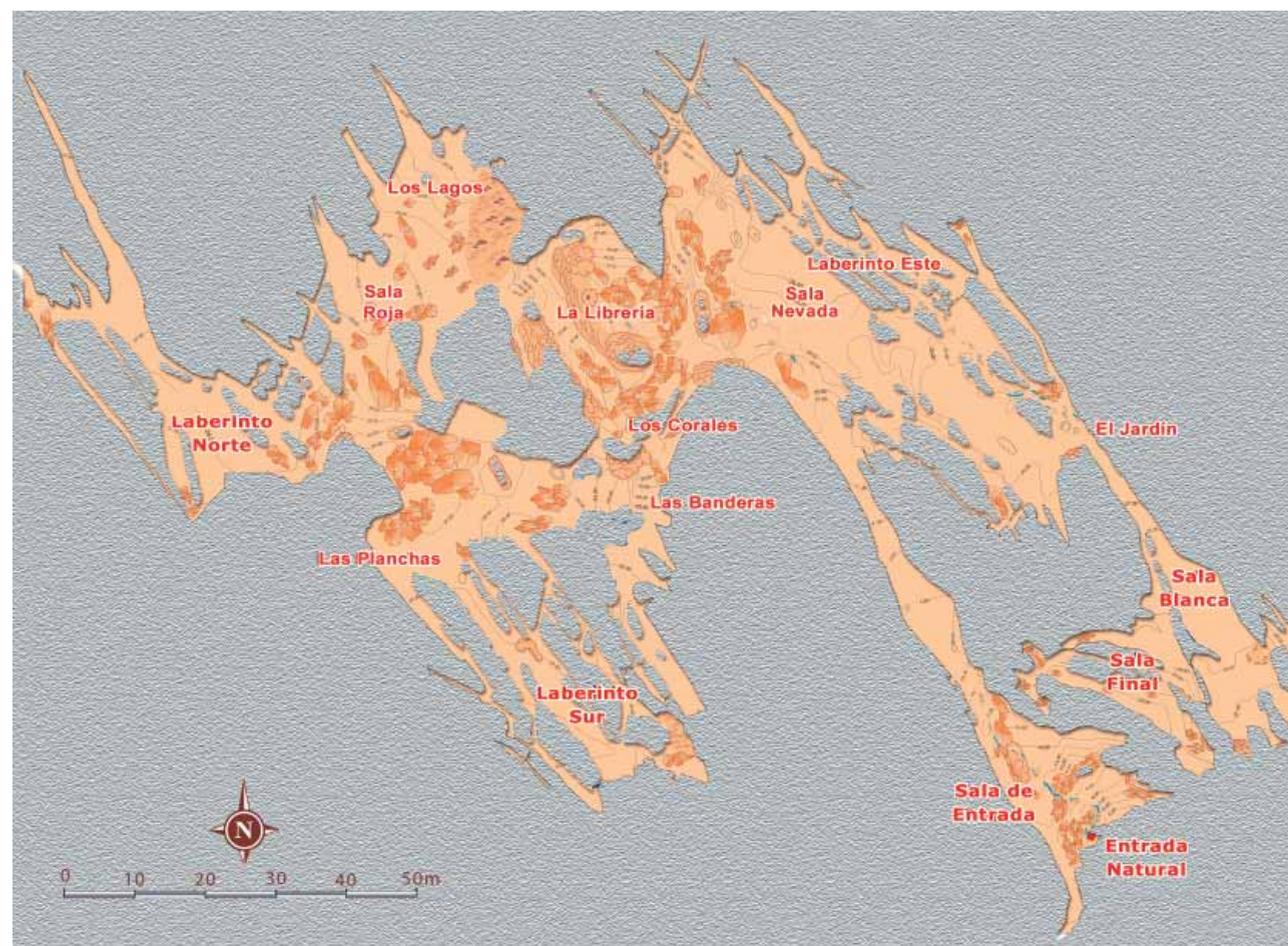


■ Esquema de los ambientes de sedimentación de los materiales sobre los que se forma la Cueva de Castañar. También se muestra como la entrada de agua de distinta composición favorece las transformaciones de unas rocas en otras (*calizas*, *dolomías* y *magnesitas*).

Las dolomías son rocas formadas por dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ) como mineral dominante. En las magnesitas el mineral dominante es la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ). En el microscopio electrónico de barrido las dos aparecen como grandes cristales romboédricos. Las dolomías y magnesitas presentan líneas o surcos verticales debidos a la disolución provocada por la circulación del agua de lluvia. En otros casos la disolución es más intensa y se ha llevado partes importantes de las capas, dejando huecos irregulares rellenos por arcillas rojas.

## 4.2. Morfología y estructura de la cueva

La Cueva de Castañar es una cavidad kárstica de reducidas dimensiones; se han topografiado unos 2.135 m distribuidos en salas y galerías que dibujan un entramado de oquedades de escasa altura que constituye la cavidad.



■ Mapa de la Cueva en el que se indica la situación de las distintas salas.

En la actualidad se ha construido una caseta que protege el recinto de entrada al sistema kárstico; la entrada natural a la cavidad está cerrada por una compuerta metálica sobre el hueco que dio origen a su descubrimiento de forma fortuita. Esta compuerta sólo se abre para las visitas con objeto de mantener estable el sistema físico-químico reinante en su interior. Para acceder a la cueva se desciende por una escalera metálica que salva el desnivel verticalizado que existe entre la boca y la primera galería de entrada, siendo la diferencia de cota entre ambos puntos de unos 9 m; para la instalación manual de esta escalera fue necesario ampliar la sección

■ *Fotografía desde el pasillo de la entrada a la Cueva en la que se observa el final de la escalera de acceso.*



del hueco original en toda su longitud, lo que ha permitido instalar pequeños rellanos que facilitan el acceso al visitante y reducen la sensación de desnivel.

Salvado el desnivel se localiza la galería principal con una longitud de unos 180 metros y en origen una escasa altura, lo que condicionó la realización de un ligero rebaje en el suelo con objeto de facilitar el acceso. En este pasillo se encuentran los primeros espeleotemas que sorprenden al visitante aunque constituyen sólo un pequeño anticipo del universo de formaciones que verán más adelante.

■ *Pasillo de acceso a la Sala del Jardín.*



Este pasillo o galería conduce a la denominada Sala Nevada. Esta es una de las salas de mayores dimensiones de la cueva y actúa como distribuidor de los distintos recorridos por ésta. Su nombre responde al

aspecto nevado de su superficie, cubierta por un tapiz blanco sólo roto por los reiterados recorridos de los visitantes a lo largo de pasillos debidamente delimitados para evitar la destrucción de las formaciones minerales.



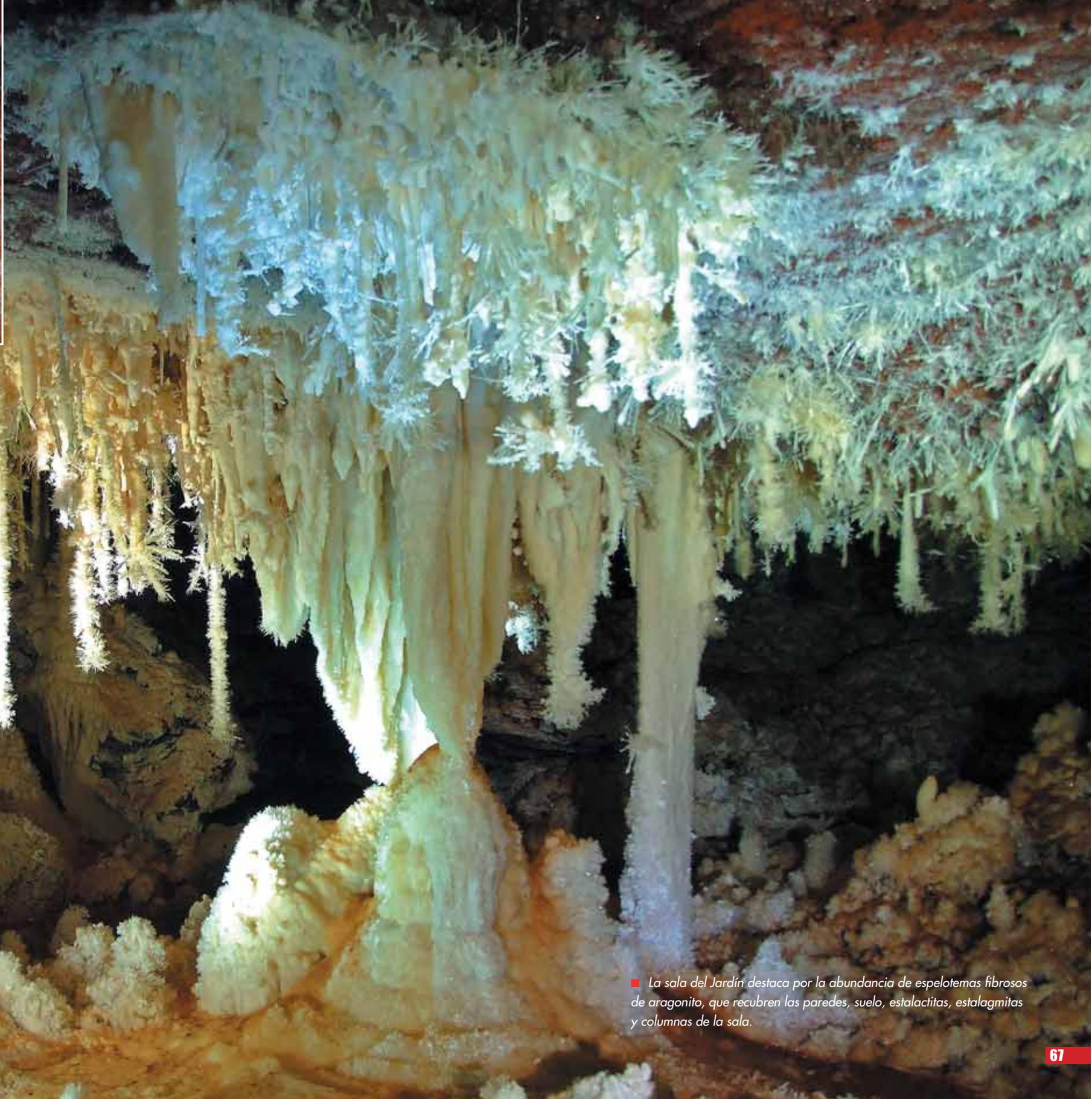
■ Conjunto de estalactitas, estalagmitas y columnas de la Sala Nevada.



■ Lago situado entre la Sala Blanca y la Sala Final. En la zona izquierda de la foto se observan muchos espeleotemas mientras que en la derecha son mucho menos abundantes

Desde la Sala Nevada se puede acceder al Laberinto Este, Sala del Jardín, Sala Blanca y Sala Final, todas ellas localizadas en el sector oriental de la cueva.

Entre ellas, es la Sala del Jardín la que ofrece uno de los espectáculos más sorprendentes al visitante por la belleza, variedad y abundancia de espeleotemas que tapizan techos, paredes y suelo.



■ La sala del Jardín destaca por la abundancia de espeleotemas fibrosos de aragonito, que recubren las paredes, suelo, estalactitas, estalagmitas y columnas de la sala.



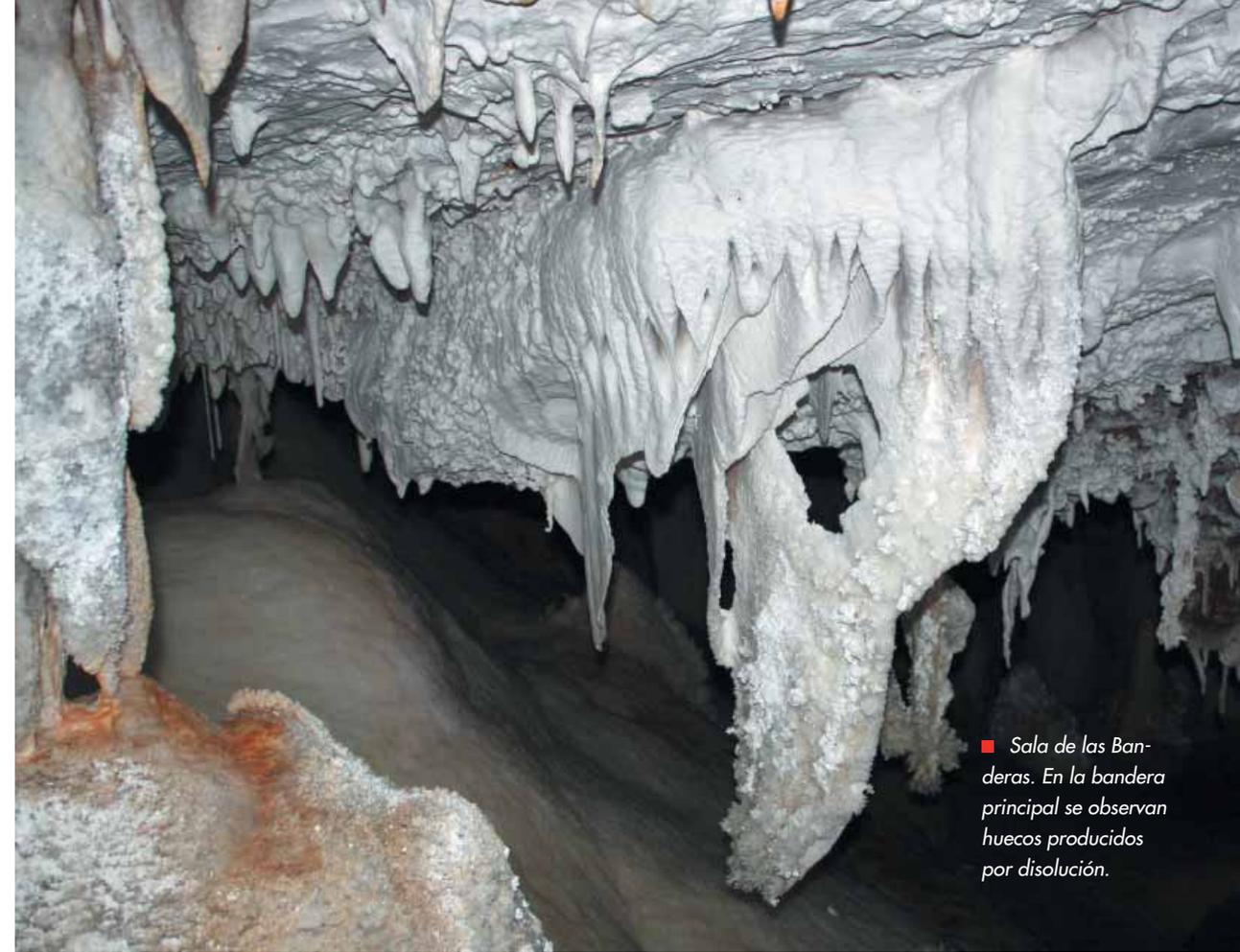
■ Sala de Las Planchas. Se observa una fina alternancia de pizarras con dolomías/magnesitas muy alteradas.

Desde la Sala Nevada se accede a la zona occidental de la cueva compuesta por las Salas de La Librería, Los Lagos, Roja, Laberinto Norte, Las Planchas, Laberinto Sur, Las Banderas y Los Corales en un recorrido circular hasta volver a la Sala Nevada.

Cuando se entra en la Cueva de Castañar lo primero que llama la atención es el color tan oscuro de las rocas que construyen sus paredes y que contrasta



■ Lago superior de la Sala de los Lagos. Un sistema de monitorización permanente mide los parámetros ambientales y las características físico-químicas del agua.



■ Sala de las Banderas. En la bandera principal se observan huecos producidos por disolución.

con el color blanco de los espeleotemas y que hace que esta cueva tenga unos contrastes cromáticos más fuertes que la mayoría de las cuevas de origen kárstico. El color tan oscuro se debe al color de los materiales sobre los que se forma la cueva: pizarras, areniscas/gravacas, dolomías grises y magnesitas, que hemos descrito anteriormente y a las arcillas rojas que tapizan sus paredes.



■ Pasillo que conduce a la Sala del Jardín. Las paredes están formadas por dolomías grises y tapizadas en parte por arcillas rojas.



■ Sala de Los Lagos, los espeleotemas crecen sobre las arcillas rojas, dando lugar a un bello contraste cromático.

La estructura geológica, con pliegues y fracturas principales con direcciones N150°E, y otras fracturas perpendiculares, es la que condiciona la forma laberíntica de la cueva y el hecho de que sus principales cavidades sigan también esas direcciones. Esto se debe a que las fracturas son las zonas más débiles y el camino más favorable para el agua subterránea, por ello la disolución de las dolomías y magnesitas se produce siguiendo esas direcciones. Una vez disueltas estas rocas, las rocas que tienen encima (pizarras, areniscas y también dolomías y magnesitas) no tienen donde sujetarse, se rompen y sus bloques caen al suelo de las cavidades. Estos colapsos tienen lugar en las zonas en las que se ha producido la mayor disolución, que muchas veces coincide con el núcleo de los anticlinales. Por eso, cuando se está dentro de la cueva se siente, que en muchos casos, se está viajando por el núcleo de los anticlinales de escala métrica. Por ejemplo, los pasillos estrechos como el del Jardín, se desarrollan en el núcleo de pequeños anticlinales (escala métrica). En este caso las capas dolomíticas que estaban intercaladas con las pizarras se han disuelto, por lo que el suelo y el techo de la cavidad están formados por pizarras, observándose muchos bloques

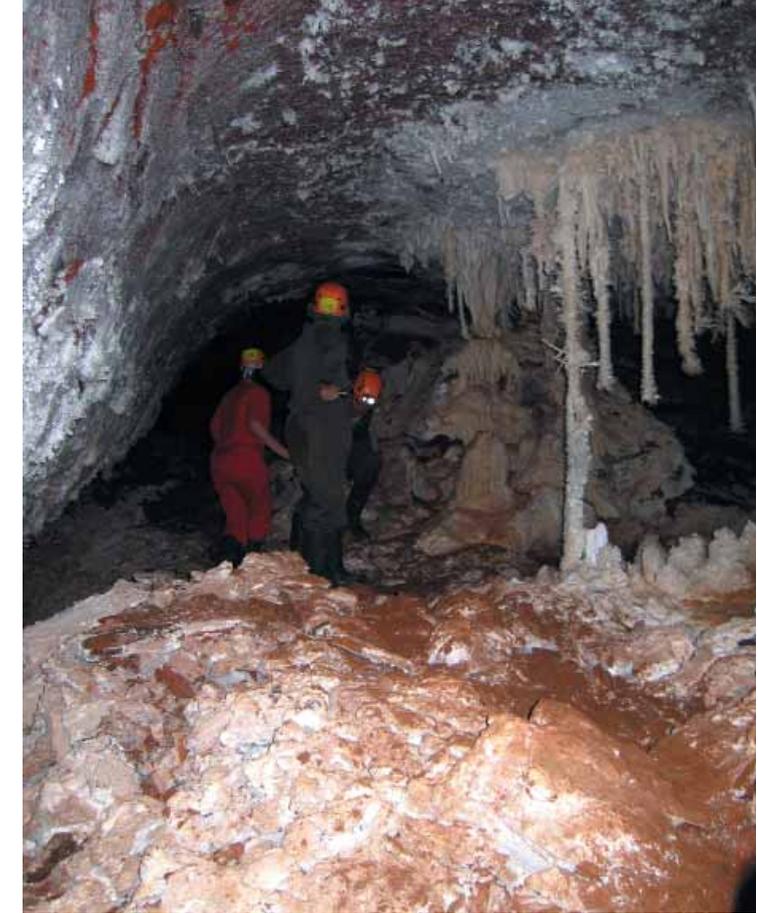
■ *Sala del Jardín. Anticlinal de escala métrica en que su núcleo (formado por dolomías) se ha disuelto, dejando así un pasillo por el que transitar.*



de éstas en el suelo. En la Sala de la Librería el núcleo del anticlinal también se ha disuelto, pero como el pliegue era más amplio la sala es mucho más grande que la del Jardín. Cuevas como la de Castañar, con morfología laberíntica y controlada por la estructura de los materiales parecen formarse cuando el agua está abastecida por recarga difusa y circula por materiales insolubles (las pizarras, areniscas y grauvacas).

■ *Gran parte de la Sala del Jardín se desarrolla en el núcleo de un anticlinal.*

■ *La Sala de la Librería se desarrolla en un anticlinal de grandes dimensiones.*





5

La cueva está viva  
y es un  
laboratorio natural

■ Estalactitas y varillas en la Sala de Los Lagos.  
Sobre algunos de estos espeleotemas crecen guirnaldas

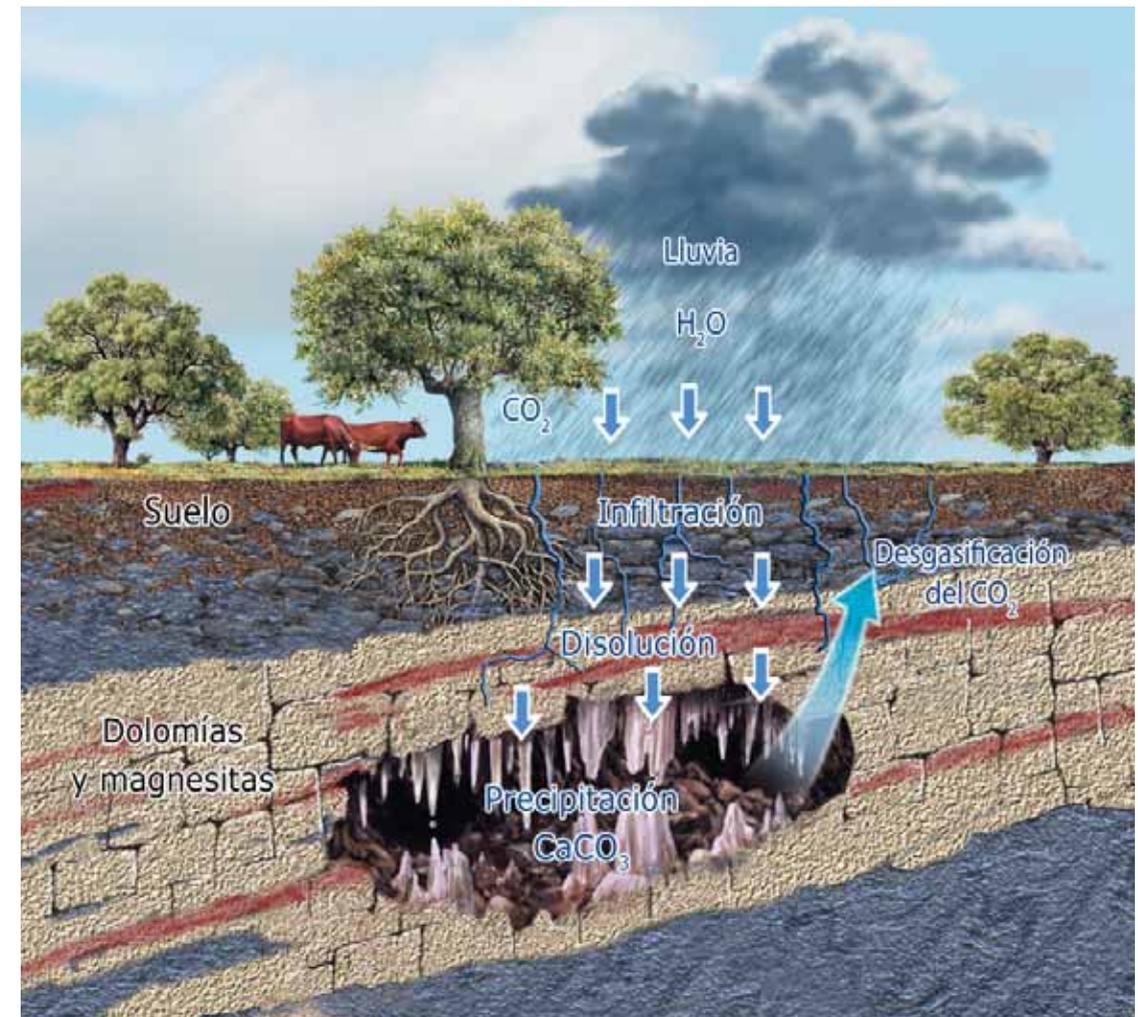
## 5.1. La formación de la cueva y de sus espeleotemas

La Cueva de Castañar es un sistema vivo, el agua sigue circulando por ella favoreciendo la disolución de las dolomías y magnesitas, los colapsos y también la formación y crecimiento de las formaciones minerales e incluso su transformación. Aunque lentos, estos procesos hacen que la cueva y sus formaciones vayan cambiando. En este capítulo vamos a ir describiendo, cómo y de que composición son las formaciones de la Cueva de Castañar y que cambios van sufriendo a lo largo del tiempo.

Los espeleotemas (del griego spelaion, cueva, y thema, depósito) son las formaciones minerales de las cuevas. Los ejemplos más conocidos son las estalactitas y las estalagmitas, pero existen muchos otros tipos de espeleotemas, que poseen diferentes formas.

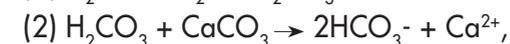
Para entender cómo se forman los espeleotemas, primero debemos comprender como se forman las cuevas. Una gran parte de las cuevas se han formado sobre calizas, que están constituidas por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). La Cueva de Castañar se forma sobre dolomías y magnesitas, que al igual que las calizas son rocas que se pueden disolver si el agua circula por ellas.

Para describir el proceso de formación, imaginémosnos unas calizas formando parte del paisaje, cubiertas por vegetación, más o menos como las vemos actualmente. El agua de lluvia antes de penetrar en la roca atraviesa el suelo, en el que la actividad de las plantas y su descomposición liberan  $\text{CO}_2$ . Este  $\text{CO}_2$  se mezcla con el agua formando ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) (1), de forma que al infiltrarse, el agua es capaz de disolver los minerales solubles (calcita, dolomita, magnesita) agrandando poros y fracturas hasta dar lugar a las cuevas (2). Este proceso de disolución es el responsable de la formación de otros rasgos geomorfológicos característicos del karst, como las dolinas, los poljes, los torcales o los lapiazes.



■ Esquema en el que se muestran los procesos de formación de los espeleotemas de la cueva. El agua de lluvia se infiltra en el suelo, donde se carga en  $\text{CO}_2$ . A continuación atraviesa la roca, disolviendo las dolomías y magnesitas. Al llegar a la cueva, el  $\text{CO}_2$  se escapa, y precipitan los minerales que forman los espeleotemas.

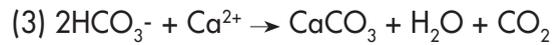
La reacción en la que el agua se combina con el  $\text{CO}_2$  para formar el ácido carbónico es (1):



Esta reacción (2) es la de disolución de la calcita en presencia del ácido carbónico.

Los espeleotemas o minerales que se forman en las cuevas se generan cuando el proceso de disolución se invierte. El agua de lluvia que se ha infiltrado a través del suelo y la roca, ha disuelto mucho  $\text{CaCO}_3$ , y se encuentra muy cerca de la saturación en calcita y/o aragonito.

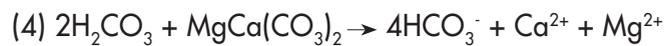
Cuando el agua entra en la cueva, pierde parte del  $\text{CO}_2$  para equilibrarse con el aire de la cueva, cuyo contenido en  $\text{CO}_2$  es mucho menor. Como el  $\text{CO}_2$  es un gas, este proceso se llama desgasificación y da lugar a la sobresaturación de carbonato en el agua, y por tanto, se produce la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ , en forma de aragonito o calcita según se refleja en la ecuación (3).



La lenta formación de sucesivas capas de minerales (aragonito o calcita), da lugar a la formación de los espeleotemas.

En Castañar, como las rocas que se disuelven son dolomías y magnesitas, que son carbonatos que también contienen Mg, estas reacciones son algo más complejas.

La reacción de disolución de dolomita es (4):



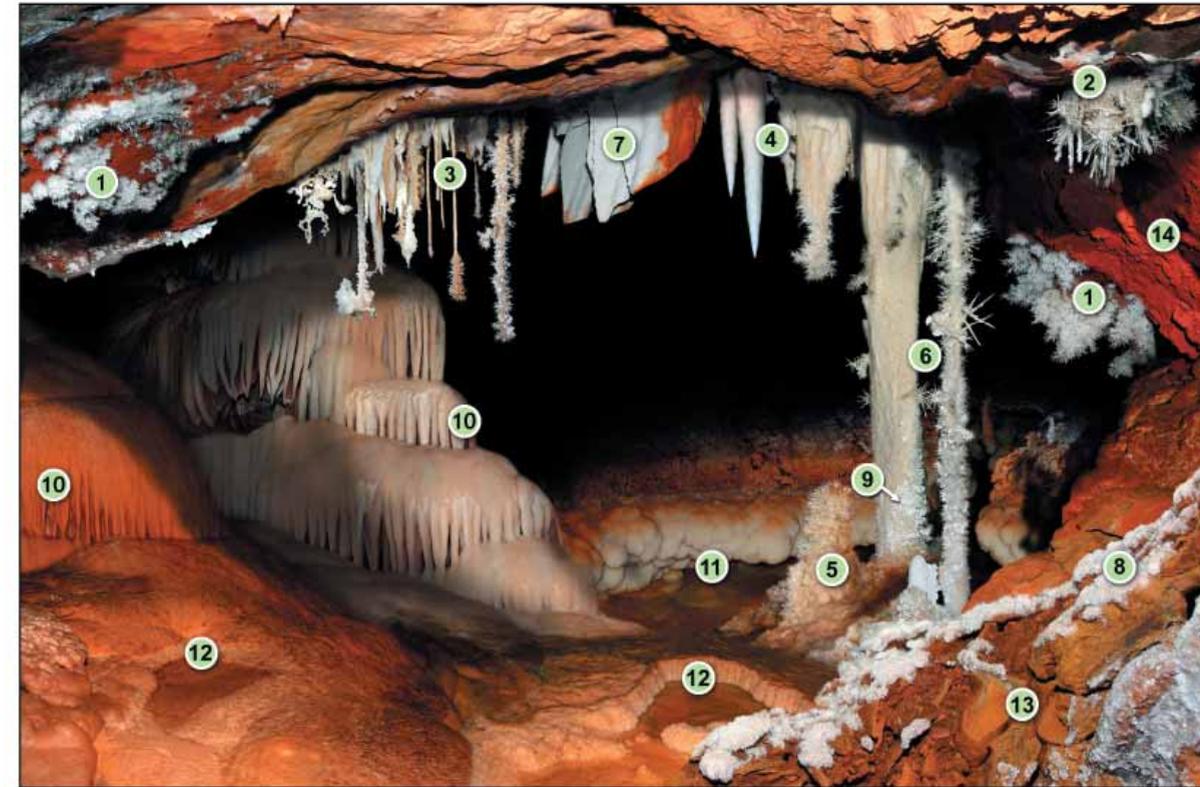
Y la de precipitación de aragonito o calcita sería (5):



■ Goteos sobre los espeleotemas.

A pesar de que el mineral que se disuelve es dolomita, la mayor parte de los espeleotemas están formados por calcita o aragonito, pues es muy difícil que se forme dolomita. No obstante el magnesio queda en el agua y juega un importante papel en la Cueva de Castañar, ya que es responsable de la gran cantidad de aragonito, y de la presencia de carbonatos y arcillas ricas en magnesio, que veremos más adelante.

## 5.2. Tipos y situación de los espeleotemas



- |   |                |                         |            |                       |
|---|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| 1 Fibrosos radiados individuales y compuestos | 4 Estalactitas | 7 Banderas              | 10 Colada  | 13 Colapso de bloques |
| 2 Ramificados                                 | 5 Estalagmitas | 8 Tapizados de fibrosos | 11 Lagos   | 14 Arcillas rojas     |
| 3 Varillas                                    | 6 Columnas     | 9 "Moon-milk"           | 12 "Gours" |                       |

■ Fotomontaje mostrando todos los tipos de espeleotemas de la Cueva de Castañar y su situación.

En la cueva hay muchos tipos distintos de espeleotemas, la formación de unos o de otros depende fundamentalmente del modo de circulación del agua, y en algunos casos de su mineralogía. A continuación vamos a describir todos los tipos de espeleotemas que aparecen en la Cueva de Castañar.



### **Estalactitas (Techo)**

---

Son formas cilíndricas o cónicas que crecen desde el techo de la cueva, a partir de un goteo y presentan un canal central. Cuando el agua llega a la cueva y pierde el  $\text{CO}_2$ , se produce la precipitación de calcita o aragonito formando una delgada concreción alrededor de la gota en forma de tubo. El agua de goteo sigue circulando por el interior del tubo, formando nuevos cristales en el extremo que dan lugar a estalactitas tubulares largas y delgadas que se conocen como varillas o macarrones. El agua puede circular también por el exterior de la estalactita, formando capas de mineral en el exterior y dando lugar a formas cónicas. En la Cueva de Castañar las estalactitas pueden medir hasta 1,5 m de longitud y varios centímetros de diámetro y son de aragonito o calcita. En esta cueva muchas estalactitas están cubiertas por formas fibrosas de aragonito.

### **Estalagmitas (Suelo)**

---

Son formas cilíndricas de extremo redondeado que se forman por goteo que puede provenir desde una estalactita o desde el techo. Cuando la gota, que aun tiene iones en solución, golpea el suelo, se produce de nuevo un escape de  $\text{CO}_2$  que desencadena la precipitación de calcita o aragonito. Las estalagmitas no poseen un canal central y están formadas por láminas de cristales alargados que se orientan perpendicularmente a la superficie de crecimiento del espeleotema. En la Cueva de Castañar la mayoría de las estalagmitas son inicialmente de aragonito, pero muchas se están transformando en calcita. Muchas de ellas están cubiertas de cristales fibrosos.



## Columnas

Las columnas se forman cuando una estalactita y una estalagmita se unen. En la Cueva de Castañar hay algunas columnas de gran tamaño en la Sala Nevada y en el Jardín.

## Banderas o cortinas

Las banderas son espeleotemas en forma de lámina que cuelgan de los techos de las cuevas, y a menudo están onduladas, por lo que recuerdan a banderas o cortinas. Se forman de forma similar a las estalactitas, a partir de un goteo, pero en zonas de techos inclinados. Las gotas resbalan por de los techos, precipitando calcita a lo largo de una línea.

En la Cueva de Castañar hay grandes cortinas en la Sala de la Librería, que aparecen unas junto a otras recordando a un órgano, y están teñidas de rojo. En la Sala de las Banderas también son muy abundantes, y aparecen en algunos casos corroídas, y con cristales fibrosos recubriéndolas. Casi siempre están formadas por calcita.



■ Banderas tapizando las paredes de la Sala de la Librería.

## Coladas

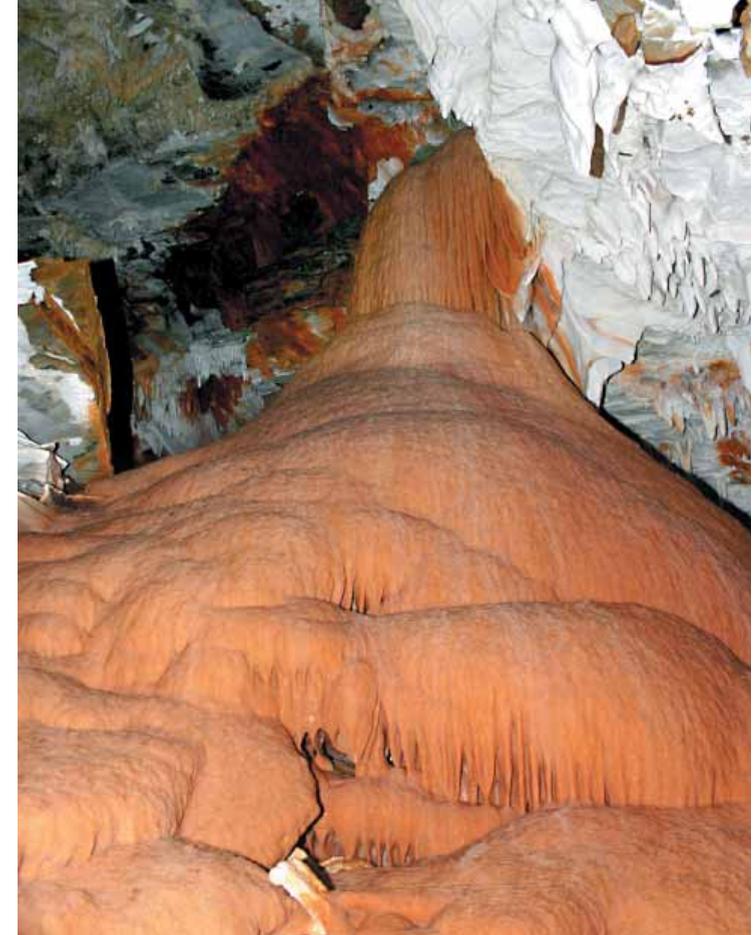
Las coladas son formaciones grandes que tienen morfología de mantos formados por cristales que se superponen unos a otros. Se forman en zonas donde circula gran cantidad de agua. En la Cueva de Castañar hay dos grandes coladas en la Sala de la Librería, que comunican con la Sala de los Lagos.

También hay otra gran colada en la Sala de los Lagos que discurre desde el lago superior hasta el inferior. Pueden ser de calcita o de aragonito.

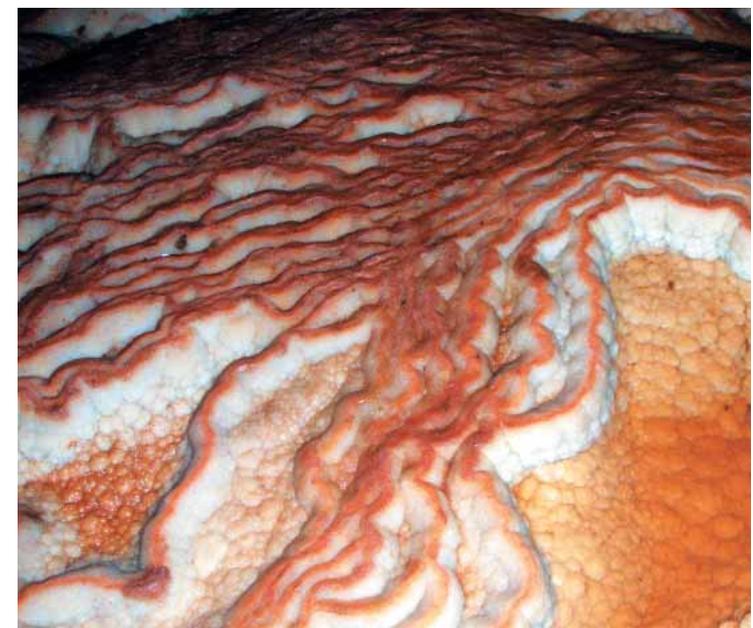
## Gours

Los gours son diques sinuosos de carbonato formados cuando el flujo de agua transcurre por una pendiente. Delimitan pequeñas piscinas donde se acumula el agua. Las coladas de la Cueva de Castañar muchas veces están cubiertas por gours.

Frecuentemente, en el fondo de las piscinas, crecen cristales de calcita con hábito en diente de perro, típico de formación bajo lámina de agua.



■ Gran colada en la Sala de La Librería.



■ El suelo de la Sala de Los Lagos está formado por gours que normalmente tienen agua.



## Rafts o plaquetas

Las plaquetas o rafts son láminas muy delgadas de calcita que se forman en la superficie del agua de los lagos y de los gour. También son llamadas calcitas flotantes. Permanecen en la superficie hasta que el crecimiento de nuevos cristales hace que sean demasiado gruesas y se hundan al fondo del lago. En la Cueva de Castañar se pueden observar en el lago inferior de la Sala de los Lagos y en el lago de la Sala de las Banderas.

■ *Plaquetas en el Lago Inferior de la Sala de Los Lagos. Dependiendo de la estación del año estos son más o menos abundantes.*



## Helictitas

Son espeleotemas que crecen en cualquier dirección, a veces hacia arriba, a partir del techo, las paredes, y también sobre otros espeleotemas, especialmente estalactitas y varillas. Durante su crecimiento pueden curvarse cambiando la dirección inicial y dando lugar a formas enroscadas y entrecruzadas. Son espeleotemas principalmente de aragonito, de pequeño diámetro pero que pueden alcanzar varios decímetros de longitud. Poseen un canal central por donde circula el agua.

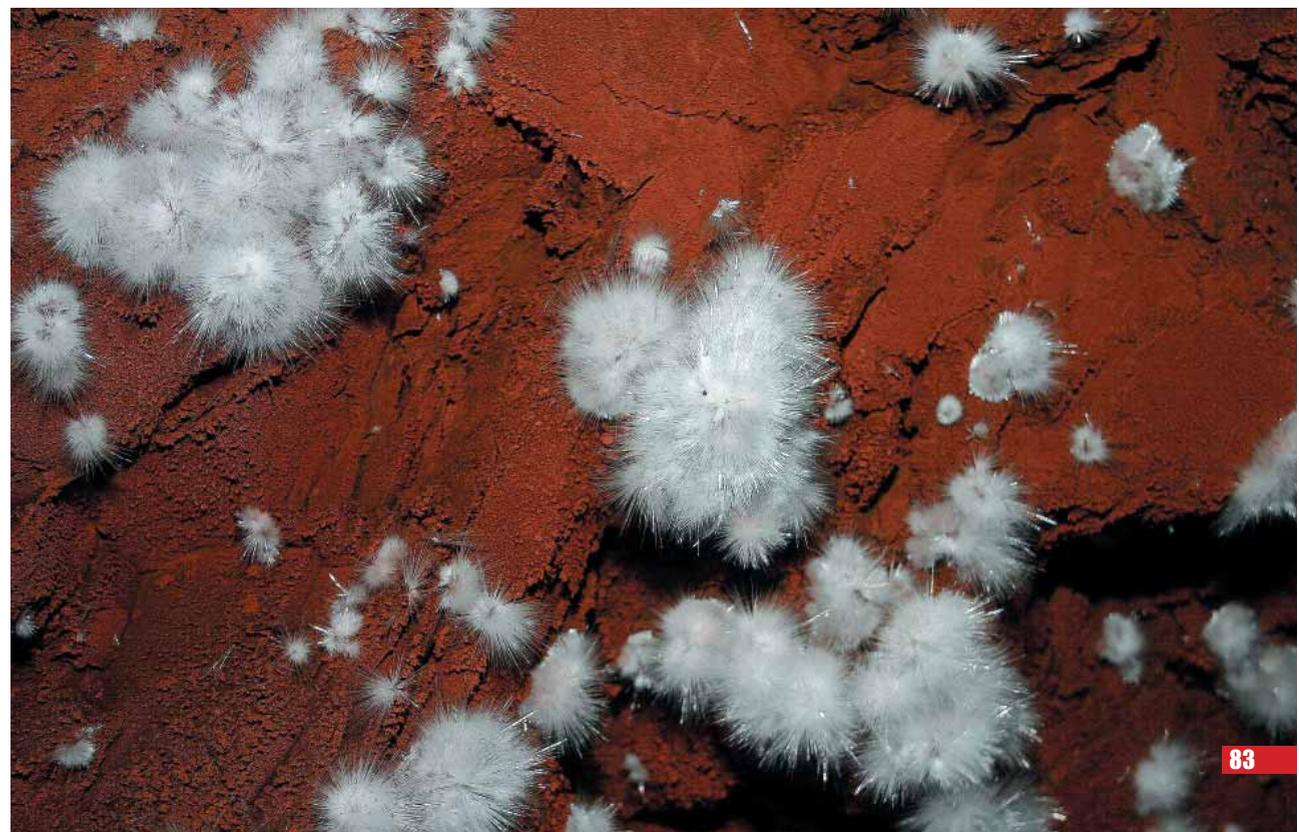
■ *Helictita en el techo de la Sala de Los Lagos.*

## Formas fibrosas

Son las formaciones más características y abundantes de la Cueva de Castañar, se conocen como **excéntricas**. Se trata de cristales aciculares de aragonito, aunque localmente pueden haberse transformado en calcita. Sus dimensiones son variadas, las agujas más pequeñas miden menos de 2 milímetros de longitud, y los cristales más grandes tienen hasta 10 cm de longitud y un grosor de hasta 5 milímetros. Estos cristales fibrosos de aragonito suelen crecer radialmente desde un punto común dando formas en abanicos o ramificadas y en inglés se conocen con el término "frostwork". El tamaño y la densidad de los cristales definen sus diferentes nombres:

- Los **pompones** son formas fibrosas compuestas por cristales aciculares de aragonito que pueden tener entre 1 mm y 5 cm que se disponen como radios a partir de un punto central formando una semiesfera. Normalmente crecen sobre las arcillas que tapizan las paredes de la cueva, pero también es posible encontrarlos directamente sobre las dolomías y las pizarras.

■ *Pompones creciendo a partir de las arcillas rojas que recubren las paredes de la cueva.*





■ Guirnalda de la Sala de Las Banderas.

- Las **guirnaldas** están compuestas por agrupaciones de pompones de cristales de aragonito.

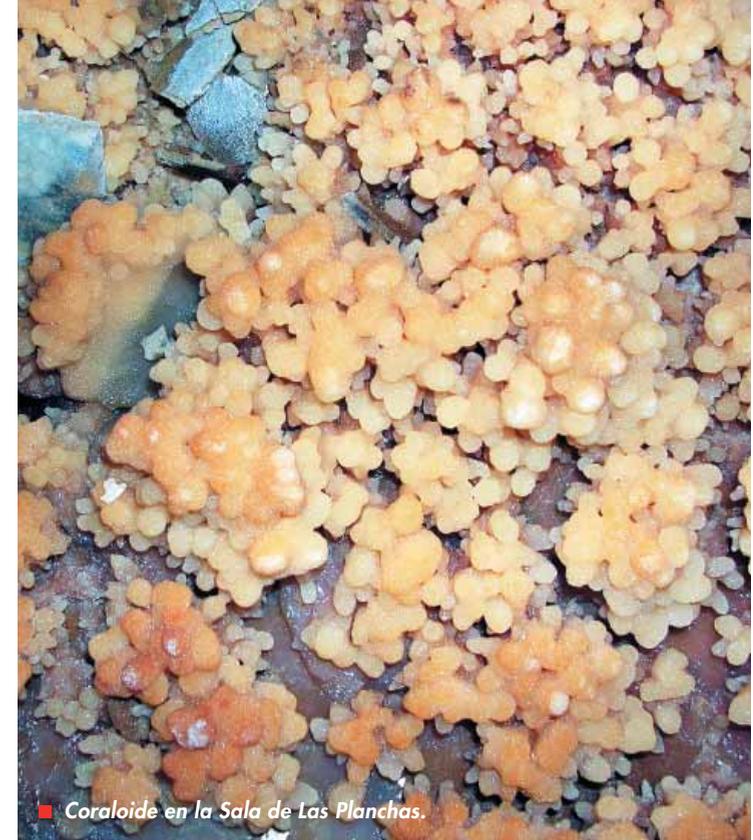
El crecimiento sucesivo y ramificado de pompones da lugar a formas arborescentes que pueden llegar a medir varios decímetros.

En la Cueva de Castañar las formas fibrosas aparecen muchas veces sobre otros espeleotemas como estalactitas, estalagmitas o banderas. Son muy abundantes en casi todas las salas, especialmente en el pasillo de la entrada, en la Sala del Jardín, en la zona de entrada de la Librería, en los Lagos y en Los Corales.

Se cree que están formadas por flujos de agua muy lentos.

## Coraloides

Son acumulaciones de calcita o aragonito formadas por pequeños glóbulos que crecen unos junto a los otros, se parecen a las palomitas de maíz, por eso también son conocidas como “pop-corn”. Se forman por flujos de agua lentos, que pueden estar afectados por procesos de evaporación o condensación. En la Cueva de Castañar hay algunos ejemplos en la Sala del Jardín.



■ Coraloides en la Sala de Las Planchas.

## Moonmilk

Es un tipo de espeleotema bastante distinto de los demás, por su textura plástica. Se trata de acumulaciones de cristales microscópicos de color blanco mate que aparecen como masas sin forma definida sobre otros espeleotemas. Pueden llegar a retener mucho agua entre los cristales, apareciendo como una especie de pasta blanca muy húmeda, o estar secos, en cuyo caso forman acumulaciones grumosas y de textura pulverulenta. En la Cueva de Castañar el moonmilk está formado principalmente por huntita, dolomita, magnesita, hidromagnesita, sepiolita, y kerolita, mas adelante describiremos la composición de estos minerales.



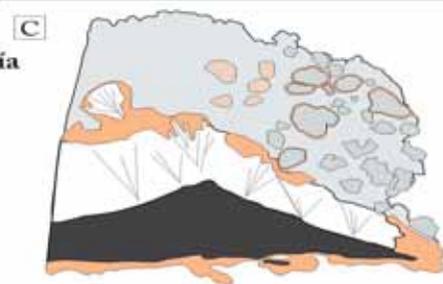
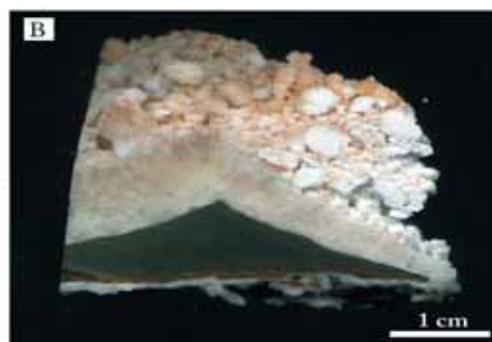
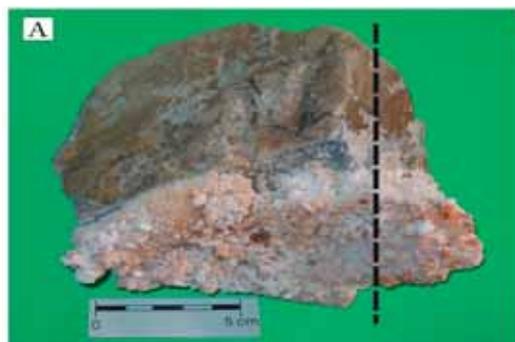
■ Moonmilk creciendo sobre una guirnalda en la Sala de Las Banderas.

## Costras

Recubren las arcillas rojas del suelo y paredes, o los bloques de magnesitas y pizarras que se acumulan en el suelo. Las costras son compactas y están formadas por varias capas de distintos minerales con texturas diferentes.

Generalmente la primera capa que recubre el sustrato es una lámina de aragonito fibroso, y sobre éste crecen cristales de dolomita, y acumulaciones de moonmilk. Las costras aparecen en casi todas las salas de la cueva, especialmente en la Sala Nevada, en la Sala Roja, en la Sala Final y Sala Blanca y en la transición de los Corales a las Banderas.

■ Costras recubriendo bloques caídos de magnesitas y pizarras.



-  Sustrato: bloque de dolomía
-  Aragonito
-  Glóbulos de "moonmilk"
-  Dolomita

## Distribución de los espeleotemas

Los espeleotemas de la Cueva de Castañar se pueden agrupar en ramosos, fibrosos, masivos y moonmilk. La distribución de estos espeleotemas no es aleatoria, sino que está condicionada por la morfología de las salas, la estructura de la roca y la cantidad de agua disponible. En general los espeleotemas masivos (estalactitas, estalagmitas, columnas, banderas, coladas y gours) se forman a favor de las fracturas y los planos de estratificación de la roca caja.

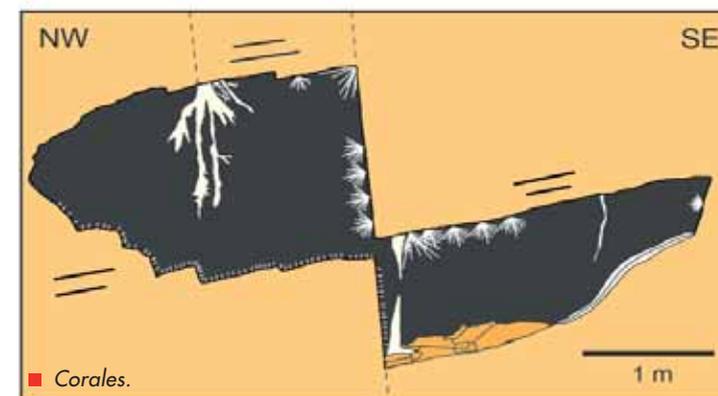
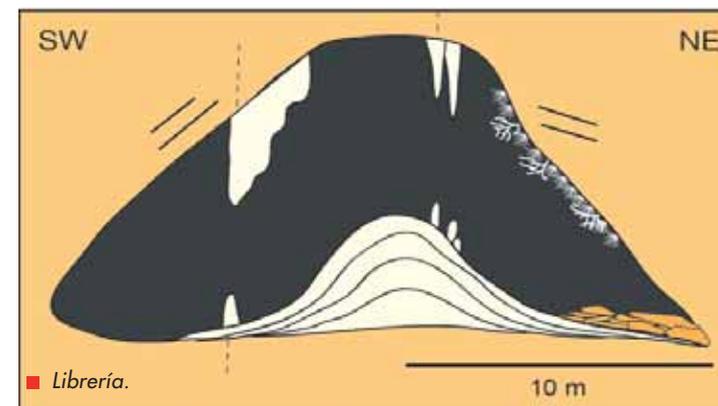
A través de estas fracturas y planos, el agua fluye más cómo-

damente y puede formar espeleotemas de gran tamaño como los de La Librería.

Los espeleotemas ramosos y fibrosos (helictitas, excéntricas y coraloides) se forman sobre las arcillas rojas o directamente sobre la roca. Los pompones más delicados crecen sobre las arcillas rojas debido al aporte lento de agua que reciben de ellas. Este agua no circula de abajo a arriba, como en el caso de los espeleotemas más grandes, sino que asciende por capilaridad.

Los espeleotemas ramosos crecen también sobre otros espeleotemas masivos, además de sobre la roca caja. Tanto los fibrosos como los ramosos suelen aparecer en las paredes. Este de las salas, coincidiendo con el flanco más inclinado de los pliegues.

El moonmilk se desarrolla sobre cualquier otro espeleotema. Normalmente el más húmedo y blando.



■ Esquemas de la Sala de la Librería, la Sala de los Corales y el pasillo de la entrada. Los espeleotemas masivos se forman a favor de fracturas, mientras que los fibrosos se forman sobre las paredes y techos a partir del agua que se circula por pequeños poros de la roca.

### 5.3. Minerales de los espeleotemas

En la Cueva de Castañar se pueden observar diferencias en el brillo y el color de los espeleotemas: algunos son transparentes, otros blancos y otros más beige, unos brillan y otros son mate. Estas diferencias en el aspecto a la composición mineral de los espeleotemas y a los procesos que afectan a estos minerales. A continuación podemos ver en detalle de qué minerales se trata. En la tabla se presenta de forma resumida la mineralogía de los espeleotemas, sus principales características y su origen.

MINERALES DE LOS ESPELEOTEMAS			
MINERAL	COMPOSICIÓN	ESPELEOTEMAS	ORIGEN
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas, gours y rafts.	Mineral primario o formado por transformación del aragonito
Aragonito	CaCO <sub>3</sub>	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas, helictitas, coraloideas, pompones, guirnaldas y costras	Mineral primario. Se forma cuando hay un alto contenido de Mg <sup>2+</sup> en el agua
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Moonmilk, costras y pompones	Mineral formado por transformación de huntita o aragonito
Huntita	CaMg <sub>3</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	Moonmilk y costras	Mineral primario
Hidromagnesita	Mg <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4(H <sub>2</sub> O)	Moonmilk y costras	Mineral primario
Magnesita	MgCO <sub>3</sub>	Moonmilk y costras	Mineral primario
Yeso	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Costras	Mineral primario
Sepiolita	Mg <sub>4</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>15</sub> (OH) <sub>2</sub> ·6(H <sub>2</sub> O)	Moonmilk y costras	Mineral primario
Kerolita	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	Moonmilk y costras	Mineral primario

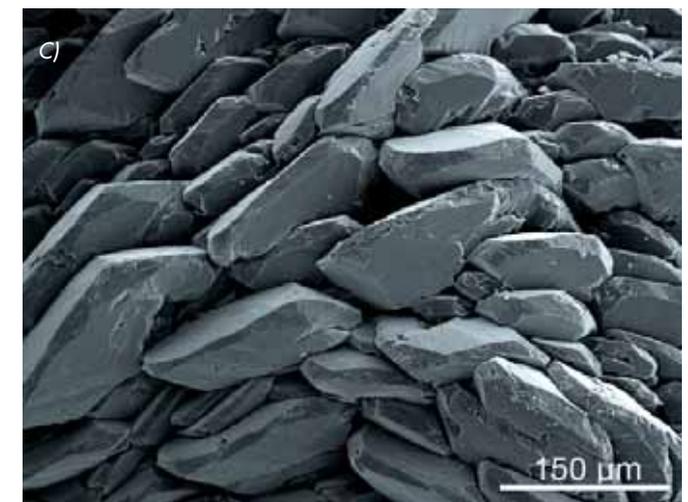
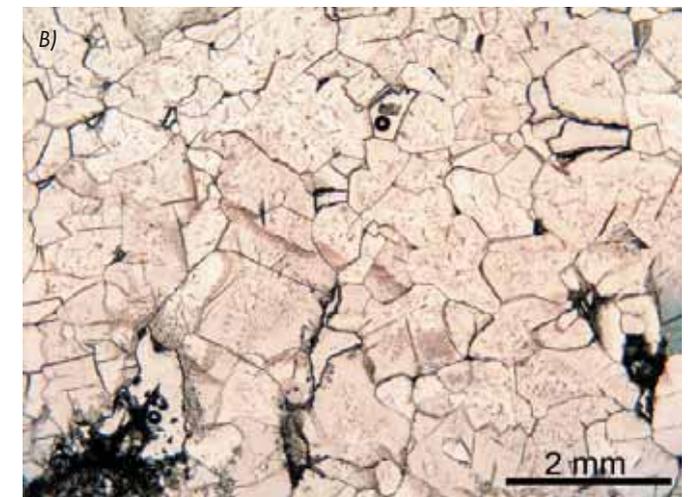
La mayoría de los minerales que forman los espeleotemas son carbonatos. Hay carbonatos de calcio, como la calcita y el aragonito, carbonatos de calcio y magnesio, como la dolomita y la huntita, y carbonatos de magnesio, como la hidromagnesita y la magnesita.

### Calcita

La calcita es uno de los dos polimorfos del carbonato cálcico (CaCO<sub>3</sub>) y cristaliza en el sistema trigonal. En la Cueva de Castañar se puede observar formando parte de coladas, banderas, estalactitas, estalagmitas, gours y rafts. En la cueva se reconoce por su aspecto blanco lechoso y su aspecto masivo.

Cuando se observa a través del microscopio, óptico se ven cristales poligonales transparentes equidimensionales de tamaños que varían ente 0,1 y 1 milímetro.

Su observación en el microscopio de barrido, que ofrece imágenes tridimensionales, nos permite ver la morfología romboédrica de los cristales.



■ A) Cristales romboédricos de calcita (mitad inferior de la foto) y en agujas (mitad superior) formando el fondo y las paredes de un pequeño gour.

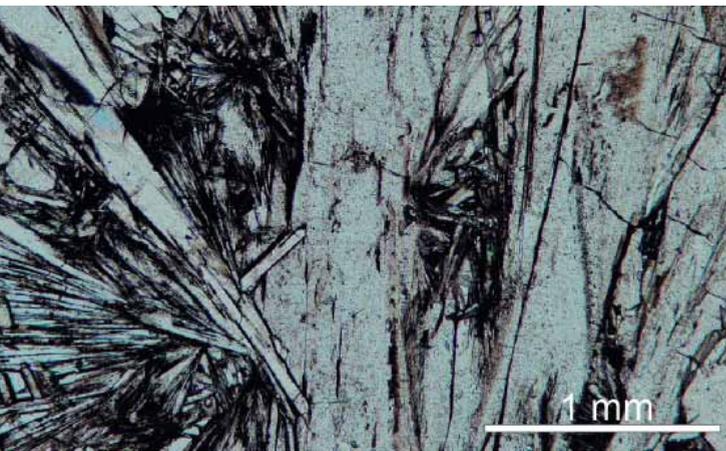
■ B) Aspecto de los cristales de calcita bajo el microscopio óptico.

■ C) Imagen 3D de los cristales romboédricos de calcita y de su disposición dentro de los espeleotemas. Fotografía de microscopio electrónico de barrido.



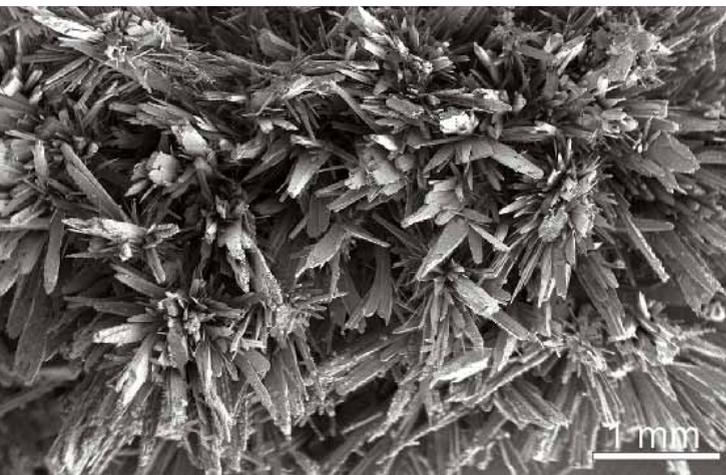
■ Cristales fibrosos de aragonito.

0.5 cm



■ Imagen de aragonito tomada mediante microscopio óptico en la que se puede ver la morfología fibrosa de los cristales de aragonito y el crecimiento en abanico de los cristales a partir de un punto.

1 mm



■ Fotografía de microscopio electrónico de barrido de pompones de aragonito en la que se ve su disposición radial y la morfología tabular de los cristales.

1 mm

## Aragonito

El aragonito es el otro polimorfo del carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) y cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es el mineral más abundante en la Cueva de Castañar y es muy fácil de distinguir por su morfología fibrosa. Los cristales de aragonito forman agujas o fibras que suelen crecer desde un punto común formando abanicos. Unos cristales crecen sobre los otros ramificándose y formando estructuras arborescentes.

Los cristales fibrosos son transparentes y brillantes y pueden tener muy distintos tamaños: algunas fibras de las costras y pompones tienen sólo 2 mm de longitud, mientras que en las flores o excéntricas pueden llegar a medir 10 cm de largo.

Este carácter fibroso se observa a simple vista en los pompones y excéntricas, pero no así en otros espeleotemas de aspecto masivo como las estalagmitas. Sin embargo, al observar éstas en el microscopio, se ve como las láminas que las forman también están constituidas por cristales fibrosos que crecen unos junto a los otros.

## Dolomita

La dolomita es un carbonato de calcio y magnesio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) que cristaliza, al igual que la calcita, en el sistema trigonal.

Este mineral es bastante abundante en distintas zonas de la corteza terrestre, pero en las cuevas es muy poco común, por ello su presencia en Castañar es importante.

A simple vista es difícil de distinguir, pero se puede observar en las costras, en el moonmilk, y sobre todo formando recubrimientos en los cristales de aragonito, dándoles un aspecto mate y a veces anaranjado.

Al observar estos recubrimientos con un lupa o en el microscopio, podemos ver que están formados por esferoides de dolomita, de unos 0,3 mm de diámetro.

Estos esferoides suelen ser transparentes o de color marrón y generalmente presentan bandeados concéntricos.

Otros cristales tienen forma de mancuerna.



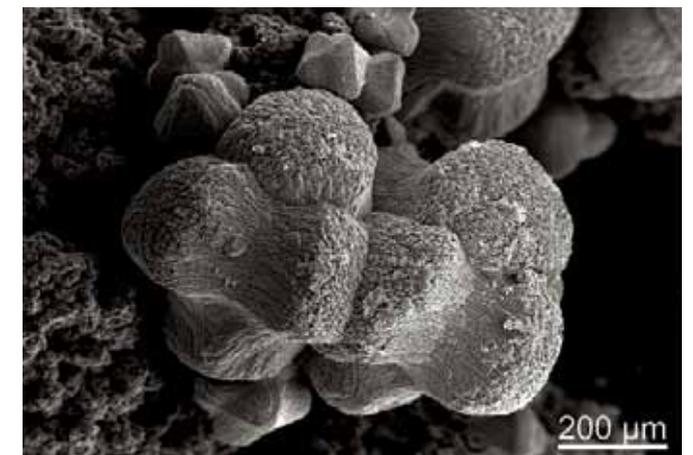
■ Dolomita con morfología esferoidal que crece sobre las pizarras.

1 mm



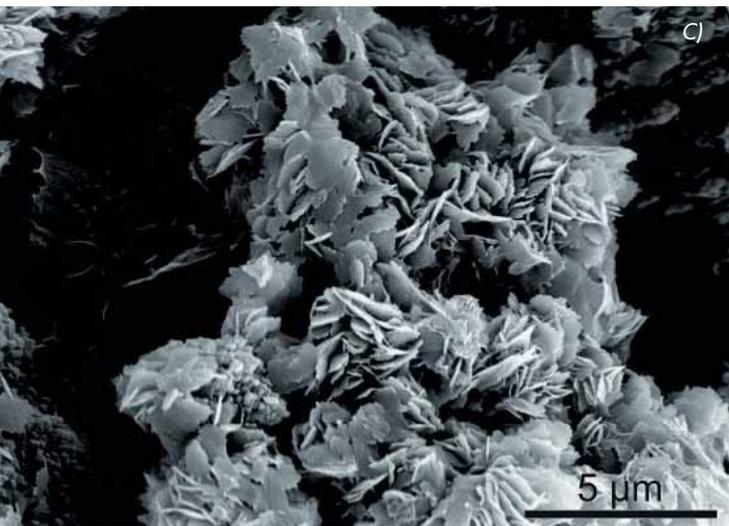
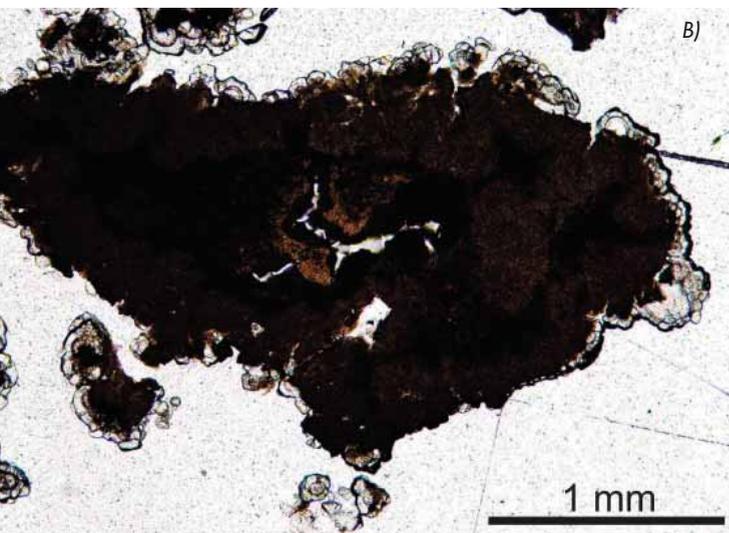
■ Cristales esferoidales de dolomita observados en el microscopio óptico. Presentan un bandeo concéntrico. En la zona inferior se ve como nuclean sobre huntita (masa marrón).

0.5 mm



■ Imagen de microscopio electrónico de barrido de dolomita con morfología esferoidal y en mancuerna

200 µm



## Huntita

La huntita también es un carbonato de calcio y magnesio, pero con mayor cantidad de Mg en su composición ( $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ ). Solo aparece en el moonmilk, donde es el principal mineral.

La huntita presenta un color muy blanco mate, y se reconoce por su aspecto masivo y pastoso. Esta textura se debe a que los cristales de huntita son de pequeñísimo tamaño, unas 4 micras.

Mediante el microscopio electrónico de barrido podemos ver que estos cristales tienen forma de pequeñas láminas con bordes irregulares, como "plaquetas" que se disponen de forma aleatoria.

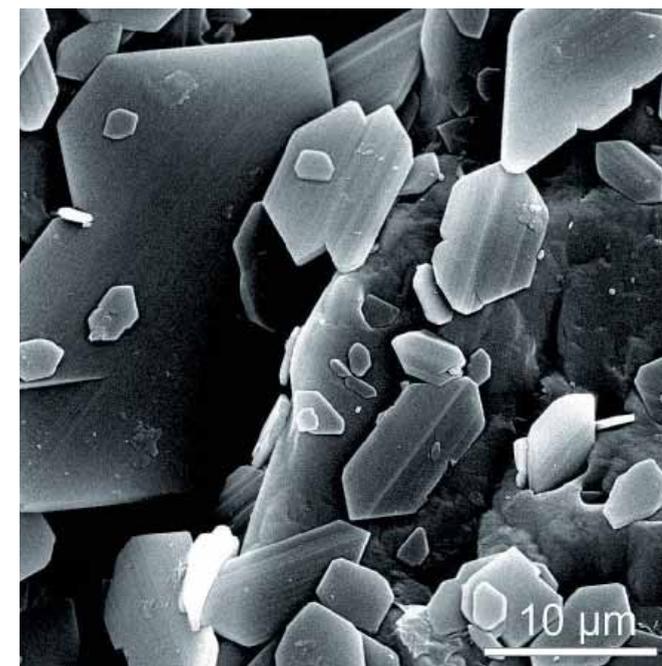
- A) Huntita formando parte del moonmilk en la Sala Blanca
- B) Huntita observada a través del microscopio óptico. Los cristales son tan pequeños que no se distinguen entre ellos y se ven como una masa de color marrón.
- C) Imagen de microscopio electrónico de los cristales en forma de plaqueta de huntita.

## Hidromagnesita

Es carbonato de magnesio hidratado ( $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ ). Forma parte del moonmilk, aunque se presenta en menor cantidad que la huntita.

A simple vista presenta las mismas características que la huntita, porque también presenta cristales de muy pequeño tamaño.

Estos cristales miden menos de una micra de espesor y forman tablillas de bordes muy rectos, a veces de forma rectangular, otras de forma hexagonal.



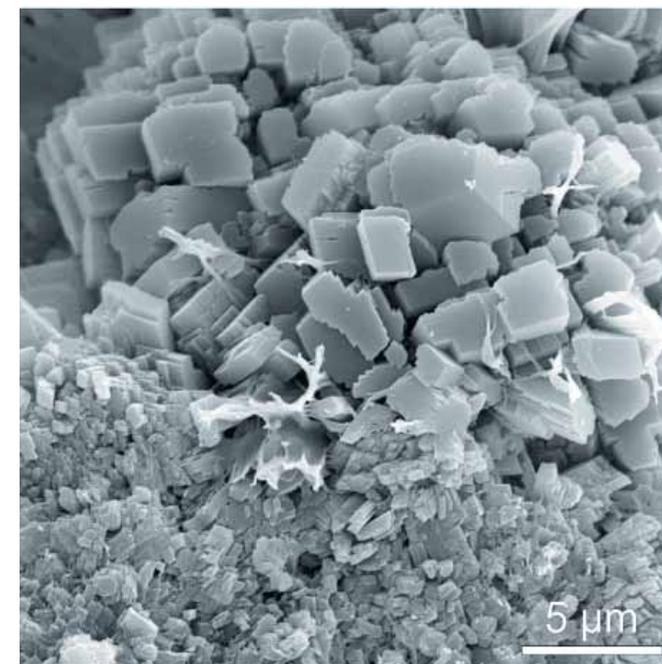
■ Cristales tabulares de hidromagnesita vistos al microscopio electrónico

## Magnesita

La magnesita es el carbonato magnésico sin hidratar ( $\text{MgCO}_3$ ).

En la cueva de Castañar aparece en el moonmilk y su aspecto es blanco y pastoso, pero algo más compacto y masivo que la huntita e hidromagnesita cuando aparece seco.

Forma cristales romboidales equidimensionales de tamaños inferiores a las 20 micras.



■ Cristales romboidales de magnesita en el microscopio electrónico.

## Yeso

En algunas zonas del pasillo de la entrada se han identificado costras globulares de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Muestran un aspecto granular y blanco sucio y están formadas por cristales equidimensionales de alrededor de un milímetro de tamaño.

Es un mineral muy escaso en la cueva.

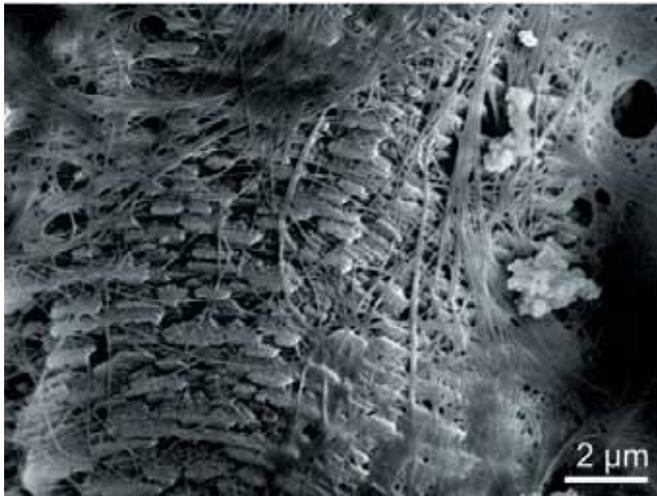


## Arcillas magnesianas

Son minerales muy difíciles de identificar por su pequeño tamaño. Aparecen en el moonmilk, en las costras y en los espeleotemas fibrosos, entrecreciendo con el aragonito, dolomita, huntita y magnesita.

Son sólo visibles en el microscopio electrónico de barrido, donde se distinguen por formar películas y fibras de pequeñísimo espesor y aspecto flexible que rodean y recubren los cristales de otros minerales.

Las fibras miden entre 1 y varias decenas de  $\mu\text{m}$  de longitud y entre 50 y 200 nm de diámetro y pueden entrelazarse formando mallas. Se han identificado dos arcillas magnesianas: sepiolita y kerolita.



■ Fibras de sepiolita rodeando cristales de dolomita. Imágenes de microscopio electrónico.

## Otros minerales de la arcilla

Las arcillas rojas que recubren las paredes de la cueva están formadas por mezclas de muchos minerales. Uno de los grupos más abundantes son los filosilicatos, de los cuales se han podido identificar illita, caolinita, clorita y esmectita. En algunas ocasiones incluyen óxidos e hidróxidos de hierro como hematites y goethita.

### MINERALES DE LAS ARCILLAS ROJAS

MINERAL	COMPOSICIÓN
Illita	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]$
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Clorita	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$
Esmectita	$(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Hematites	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)$
Goethita	$(\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH}))$

■ Composición de los minerales que forman parte de las arcillas rojas de la Cueva de Castañar.

## 5.4. ¿Cómo se forman y transforman los minerales/espeleotemas?

### 5.4.1. La secuencia de formación de los distintos minerales

Dentro de los minerales que forman parte de los espeleotemas se pueden diferenciar dos tipos. 1) Los minerales que se forman directamente en las aguas de la cueva y que son mayoritarios. A estos minerales los llamamos **primarios**. 2) En algunas ocasiones, como ya iremos viendo, estos minerales primarios son inestables y tienden a transformarse en otros más estables, a estos minerales que se forman por transformación de los primarios los llamamos **minerales secundarios**.

Para entender la gran variedad de minerales de la Cueva de Castañar hay que tener en cuenta la presencia de magnesio en las aguas que circulan por la cueva, pues se han disuelto minerales que tenían magnesio.

Tenemos que insistir que si nuestra cueva se hubiera formado sobre calizas, no habría magnesio en el agua y por tanto no se habría formado ni aragonito, ni huntita, ni dolomita. Posiblemente sólo habría espeleotemas de calcita.

Para entender la secuencia de precipitación de los distintos minerales podemos fijarnos en las formaciones de la Sala del Jardín o de las Banderas; en la parte más alta de estas formaciones (la que está pegada al techo), lo que vemos son cristales milimétricos de color beige y bastante poligonales (de calcita) figura pág 97.

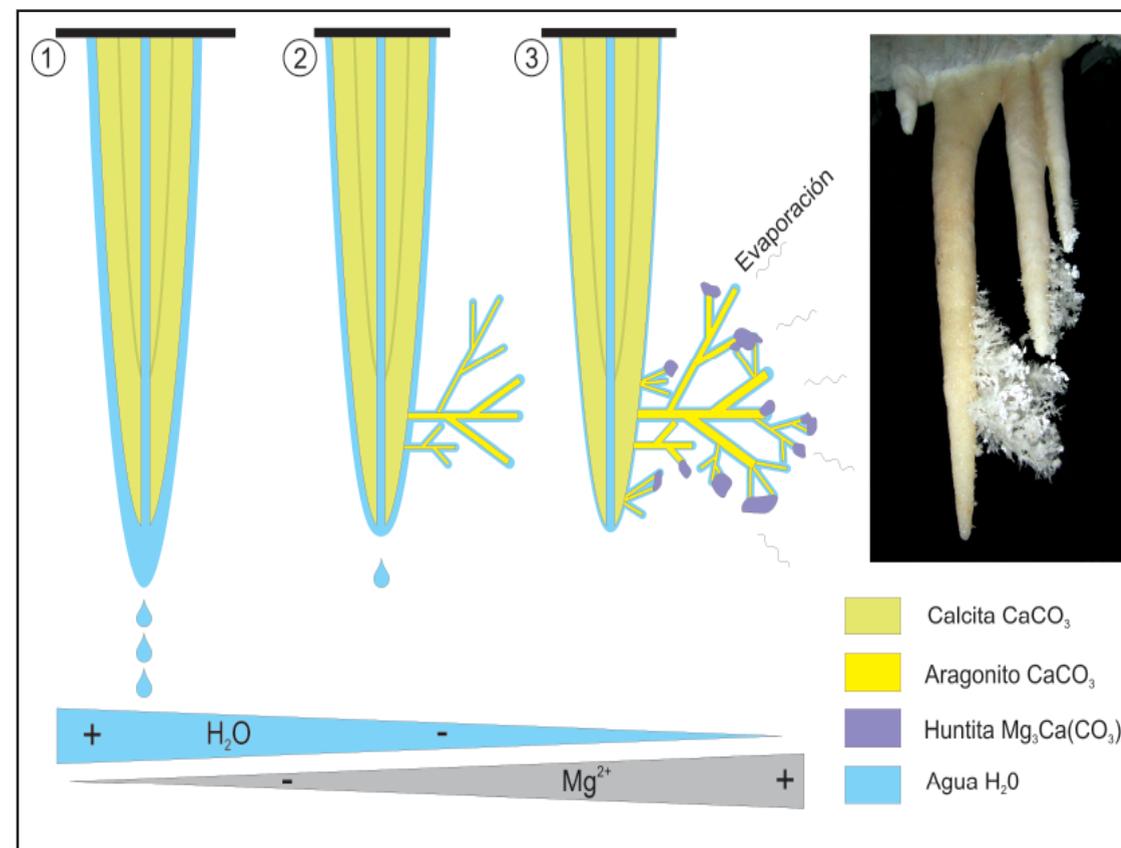
Sobre estos cristales y también hacia la parte más baja de las estalactitas y de muchas varillas, vemos fibras de varios milímetros de cristales muy brillantes y transparentes (aragonito).

Por último, sobre estas fibras vemos unas masas más o menos esféricas, blancas y mates que forman parte del moon-milk, es la huntita. Esta secuencia de formación de los distintos minerales se debe a que según va precipitando la calcita, el agua se carga en magnesio y puede formarse aragonito (si hay magnesio no se suele formar calcita y en su lugar se forma aragonito), a pesar de que ni calcita ni aragonito tienen magnesio en su composición.

Cuando ya queda muy poca agua y se ha enriquecido más en magnesio, pues el calcio se ha gastado en la formación de calcita y aragonito, se formará huntita.

En cuanto a la sepiolita, su origen más probable es la precipitación directa en aguas enriquecidas en Mg en esta misma secuencia de precipitación.

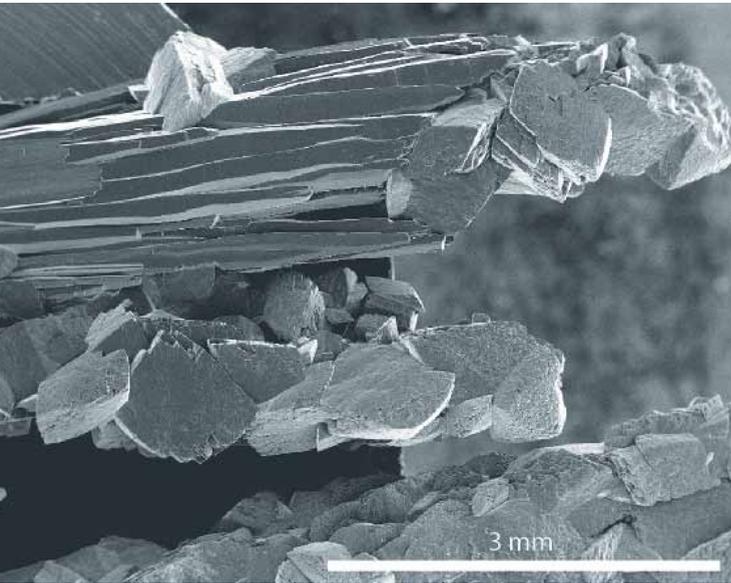
El aporte necesario de sílice en la solución se explica fácilmente por la alteración de las pizarras, areniscas y grauwacas de la roca caja, que están formadas por minerales que tienen mucha sílice.



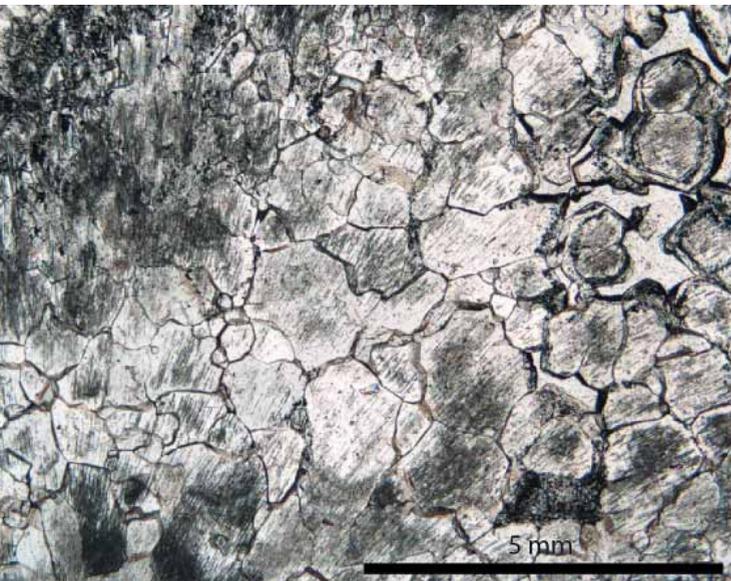
■ Esquema de la secuencia de precipitación de los distintos minerales de la Cueva de Castañar.

- 1) Cuando hay flujos abundantes de agua, se forma la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).
- 2) Cuando los flujos de agua disminuyen, y hay una cantidad relativa mayor de Mg en el agua (porque el Ca se ha incorporado en la calcita) se forma aragonito fibroso.
- 3) Por último, cuando la cantidad de agua es tan pequeña que sólo forma una fina película, e incluso hay procesos de evaporación y el agua tiene aun más magnesio, precipita la huntita. Y si hay sílice se puede formar sepiolita.

### 5.4.2. Transformaciones entre distintos minerales



■ Cristales romboidales de calcita recubriendo cristales fibrosos de aragonito. Imagen de microscopio electrónico



■ Imagen de microscopio óptico donde se observan cristales equidimensionales de calcita dentro de los cuales se distinguen relictos de aragonito fibroso.

Como hemos indicado algunos de los minerales primarios de la cueva no son estables y por ello a lo largo del tiempo se van transformando en otros.

En la Cueva de Castañar los procesos de transformación más comunes son el de aragonito en calcita y el de huntita y aragonito en dolomita.

La transformación del aragonito en calcita comienza con el crecimiento de pequeños cristales de calcita sobre las fibras de aragonito.

Los cristales de calcita siguen creciendo e incluyen las fibras de aragonito en su interior hasta que las engloban y transforman completamente en calcita.

En algunas ocasiones se pueden ver estos relictos de aragonito dentro de la calcita. Este proceso de transformación se llama inversión pues no hay cambios en la composición química, ya que el aragonito y la calcita tienen la misma composición química.

Cuando los minerales primarios son sustituidos por minerales de distinta composición se trata de reemplazamientos, si el mineral secundario es dolomita el proceso es conocido como dolomitización.

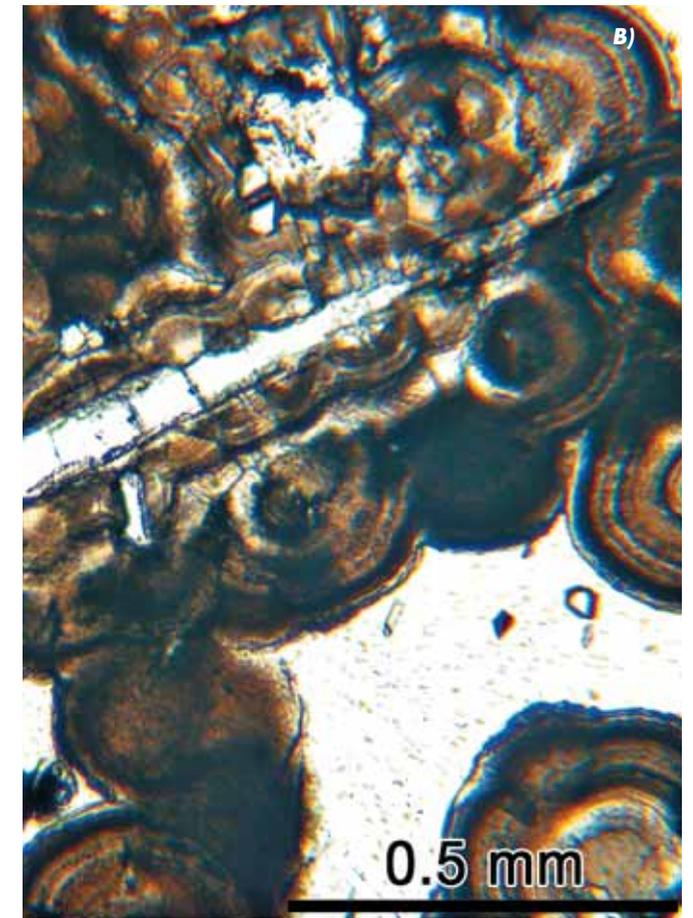
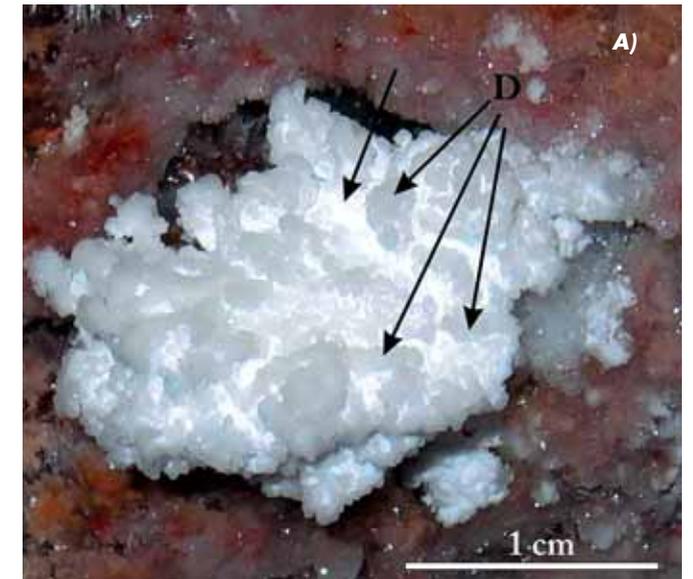
Mediante este proceso la huntita que forma el moon-milk se transforma en dolomita provocando que el moon-milk que normalmente es blando se vuelva duro.

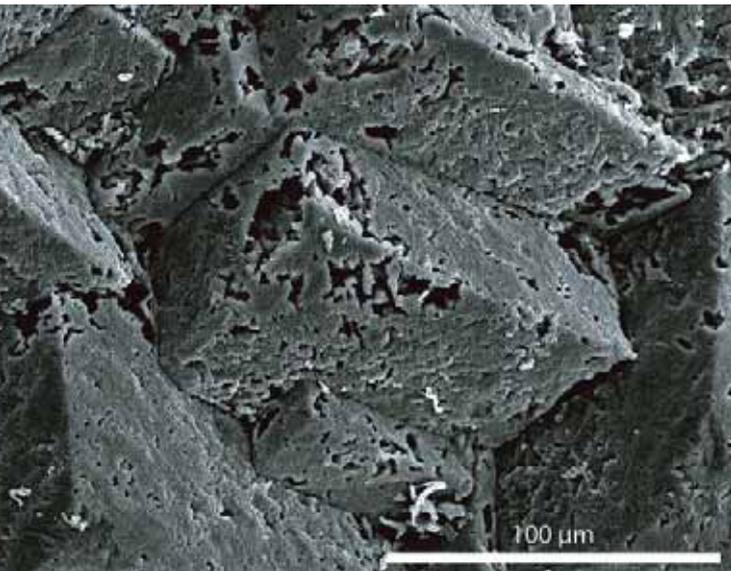
Como la huntita suele recubrir el aragonito, la dolomitización continúa hacia las fibras de aragonito y las transforma también.

La presencia de dolomita en cuevas es muy poco frecuente y hay que tener en cuenta que no es un mineral primario, sino que se forma por transformaciones de los primarios, debido a que en el agua de la cueva queda mucho magnesio, por la disolución de las dolomías de la roca de caja.

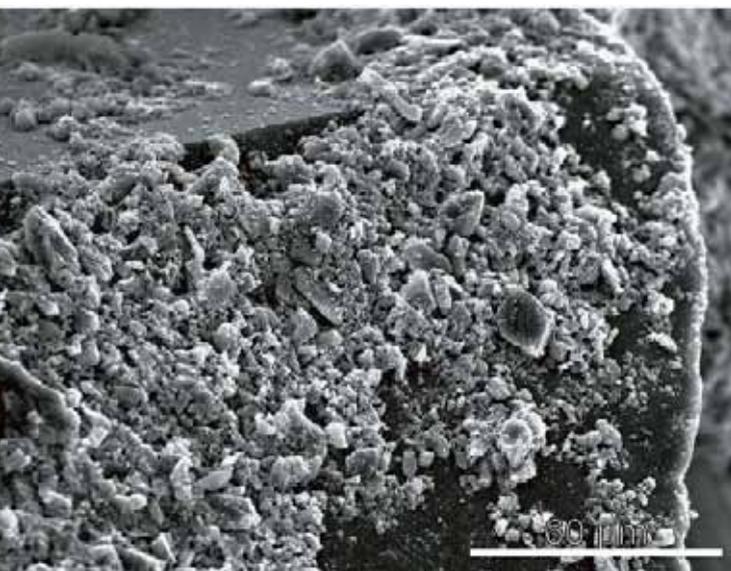
■ A) Glóbulo de moonmilk de huntita transformándose en dolomita. Las zonas más oscuras son ya de dolomita

■ B) Fotografía de microscopio óptico en la que se observa que los cristales oscuros y redondeados de dolomita reemplazan las fibras de aragonito.





■ Imagen de microscopio electrónico de cristales de calcita con pequeños poros producidos por disolución.



■ Micritización de un cristal de calcita. Imagen de microscopio electrónico.

### 5.4.3. Los minerales también se ponen enfermos

Debido a cambios en la composición de las aguas de la cueva o incluso debido a las visitas, a veces los espeleotemas presentan síntomas de destrucción que afectan a su aspecto y a su integridad.

El proceso que da lugar a estos cambios es la disolución.

Para que los espeleotemas precipiten el agua en el que se forman tiene que estar saturada en esas fases minerales (aragonito, calcita).

La entrada de aguas más diluidas, ricas en  $\text{CO}_2$  o con pH más bajos, hacen que se produzca su disolución en distintas etapas, pues las aguas dejan de estar saturadas en esas fases minerales.

En las primeras etapas, la disolución se produce sobre la superficie de los minerales, por lo que sobre ellas comenzarán a aparecer pequeños poros que irán haciendo que los cristales grandes, de aragonito o calcita, se conviertan en cristales más pequeños (micras), que forman un polvo mate



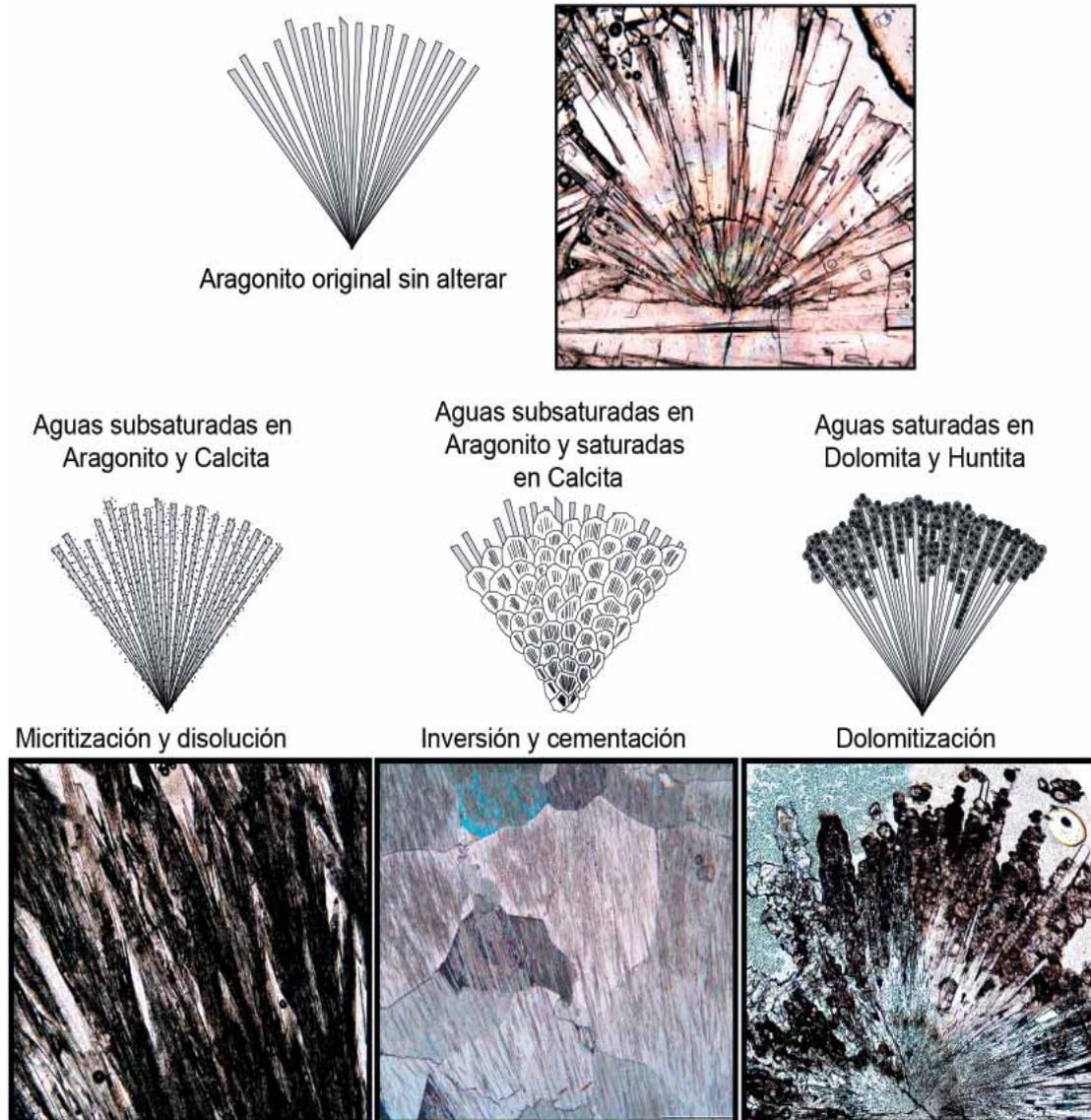
■ Banderas con grandes huecos producidos por disolución.

que queda recubriendo los espeleotemas y que puede ser removido con gran facilidad. Este proceso se llama micritización.

Si el proceso de disolución avanza, lo que se produce es la formación de poros más grandes (centímetros a decímetros) que, si crecen más, terminan por disolver el espeleotema completamente.

Esto lo podemos observar en la Sala de las Banderas, donde algunas de ellas presentan grandes poros visibles a simple vista. Este proceso, lógicamente, se llama disolución.

La siguiente figura resume todos los procesos de transformación que sufren los espeleotemas y el resultado final de los mismos.



■ Esquema en el que se explican todas las posibles transformaciones que sufren los pompones de aragonito.

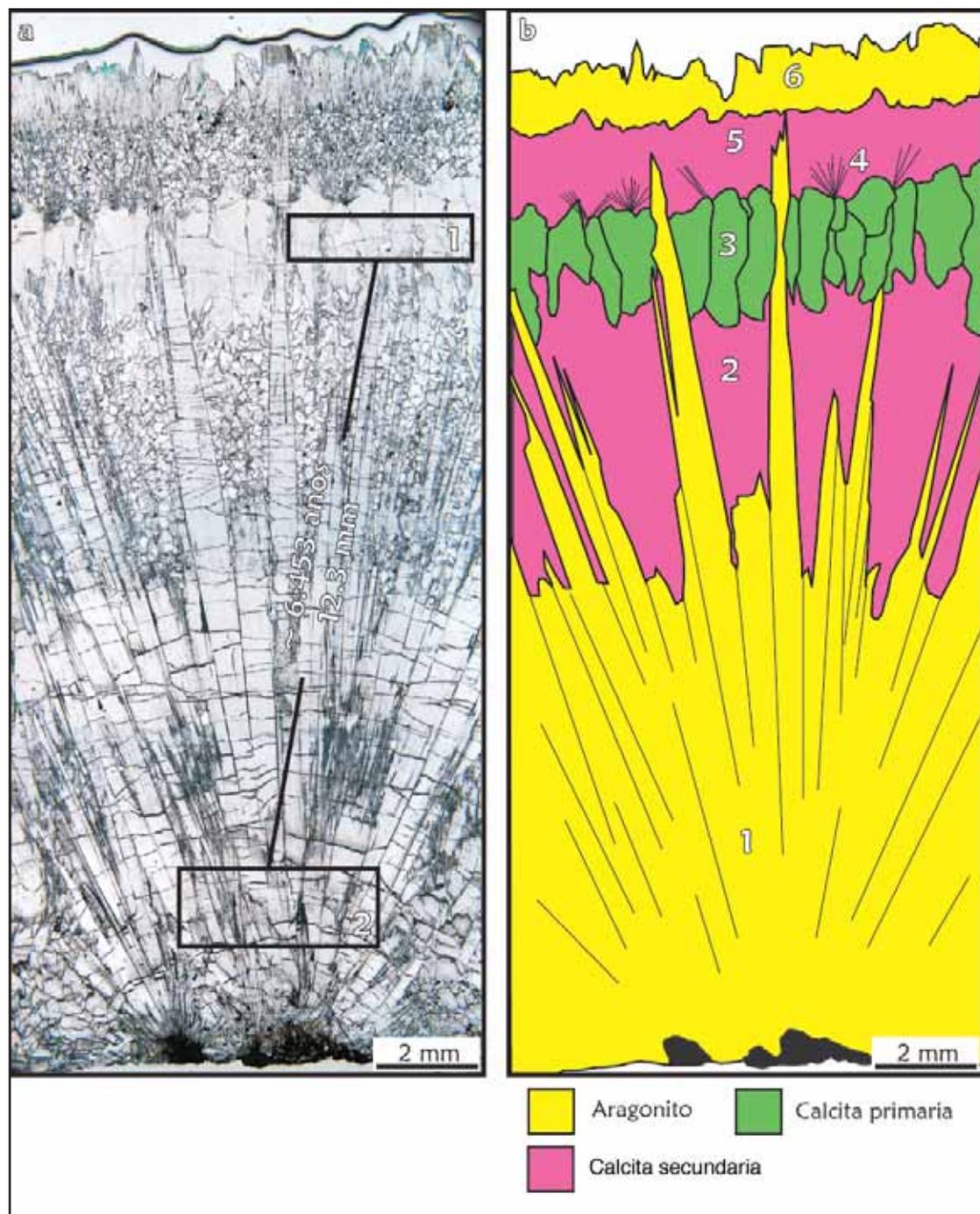
#### 5.4.4. ¿Cuándo se formaron los espeleotemas?

Los espeleotemas de la Cueva de Castañar se formaron cuando ya se habían empezado a formar pequeñas cavidades. La formación de las cavidades se produjo por disolución cuando se empezó a encajar el Río Ibor (alrededor de 2.5-2 Ma) y el agua de lluvia se infiltraba disolviendo los materiales solubles que encontraba. A partir de este momento pudieron empezar a formarse las distintas formaciones de espeleotemas. En la Cueva de Castañar se han datado los espeleotemas con la técnica del U/Th, sin embargo, debido a las condiciones delicadas de la cueva y también a que las formaciones muy antiguas son muy grandes (las coladas de la Sala de la Librería), no se han podido obtener muestras de los espeleotemas que se formaron en las primeras etapas de desarrollo. Los espeleotemas más antiguos que se han podido datar tienen unos 500.000 años y alrededor de 40.000 los más modernos, por lo tanto todos los minerales que se formaron en la cueva son del Pleistoceno.

Agrupando los espeleotemas por edades se ha visto que los más antiguos corresponden, en general, a costras o a fondos de lago mientras que los más modernos son guirnaldas o pompones de aragonito. Esto indica que primero se formaron los espeleotemas que recubren los suelos y posteriormente los que cuelgan. Este crecimiento es muy lento, se ha calculado que en la Cueva de Castañar es de unos 2 mm cada 1000 años.

Las dataciones obtenidas nos dicen que en la cueva los espeleotemas no se formaron continuamente, es decir, que hubo periodos de tiempo en que los minerales de los espeleotemas pudieron crecer y otros periodos en los que no. Estos periodos en los que hubo mayor formación de espeleotemas tuvieron lugar hace aproximadamente 450.000, 230.000, 180.000, 75.000 y 45.000 años.

El hecho de que los espeleotemas se formen en unos periodos determinados tiene que ver con la disponibilidad de agua, ya que sin



■ Imagen y esquema de un espeleotema. Se han datado los puntos 1 y 2 y teniendo en cuenta sus edades y la distancia se ha calculado la tasa de crecimiento. La figura de la derecha muestra las distintas etapas de crecimiento del espeleotema (1 a 6).

agua de goteo no se pueden formar. Esta disponibilidad de agua está relacionada con el clima del área en la que se encuentra la cueva. En el caso de la Cueva de Castañar, aunque los espeleotemas tienen diferentes edades todas pertenecen al Pleistoceno.

Durante el Pleistoceno, en nuestro planeta, hubo varias glaciaciones. Durante las glaciaciones el agua se encuentra en forma de hielo, acumulada en glaciares, y por lo tanto disminuye la cantidad de agua líquida disponible en la superficie, lo que impide que se continúen formando los cristales que hacen crecer los espeleotemas.

Sin embargo, entre las glaciaciones puede haber periodos un poco más cálidos en los que el hielo se derrite parcialmente, llegando más agua a las cuevas y activándose así el crecimiento de los espeleotemas. Estos periodos más cálidos entre glaciaciones se denominan periodos interglaciares y son los más favorables para la formación de espeleotemas.

Durante los momentos de parada en los que no crecen los espeleotemas, (es lo que sucede actualmente), no solo no se forman nuevos depósitos si no que dependiendo de la composición de las aguas pueden llegar a destruirse los ya formados, como ya hemos visto anteriormente.

Los espeleotemas son una importante herramienta científica ya que a partir de ellos se puede saber mucho sobre el clima del pasado. En función del clima, si es más seco o más húmedo, más frío o más cálido, la composición de las aguas de formación de los espeleotemas va variando y eso queda reflejado en la composición química de los espeleotemas. Si se hacen estudios geoquímicos detallados se puede conocer cómo era el agua en que se formaron y también tener una idea de cómo era el clima en el periodo de su formación. Como muchos espeleotemas presentan una laminación interna que representa distintas etapas en el crecimiento se puede saber cómo ha ido evolucionando el clima según se iba formando el espeleotema.



■ Cristales de aragonito nucleando sobre las arcillas rojas que tapizan la cueva.

## 5.5. Las arcillas rojas

En muchas zonas de la cueva de Castañar las paredes están cubiertas por arcillas de un intenso color marrón rojizo, que contrasta fuertemente con el color blanco de los espeleotemas. Estas arcillas pueden tapizar tanto paredes, techos y suelos como bloques caídos, formando recubrimientos cuyo espesor varía entre 1 o 2 mm, hasta 3 o 4 cm. Estas arcillas son muy porosas, pueden ser de textura homogénea o presentar pequeños nódulos, y en muchos casos constituyen el sustrato donde nuclean los espeleotemas fibrosos. Están compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos, filosilicatos y óxidos e hidróxidos de hierro. Los filosilicatos (minerales de la arcilla) identificados son illita, clorita, caolinita y esmectita.



■ Imagen de Microscopio Electrónico de cristales de caolinita creciendo sobre magnetita.

■ Imagen de Microscopio Electrónico de cristales fibrosos de goethita agrupados en forma de estrellas.

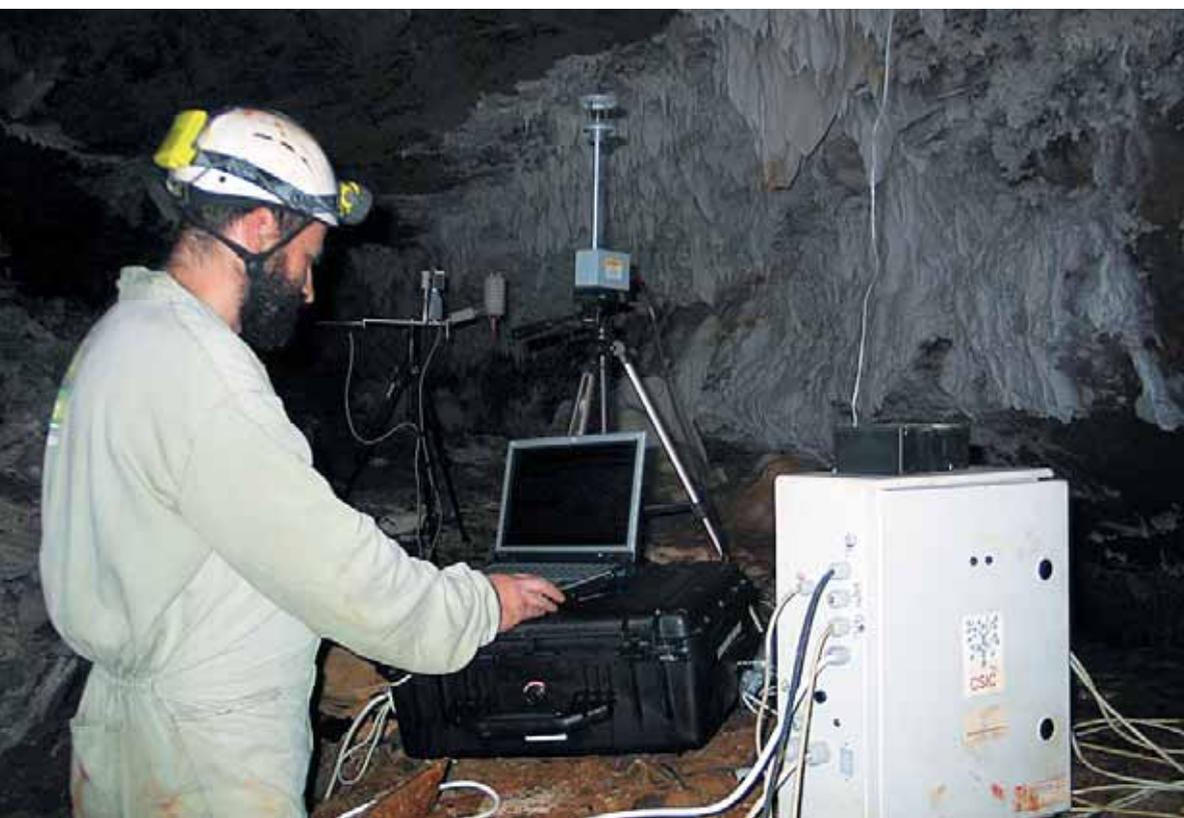
Una pequeña parte de las arcillas rojas llega infiltrada con el agua desde del suelo que está por encima de la cueva. Pero la mayoría de las arcillas se forman dentro de la propia cueva, por la alteración que provoca el agua en los minerales de la roca caja. El cuarzo y los feldespatos así como parte de los filosilicatos proceden de la disgregación mecánica de las areniscas, grauvacas y pizarras.

Otra parte de los filosilicatos se forma por transformación química de los feldespatos (un fenómeno que se conoce como hidrólisis). La disolución de las dolomías y magnesitas, que contienen hierro, da lugar a un residuo insoluble rico en óxidos e hidróxidos de hierro, que intensifica el color rojo de las arcillas. Estos minerales con hierro son: hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y goethita ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O(OH)}$ ).

Condiciones  
medioambientales  
y medidas  
de conservación

La Cueva de Castañar es un claro ejemplo de cómo en determinadas formaciones geológicas confluye el valor científico con la necesidad de su protección, debido a la riqueza y variedad de sus depósitos minerales, y a su extraordinaria estabilidad ambiental. Desde su declaración como Monumento Natural en 1997, la cueva es visitable en un régimen experimental con objeto de garantizar que las visitas no afecten a la conservación de los espeleotemas y no alteren los procesos geológicos que dan origen a las formaciones, permitiendo que se mantenga el equilibrio físico-químico de la cavidad. Con esta perspectiva, tal y como se recoge en el capítulo 2, se han desarrollado desde el año 2003 y hasta la actualidad (2015) varios convenios de colaboración con el Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) para el registro y análisis de las condiciones microambientales, hidrogeoquímicas y de conservación del Monumento Natural “Cueva de Castañar”. En ellos se ha puesto especial hincapié en la evaluación del impacto provocado por la entrada de visitantes en el medio subterráneo, con el objetivo último de aportar el conocimiento necesario que ayude a evitar que en la cavidad se produzcan y desarrollen procesos de alteración y deterioro que pudieran ser irreversibles.

■ *Instalación de los equipos de registro y control microambiental.*



## 6.1. Condiciones medioambientales

### El laboratorio subterráneo de la Cueva de Castañar

Las condiciones ambientales de las cavidades situadas próximas a la superficie dependen directamente de las características climáticas del exterior. En cavidades como la de Castañar, sin un acceso natural que las comunique con la superficie, el valor medio de la temperatura interior está controlado directamente por el de la temperatura externa. Mientras que el grado de variación de la temperatura interna está condicionado por el espesor y el tipo de roca.

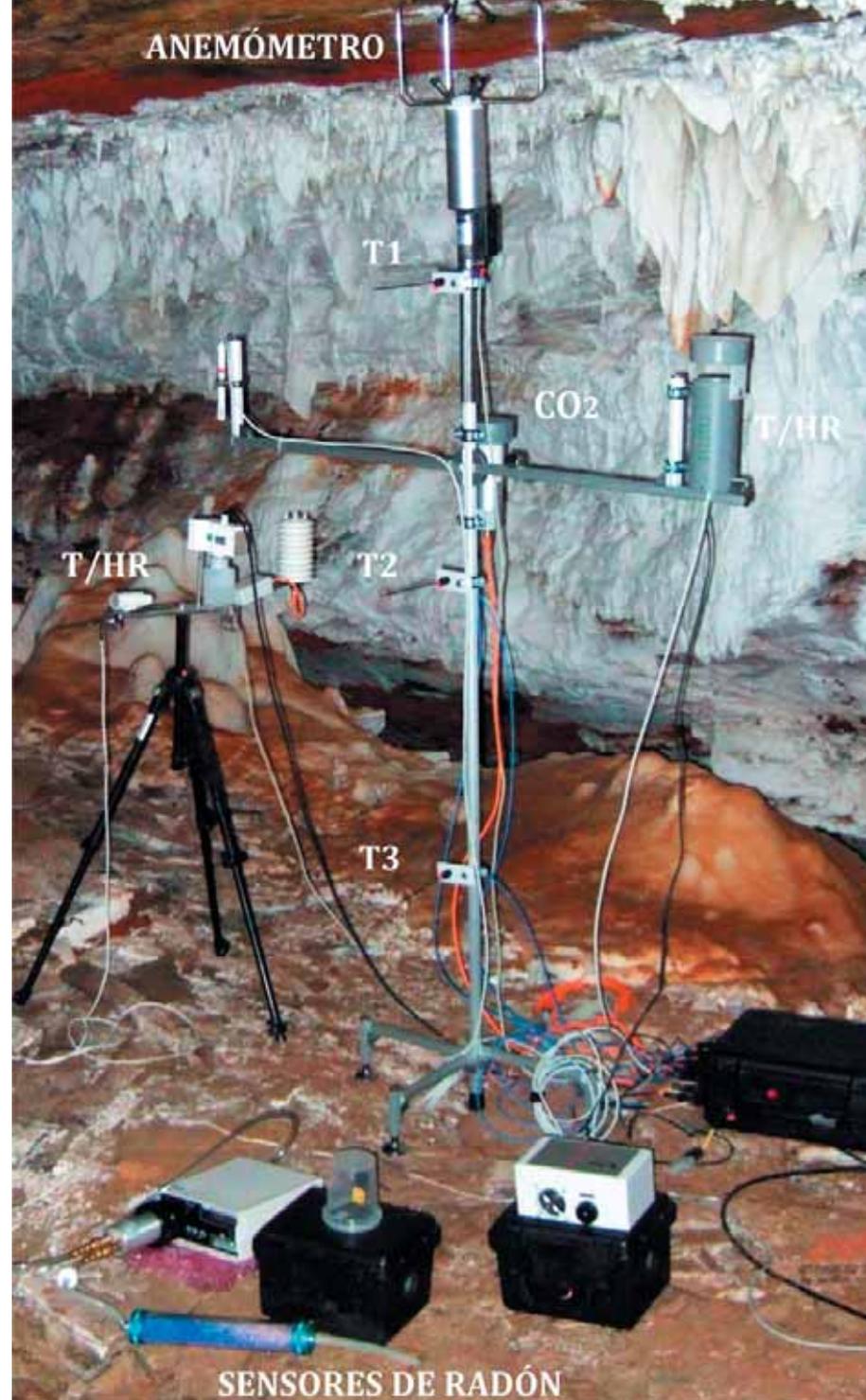
En general, las rocas muestran una oscilación térmica muy baja debido a que son malas conductoras del calor. En el caso de Castañar, los 25 metros de pizarras, dolomías y areniscas situadas sobre la mayor parte de la cueva tienen una gran capacidad filtrante de las variaciones climáticas externas, facilitando el desarrollo de reacciones químicas con tasas muy poco afectadas por las variaciones de temperatura.

Por todo ello, a la hora de estudiar las condiciones ambientales de la cueva, es muy importante conocer también las características del clima externo y poder llegar a diferenciar qué variaciones internas se deben a procesos naturales y cuáles pueden relacionarse con la acción humana.

Desde finales de 2003 la cavidad cuenta con equipos de monitorización en continuo con registro de alta resolución (una medida cada 2 minutos) de los parámetros ambientales más relevantes en la Sala Nevada, Sala de los Lagos y Galería de Entrada.

La estación de control principal se ubica en la zona central de la cueva (Sala Nevada) y está equipada en la actualidad con la siguiente red de sondas: temperatura de contacto con roca, temperatura de aire en un perfil desde el suelo al techo de la sala, contenido en CO<sub>2</sub> y gas

■ Estación microclimática y equipos de medición de gas radón situados en la Sala Nevada.



radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) del aire, sonda calefactada para la determinación de alta resolución de la humedad relativa del aire, dirección y velocidad del aire. Periódicamente se toman medidas in-situ de temperatura, humedad relativa y concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire mediante sensores

portátiles de precisión y calibrados en laboratorio, con objeto de corregir posibles desviaciones del registro de las estaciones.

En la actualidad, se toman muestras de aire de la atmósfera exterior, del suelo externo y de la atmósfera interna de la cavidad, con una cadencia bimestral.

El análisis de estas muestras en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC) mediante técnicas de espectrometría de alta resolución, permite conocer con exactitud la concentración de  $\text{CO}_2$  del aire y de la señal isotópica del carbono contenido en el  $\text{CO}_2$  en diferentes ambientes, así como de otros gases trazadores como el metano ( $\text{CH}_4$ ).

Los datos resultantes son clave para conocer el origen de los gases que componen el aire de la cueva, así como la variación espacial y temporal de los procesos de intercambio de gases entre la cueva, el suelo y la atmósfera exterior.

El control hidroquímico estacional del agua de infiltración que alcanza y se almacena en la cavidad, incluye una red de puntos de goteo en espeleotemas y masas



■ Trabajos de descarga de datos en la estación exterior.



■ Estación meteorológica exterior situada junto a la caseta de entrada a la cueva.



■ Control hidroquímico de las masas de agua en la Sala de los Lagos.

de agua permanentes como las ubicadas en la Sala de los Lagos y Sala de las Banderas.

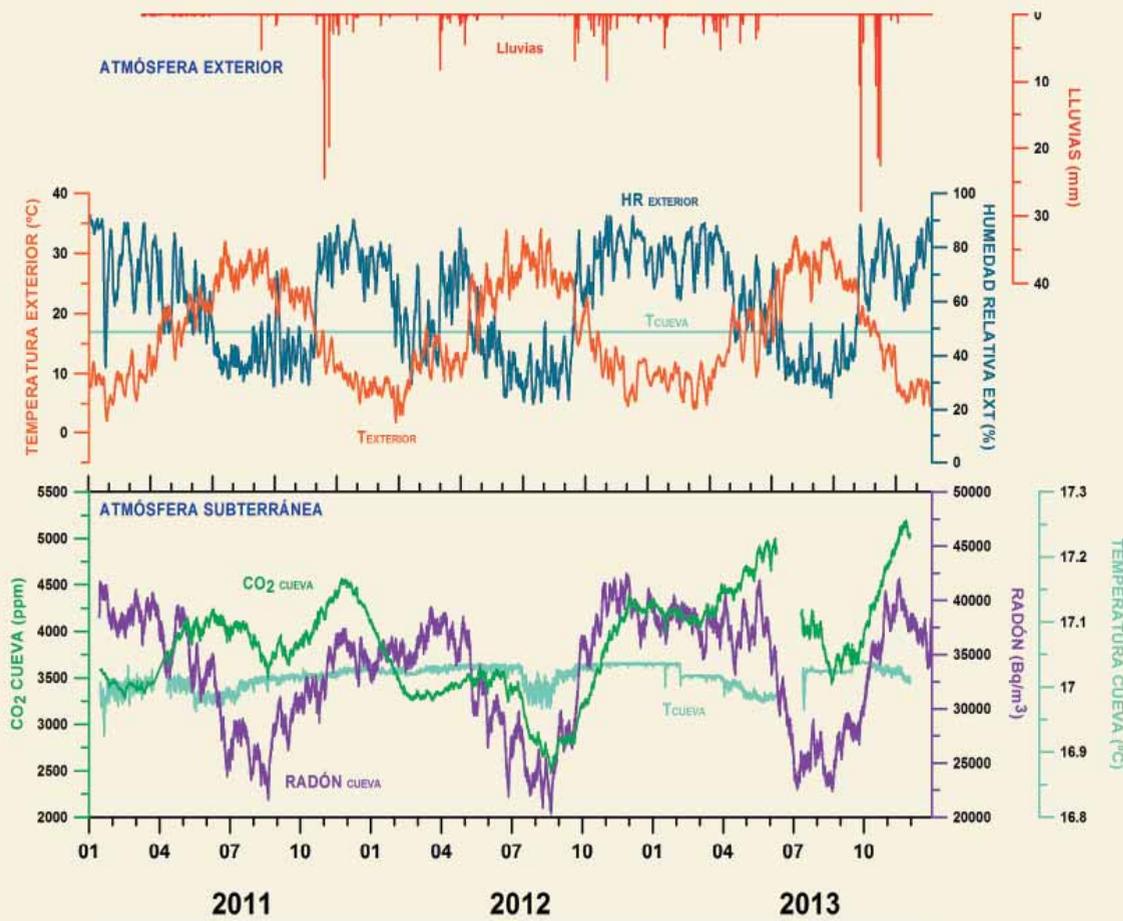
El seguimiento en continuo del nivel, conductividad eléctrica y temperatura de estas masas de agua permite controlar los procesos de evaporación y recarga hídrica, así como la detección de posibles cambios de salinidad o contaminación.

Los análisis químicos completos de las aguas kársticas se realizan en los laboratorios del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), conociendo así el estado de saturación del agua respecto a los principales minerales carbonáticos y el contenido en  $\text{CO}_2$  disuelto en el

agua que determina el crecimiento actual y la tipología de los espeleotemas de la cueva, así como el papel del agua de infiltración como vehículo de transporte del  $\text{CO}_2$  generado en el suelo exterior y transportado al ambiente subterráneo.

### **6.1.1. Condiciones climáticas en el entorno de Castañar de Ibor**

La zona de Castañar de Ibor presenta un clima templado próximo a la semiaridez. La temperatura media exterior durante el período 2007-2014 fue de  $15,9^\circ\text{C}$  con las temperaturas mínimas absolutas registradas entre



■ Evolución de las condiciones climáticas externas y de los principales parámetros microambientales de la cueva durante el período 2011 a 2013.

noviembre y marzo por debajo de los 0° C y las máximas absolutas registradas de junio a agosto por encima de los 40° C.

Desde el punto de vista térmico se reconocen dos períodos bien diferenciados: uno frío de noviembre a abril y otro cálido que abarca desde junio a septiembre, en el que la oscilación térmica es mayor que en la época invernal. Ambos quedan separados por dos períodos templados de transición, los meses de mayo y octubre.

La humedad relativa del aire en el exterior de la cueva es relativamente alta como corresponde a una zona intramontañosa alcanzando valores medios anuales superiores al 60%. Las precipitaciones registradas en los últimos años raramente superan los 500 ml/m<sup>2</sup> de forma que las condiciones ambientales durante gran parte del año se caracterizan por lluvias poco abundantes, concentrándose las precipitaciones principalmente entre octubre y noviembre.

### 6.1.2. Condiciones climáticas en el interior de la cueva

La Cueva de Castañar es un sistema natural muy especial caracterizado por una elevada estabilidad ambiental. Un medio de estas características es muy frágil ante cualquier perturbación microambiental que se produzca en su interior. Por ello es necesario un estudio detallado de sus condiciones ambientales que permita establecer planes adecuados para su uso y conservación.

La cavidad tiene una única entrada, situada a una cota superior respecto al resto de salas y galerías, por la que se accede mediante una escalera que salva un desnivel de 9 m.

Esta entrada está cerrada por una trampilla metálica que sólo se abre puntualmente para el acceso de los visitantes. Una caseta protege el recinto de entrada a la cavidad, actuando como receptáculo aislante frente a las variaciones climáticas externas y como cámara de intercambio previo al acceso a la cueva.

#### Temperatura

Los registros de temperatura llevados a cabo en el interior desde 2003 hasta 2015 confirman que la cavidad muestra una elevada estabilidad térmica. En el caso de la Sala Nevada y la Sala de los Lagos el rango de oscilación térmica natural a lo largo de todo el ciclo anual es de 0,16 y 0,15°C respectivamente, sin considerar los impactos térmicos puntuales y esporádicos producidos por la entrada de visitantes.

La temperatura media anual del aire en la Sala Nevada es de 16,95°C y en la Sala de los Lagos es de 16,97°C.

Las pautas de evolución anual de la temperatura en las dos salas monitorizadas, incluido el efecto antrópico, muestra una mayor estabilidad térmica y una temperatura media ligeramente superior en la zona de los Lagos respecto a la Sala Nevada, debido a su situación más alejada de la Galería de Salida y, por tanto, con menor conexión con el exterior.

■ Instalación y renovación de sensores en el interior de la cueva.



## Humedad

En su interior la humedad se mantiene constantemente en saturación con valores por encima del 99%, suficiente para mantener un continuo grado de humedad sobre las paredes y techos. Ésta es una característica de los ambientes subterráneos muy aislados, con bajas tasas de intercambio con el exterior y escasa oscilación térmica.

## Evolución de la composición de la atmósfera subterránea

La concentración de gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o el radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) es indicativa del grado de renovación del aire de una cueva, y por lo tanto, del intercambio gaseoso con el exterior o con los materiales que engloban a la cueva (suelo y roca). En términos generales, un incremento en la concentración de ambos gases indica un mayor aislamiento de la cueva, mientras que su disminución es indicativa de una renovación del aire de la cueva con aire de la atmósfera externa.

Las variaciones en los niveles de estos gases en el interior de la cueva están controladas por parámetros climáticos como la diferencia de temperatura del aire entre la cavidad y el exterior (que determina el movimiento preferencial de las masas de aire por diferencias de densidad), los cambios de presión barométrica del aire o el régimen de visitas a la cueva (número de personas y apertura/cierre de los accesos). Por su parte, la humedad ambiental y las precipitaciones determinan el grado de saturación de agua del suelo y de las pizarras, dolomías y areniscas que contienen a la cueva. La mayor saturación hídrica de estos ambientes implica una disminución del intercambio de gases a través de la red de fisuras y poros conectados del suelo y de la roca.

La ventilación y renovación parcial del aire de la Cueva de Castañar se produce principalmente durante el verano. Desde finales de mayo hasta octubre la temperatura del aire exterior supera constantemente a la temperatura del aire de la cavidad, la humedad relativa exterior cae por debajo del 60% y las precipitaciones registradas representan porcentajes inferiores al 20% del total anual y están repartidas en un extenso periodo de 130 días. Estas condiciones ambientales favorecen los procesos de evaporación en la zona externa y provocan la apertura parcial del sistema poroso del suelo y la red de fisuras de las rocas encajantes. Por lo tanto, el intercambio de aire entre la cavidad y la

atmósfera exterior se favorece, generándose un proceso de desgasificación siempre moderado, que sitúa los niveles de gases trazadores en sus concentraciones mínimas aunque siempre relativamente altas, entre 3200 y 3400 ppm de CO<sub>2</sub> y en torno a 20000 Bq/m<sup>3</sup> de <sup>222</sup>Rn.

A partir de octubre la temperatura externa se sitúa continuamente por debajo de la temperatura de la cavidad, la humedad relativa en el exterior aumenta de forma significativa y se producen los primeros eventos de lluvia intensos. La conjunción de estos factores provoca un progresivo incremento del grado de humedad retenida en el suelo y la roca que alberga la cavidad provocando el aislamiento de la atmósfera interna. Durante esta fase tiene lugar la recarga de CO<sub>2</sub> y <sup>222</sup>Rn alcanzándose sus máximos niveles anuales (3700-4500 ppm de CO<sub>2</sub> y 35000-45000 Bq/m<sup>3</sup> de <sup>222</sup>Rn, en valores promedio) coincidiendo con la etapa de máxima infiltración de agua en la cueva.

## 6.2. ¿Cómo conservar la cueva?

El control ambiental de la Cueva de Castañar a largo plazo es esencial para su conservación ya que aporta los datos necesarios para establecer los mecanismos de control y vigilancia que garanticen su correcta gestión ambiental y a la vez contribuyen notablemente a la formación y concienciación de sus visitantes.

Los datos aportados por el equipamiento de control ambiental instalados en su interior permiten abordar de forma integral el estudio de las modificaciones que provoca la entrada de visitantes al interior de la cavidad.

La conjunción de los datos microclimáticos e hidroquímicos permite el establecimiento de modelos sobre la evolución de la interrelación aire-agua-roca de la cavidad en diferentes situaciones ambientales, así como a la valoración de los procesos de degradación de la cavidad, tanto de carácter natural como de origen antrópico (causadas por las visitas).

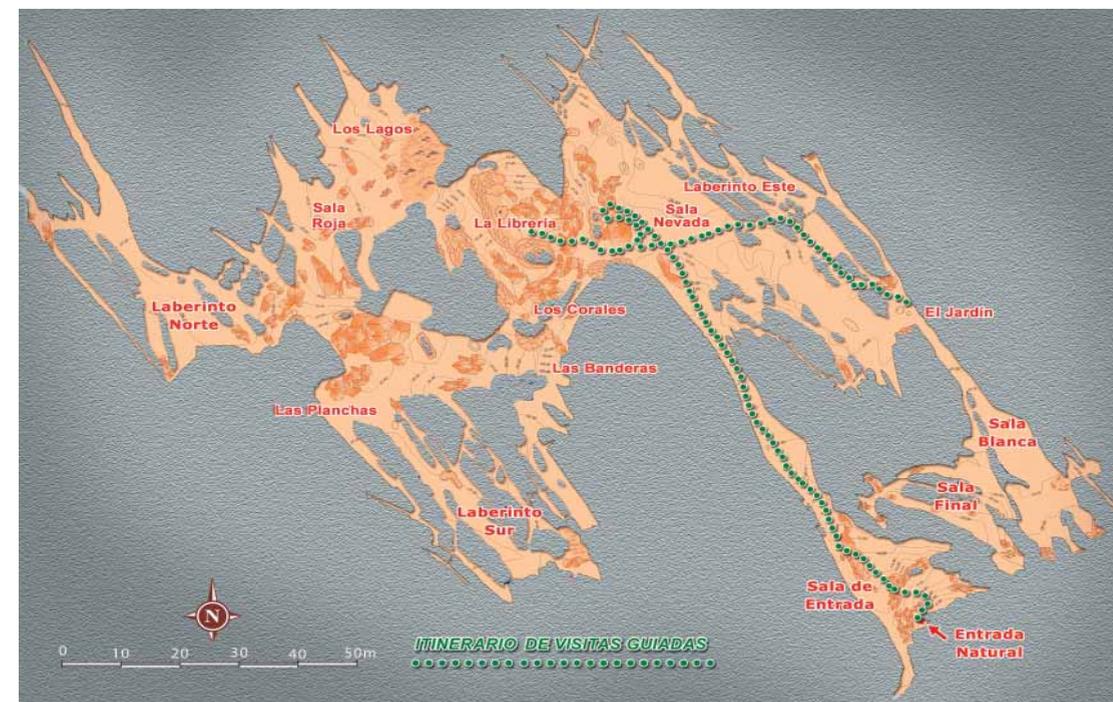
### 6.2.1. Visitas turísticas controladas y ambientalmente sostenibles

La Cueva de Castañar es visitable en un régimen restringido y bajo un continuo control experimental. El tamaño de los grupos de visitantes y la duración y recorrido de las visitas se han establecido según los resultados y recomendaciones de los estudios científicos realizados a lo largo de los años, siendo actualizados progresivamente según los resultados del seguimiento ambiental actualmente en marcha.

Las visitas controladas a la Cueva de Castañar se realizan en grupos reducidos de 5 personas más un guía y con un tiempo de permanencia en la cavidad entre 50 y 60 minutos. El recorrido de las visitas transcurre por la Galería de Entrada, Sala Nevada, Sala de la Librería y por la zona del Jardín, alcanzando ocasionalmente la Sala de los Lagos.

Las intervenciones en el interior de la cueva para las visitas han sido mínimas, reduciéndose a un único sendero señalizado mediante catadióptricos y prescindiendo tanto de iluminación eléctrica fija como pasarelas metálicas.

■ Itinerario de las visitas guiadas.



Los visitantes a la cueva van equipados con casco, luz individual, monos desechables, calzado desinfectado y mascarillas desechables. Las puertas de acceso a la cueva permanecen cerradas una vez que los visitantes acceden a su interior para minimizar el intercambio repentino de aire con el exterior que, en caso de ser prolongado, modificaría el equilibrio térmico y la composición gaseosa del aire de la cueva.

La afluencia de visitantes a la cueva desde su apertura se ha ido regulando en función de los resultados del seguimiento ambiental y de las recomendaciones de gestión ambiental derivadas de estos estudios. En 2004 visitaron la cavidad 1.508 personas con una media de 126 personas por mes, mientras que en 2014, con el nuevo régimen de visitas limitado al período junio-septiembre, entraron un total de 386 personas incluyendo a las guías.

### 6.2.2. Control de la influencia de los visitantes en el microclima de la cueva

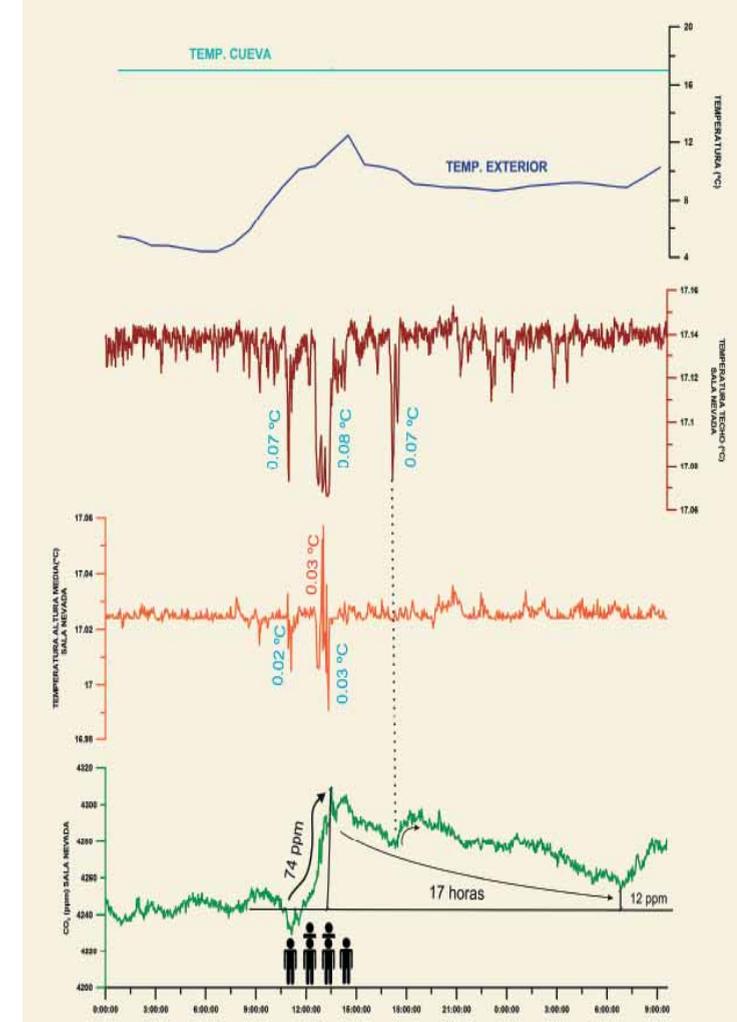
Como ya hemos señalado anteriormente, un sistema físico-químico de tan alta estabilidad como la Cueva de Castañar, es muy frágil ante cualquier perturbación que se produzca en su ambiente.

El efecto de las visitas realizadas bajo un estricto control como el que se está llevando a cabo, aunque moderado en valores absolutos, se traduce en un incremento de la oscilación termohigrométrica y de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire interior que son monitorizados en tiempo real. De esta forma se pretenden evitar fenómenos de deterioro que pudieran ser irreversibles.

A partir de la monitorización microambiental realizada desde 2003 hasta la actualidad (2015) se ha podido comprobar que durante el verano, etapa en la que se produce una moderada renovación natural del aire, el impacto de las visitas es menor y cada grupo provoca ligeros incrementos de la temperatura del aire, de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la humedad absoluta del aire.

La apertura de la trampilla de acceso sólo provoca impactos significativos cuando la visita se realiza en momentos en los que la temperatura externa es menor que la interna, en especial las visitas matinales que se hacían muy temprano.

En el siguiente gráfico puede verse el efecto de una visita experimental realizada en marzo de 2014 en la que se observa como un grupo de visitantes provoca variaciones de la temperatura del aire más marcadas en el techo de la Sala Nevada, así como un incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> que tarda más de 17 horas en recuperar sus niveles naturales.



Por todo ello se ha optado por realizar las primeras visitas a partir de las 12 h del mediodía, consiguiendo minimizar el impacto en el microambiente de la cueva.

En los meses de octubre y noviembre y a lo largo de toda la etapa invernal, el impacto de los visitantes se ve superado en magnitud por otros factores, especialmente las lluvias externas y el efecto de las variaciones de presión atmosférica. Sin embargo, la tendencia al aislamiento de la cavidad en esta etapa provoca que las emisiones de CO<sub>2</sub> de los visitantes se acumulen a la recarga natural de este gas, pudiendo interferir en los mecanismos de precipitación mineral y por tanto en la conservación de los espeleotemas.

En la actualidad la cavidad permanece cerrada al público desde octubre a abril, periodo en el que la cueva se mantiene aislada de forma

■ *Impacto inducido por la entrada de 6 personas, el 4 de marzo de 2014 en la temperatura del aire a dos alturas y en la concentración de CO<sub>2</sub> en la Sala Nevada. Durante toda la visita la temperatura exterior se mantuvo por debajo de la de la cavidad.*

natural pero la relación térmica entre el exterior y el interior de la cueva favorecería una intensa entrada de aire exterior en la cueva durante la apertura de los accesos para las visitas. Durante el resto del año (de mayo a septiembre) solo se visita durante los fines de semana con un intervalo de tiempo entre grupos de visitantes superior a 5 horas, lo que implica un máximo de 4 grupos de visitantes cada fin de semana.

Con este régimen de visitas se permite que la cueva pueda asimilar la entrada de visitantes evitando el efecto perjudicial que supondría la suma de los impactos provocados en los parámetros microclimáticos (temperatura o concentración de CO<sub>2</sub> del aire).

### 6.3. Restricciones de accesibilidad a la cueva por la presencia de gas radón

Uno de los gases que tiende a acumularse en espacios como las cuevas es el gas Radón (<sup>222</sup>Rn), un gas noble radiactivo, incoloro e insípido. Se origina de forma natural en las rocas del subsuelo y tiende a acumularse en los espacios subterráneos poco ventilados. La presencia de este gas radioactivo de baja intensidad en la Cueva de Castañar es indicativa de una tasa de intercambio de aire muy baja entre la atmósfera subterránea y el exterior y además denota la presencia de sus elementos precursores como el uranio y el radio en las pizarras que engloban a la cueva.

El radón se encuentra presente prácticamente en todos los ambientes naturales, pero su acumulación en la atmósfera subterránea de la Cueva de Castañar es más notable que en otras cavidades. Para conocer su concentración en toda la cueva a lo largo de todo el año, se realizan mediciones mensuales de la concentración de Radón en el aire interior en doce puntos diferentes.

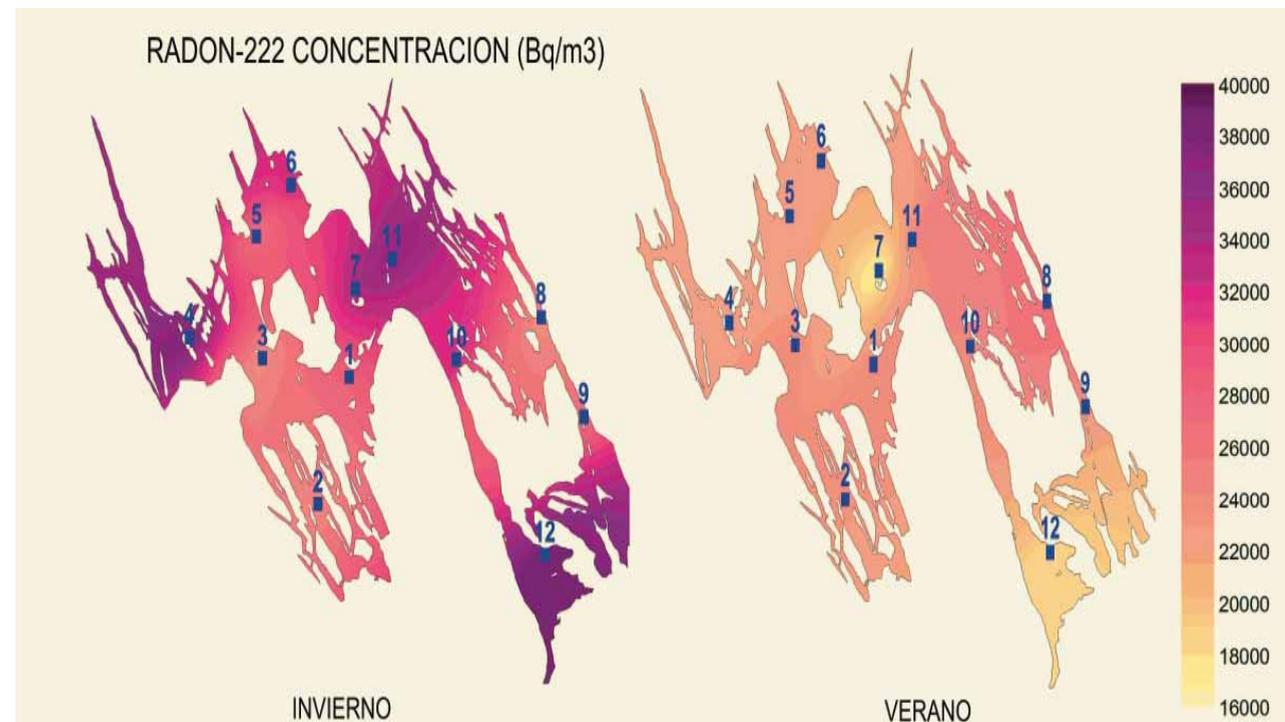
El valor medio anual de la concentración de radón <sup>222</sup>Rn en el aire de la cueva está en torno a 34000 Bq/m<sup>3</sup>, con concentraciones mínimas que se registran entre los meses de julio y agosto (20000 Bq/m<sup>3</sup>, en

promedio) y máximas concentraciones entre enero y abril (40000 Bq/m<sup>3</sup>, en promedio).

En general, una exposición ocasional a esos niveles de radiación ambiental no debe suponer ningún problema pero sin embargo, la exposición continuada a elevadas concentraciones de Radón puede llegar a constituir un riesgo para la salud. Todo ello se ha tenido en cuenta a la hora de diseñar el actual régimen de visitas, en especial en referencia a la frecuencia de acceso y al tiempo de permanencia en su interior de los guías turísticos e investigadores, ya que el riesgo para el público es despreciable debido a su corto tiempo de permanencia.

El seguimiento en continuo de la concentración de gas radón mediante equipos autónomos y el estudio de su comportamiento en relación a otros parámetros ambientales (presión, temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>), ha permitido delimitar los periodos del año más favorables para la realización de visitas continuadas a la cueva (periodo estival), así como cuantificar el tiempo de permanencia idóneo de los trabajadores (guías e investigadores) en conformidad con la legislación europea y estatal vigente en materia de seguridad básica para la protección frente a la exposición a radiaciones ionizantes.

■ Concentración media de gas radón en el aire de la cueva en verano e invierno, medido en doce puntos distintos para conocer la distribución espacial en toda la cavidad.





7

# Biología de la cueva

Las cuevas son biotopos relativamente estables que se caracterizan por sus bajas temperaturas, elevadas concentraciones de minerales y escasez de nutrientes, lo que no impide que de forma natural sean colonizadas por una gran variedad de microorganismos.

Generalmente, las comunidades bióticas que aparecen en las cuevas son poco diversas, con una estructura simple y sensibles a los cambios.

■ Curioso ejemplo de aragonito nucleando sobre un antiguo habitante de la cueva.



Así pues, las cuevas se consideran ambientes extremos para la vida y proporcionan nichos ecológicos para organismos muy especializados. Las comunidades microbianas y animales están en equilibrio y adaptadas a las condiciones naturales.

Pero las cuevas, a menudo, reciben entradas de grandes cantidades de materia orgánica provenientes de fuentes externas, como, por ejemplo, la procedente de inundaciones, visitantes, animales y sus excrementos, etc. que interrumpen un delicado equilibrio conseguido durante muchos milenios.

## 7.1. Impacto de los visitantes

Como se ha indicado en el epígrafe anterior, la presencia de visitantes puede provocar variaciones de temperatura y humedad superiores a las que soporta la cueva bajo condiciones naturales durante todo un ciclo anual.



Esas modificaciones unidas a los aportes de materia orgánica que se transportan desde el exterior, pueden generar una alteración progresiva del microambiente que puede causar un deterioro irreversible a medio-largo plazo.

Debido a su propio metabolismo, cada visitante produce una serie de modificaciones en el microclima interior de la cueva. Estos cambios están inducidos por la radiación de calor a través de la piel, la producción de CO<sub>2</sub> y vapor de agua, así como el consumo de oxígeno mediante la respiración.

La cuantificación de estos aportes depende de las características físicas de cada visitante (peso, altura, edad, etc.), del tiempo de permanencia en el interior de la cueva y de las características de la misma, especialmente el volumen de la cavidad considerada.

## 7.2. Microbiología de la Cueva de Castañar

Como se ha indicado anteriormente la Cueva de Castañar es una "cueva de baja energía" que muestra una gran estabilidad microambiental a través de un ciclo anual, bajo condiciones naturales.

Se trata de un sistema muy sensible a los cambios en las condiciones ambientales, tales como la temperatura y actividades antrópicas.

Un ejemplo de modificación de estas condiciones se produjo el domingo 24 de agosto de 2008 cuando uno de los visitantes vomitó en la cueva a unos 50 m de la entrada. Dos días más tarde (26 de agosto) el lugar del vómito apareció cubierto de hongos. Anteriormente al brote de los hongos no se tenían datos de la microbiología de la cueva.

Este desarrollo explosivo de los hongos en la cueva dio lugar a su estudio durante más de un año, con el fin de proponer medidas para controlar el brote de hongos.

A continuación describimos cómo evolucionó el brote y las medidas que se tomaron para controlarlo.

### 7.2.1. Inicio del brote

En la mañana del 26 de agosto de 2008 aparecieron en la cueva micelios blancos sobre los sedimentos y paredes, a 51 m de la entrada.

El brote coincidió con el periodo de mayor intercambio gaseoso entre la cueva y la atmósfera exterior.



■ Las masas blancas algodonosas corresponden a los micelios de los hongos. Se trata de un brote de *Mucor circinelloides*.

En verano, desde junio a octubre, la temperatura del aire exterior se encuentra por encima de la de la cueva, la humedad relativa externa cae por debajo del 60% y las lluvias representan el 33,4% del total anual, en un periodo de 130 días.

Estos factores provocan la apertura parcial del sistema poroso del suelo superior y de la red de fisuras de la roca madre, lo que favorece la renovación del aire interior, y por tanto, favoreció la dispersión de las esporas de hongos dentro de la cavidad. En apenas 40 horas después del incidente los hongos se extendieron por una zona relativamente amplia en los alrededores del vertido.

La imagen superior muestra el punto de vertido y comienzo del brote fúngico. En los días sucesivos, los visitantes que entraron en la cueva pisaron el suelo y los residuos se distribuyeron por todo el itinerario de las visitas, como demostró la presencia de pequeños brotes de hongos en otras zonas de la cueva.



■ Brote localizado del hongo *Mucor circinelloides*.

A los 20 días del vertido se recogieron numerosas muestras y el estudio llevado a cabo consiguió determinar hasta 30 cepas de hongos en los dos primeros meses, después del vómito. Todas ellas se identificaron como pertenecientes a dos especies de hongos, *Mucor circinelloides* y *Fusarium solani*.

Dos meses después del vertido se reconocieron pequeños brotes de micelios que aparecían temporalmente en el sedimento, a lo largo del itinerario de visitas.

Se detectaron otros hongos como *Mucor racemosus*, *Fusarium oxysporum*, *Chaetomium globosum*, *Mortierella alpina*, *Hypocrea lixii*, *Aspergillus ustus*, *Verticillium leptobactrum*, *Cosmospora consors* y un *Penicillium* sp. La mayoría de estos hongos se consideraron como colonizadores secundarios. *M. circinelloides* y *F. solani* se encontraban aún presentes, pero su abundancia decreció, representando solo el 10% de los aislamientos.

### 7.2.2. Los cuatro meses siguientes

Es difícil seguir la sucesión de hongos sobre la materia orgánica en descomposición hasta su fase final. En la Cueva de Castañar se pudo estudiar la secuencia desde el principio e identificar los colonizadores secundarios que aparecían periódicamente en el sedimento de la cueva. Se recogieron insectos muertos, excrementos de ratones, y los brotes fúngicos que aparecían periódicamente, así se pudieron determinar los distintos tipos de hongos.

El estudio llevado a cabo confirmó que cualquier tipo de materia orgánica introducido en la cueva se colonizaba rápidamente por las esporas de hongos presentes en el aire. En efecto, un estudio aerobiológico indicó que la mayoría de esporas de hongos presentes en el aire se correspondían con los hongos previamente aislados de los sedimentos y de los brotes.

■ Eliminación de brote fúngico en el Jardín.



### 7.2.3. Control del brote fúngico

Teniendo en cuenta la negativa experiencia de la Cueva de Lascaux (Francia), donde los tratamientos con el biocida cloruro de benzalcohol originaron la selección de bacterias resistentes al biocida y la no inhibición de los hongos en algunos casos, se sugirió evitar el uso de moléculas de biocidas orgánicos, que representarían un aporte adicional de material orgánica a la cueva y una fuente de nutrientes para los microorganismos.

Los tratamientos para controlar el brote fúngico incluyeron la remoción mecánica de unos pocos cm del horizonte superficial del sedimento y esterilización con abundante agua oxigenada comercial. Se propuso agua oxigenada porque la molécula, en contacto con la materia orgánica, la descompone en compuestos inocuos para la cueva (agua, oxígeno y anhídrido carbónico) y el producto puede ser aplicado fácilmente por el personal de la cueva sin riesgos para la salud. El tratamiento se repitió cuando fue necesario, y después del brote inicial, la cueva solo presentaba brotes esporádicos de colonizaciones blancas que aparecían de vez en cuando a lo largo del itinerario de visitas. Estos brotes se deberían al transporte de residuos en el calzado de los visitantes, durante los primeros seis meses después del vertido.

■ Control del brote fúngico.



Además, algunos excrementos de ratones mostraban colonizaciones fúngicas que se eliminaron inmediatamente del sedimento y posteriormente se trataron con agua oxigenada. Los excrementos de ratones parecen ser el principal problema de la cueva, que había que atajar, por la contribución de materia orgánica que ello representaba para desequilibrar el balance trófico de la cueva. Para ello se utilizó un marcador fluorescente en un cebo, que permitió localizar los lugares frecuentados por los ratones mediante la fluorescencia de los excrementos y orina. Posteriormente se instalaron trampas para la captura de ratones.

La presencia de ratones en el interior de la cueva se debe a la entrada esporádica de estos a través de fisuras o fracturas de los materiales situados encima de la cavidad.

#### 7.2.4. Aerobiología de la cueva

Para conocer la diversidad de hongos existentes en el aire de la cueva y poder así evaluar el impacto que el brote de hongos del mes de agosto de 2008 tuvo sobre la cueva se procedió a realizar un estudio aerobiológico, consistente en la captación del aire de la cueva y la retención de las esporas de hongos presentes, su cultivo e identificación. El estudio se realizó en enero de 2009.

En estas imágenes se muestran varias placas con el resultado del crecimiento de los hongos tras cinco días de incubación a 25°C. La valoración de estos estudios de aerobiología de la cueva indicó que en el interior de la cueva, aparecían pocos hongos característicos de ambientes subterráneos. La mayoría de los hongos procederían del exterior de la cueva. Esto quedó reflejado en el elevado número de unidades formadoras de colonias (UFC)/m<sup>3</sup> aire del género *Cladosporium*, que es muy abundante en el exterior de la cueva, pero también apareció en zonas no visitables como el Laberinto Norte, Las Planchas y los Lagos, aunque en menor proporción. Esto se debe a que las esporas son transportadas por las corrientes de aire existentes en la cueva desde el exterior hacia las zonas no visitables, por ejemplo al abrir la

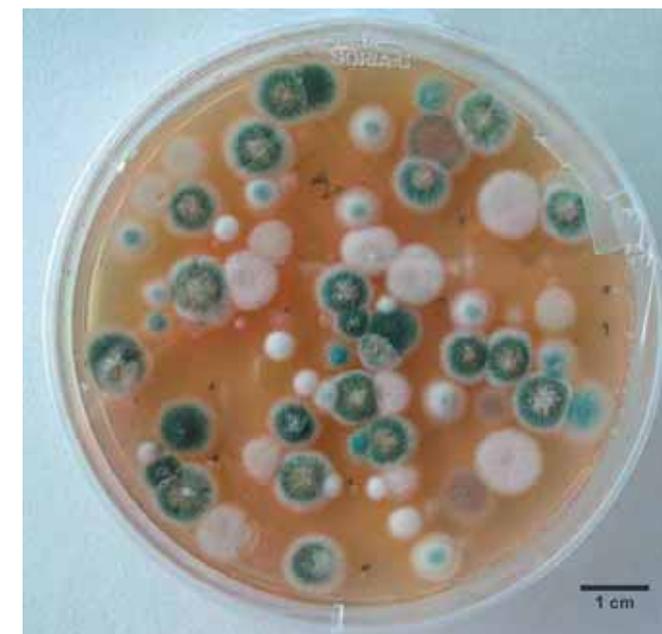
puerta de la caseta en donde se encuentra la entrada a la cueva.

Sucedió lo mismo con el género *Penicillium*. Este aparecía en el exterior de la cueva y en todas las zonas visitables, aunque también en la Sala Blanca (zona no visitable). Estos dos géneros de hongos, *Cladosporium* y *Penicillium*, junto con *Alternaria* son los más abundantes y frecuentes en el aire exterior.

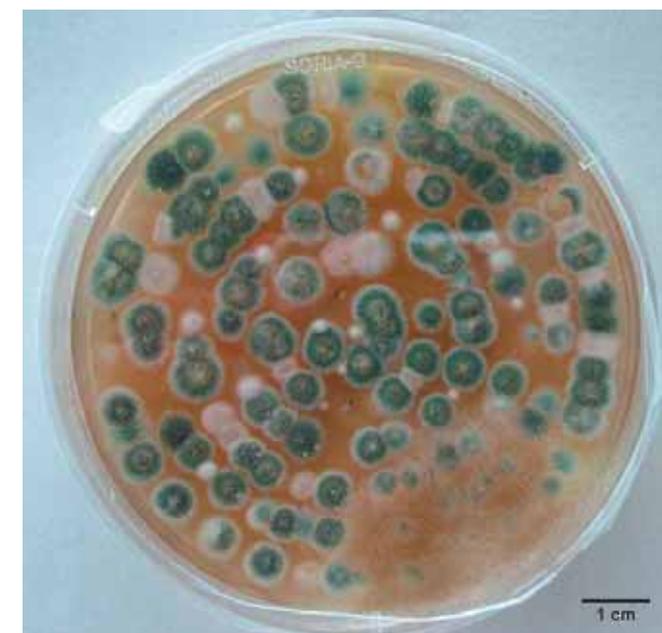
Dentro de la zona visitable, el punto con mayor concentración de UFC/m<sup>3</sup> aire se registró en el Pasillo con 1.798, que correspondió a *Penicillium* sp. y *Penicillium glabrum*. Esto se explicaría por el vómito de un visitante en la zona.

La especie *Penicillium glabrum* fue poco abundante en el exterior de la cueva, sin embargo en el interior de la cueva su presencia adquirió gran importancia. La mayor abundancia de esta especie se encuentra en la Sala Nevada con 1.110 UFC/m<sup>3</sup> aire.

Este hongo es psicotrofo (puede crecer a bajas temperaturas, e incluso a 0°C), xerófilo y se ha publicado que crece en aguas carbonatadas. Esto podría explicar



■ Placa recogida en el Jardín.



■ Placa recogida en el Pasillo.

por qué aparece en mayor abundancia en el interior de la cavidad, ya que encuentra un medio más idóneo para crecer.

El periodo de cierre de la cueva desde el accidente disminuyó considerablemente las concentraciones de esporas de hongos en el aire de la cueva. A ello también debe haber contribuido el método aplicado (eliminación mecánica de los sedimentos contaminados y tratamiento con agua oxigenada).

El cierre ha supuesto un beneficio para la cueva, al evitar las visitas y los posibles aportes de materia orgánica cuando la concentración de hongos en la cueva era muy elevada.

Por el contrario, el cierre no ha afectado significativamente a la concentración de bacterias, distribuidas por paredes, techos y suelos, ya que estos no han sido tratados en su totalidad. Debemos considerar que las bacterias son la población natural de las cuevas, a cuyo ecosistema están adaptadas, y no presenta alteraciones significativas a lo largo del periodo estudiado. No así los hongos, que responden a aportes puntuales de materia orgánica, como el que se produjo el 24 de agosto de 2008.

### **7.2.5. Consideraciones finales**

La actividad microbiana en cuevas depende principalmente del aporte de residuos debido a las actividades humanas. En la mayoría de las cuevas oligotróficas, y la de Castañar lo era hasta el accidente, la actividad fúngica es generalmente despreciable, como corresponde al bajo contenido de carbono orgánico presente en la cueva.

Ello se demostró mediante el análisis de los sedimentos de la cueva, que presentaron valores por debajo del 0,1% de carbono en todas las salas, salvo en el lugar del vertido que alcanzó el 0.28%. El del suelo exterior de la cueva presentó un valor de 2,13%, normal en suelos agrícolas y de bosque.

Las comunidades microbianas de la Cueva de Castañar que se encontraban en un equilibrio biológico, condicionado por las características de la cueva, fue interrumpida repentinamente por el vertido de residuos que generaron un mecanismo de sucesión ecológica en la que los hongos *Mucor circinelloides* y *Fusarium solani* se mostraron particularmente activos en la ocupación de un hábitat nuevo, generado por el aporte de materia orgánica, lo que dio lugar a tasas explosivas de reproducción.

Los resultados obtenidos en el estudio de la Cueva de Castañar y otras cuevas españolas, francesas e italianas, indican que el punto crítico en la conservación de cuevas visitables es el control de la materia orgánica que puede penetrar en el ecosistema.

Los cambios producidos por las actividades de gestión de la cueva, el aporte accidental de materia orgánica, o el enriquecimiento en materiales inorgánicos (por ejemplo, fosfatos, arcillas, etc.) producen un desequilibrio que puede conducir a la rápida colonización por los miembros más activos de la microflora presente en la cueva o bien introducidos desde el exterior. Los colonizadores son capaces de utilizar una variedad de fuentes de carbono, incluyendo los cebos de ratones y sus excrementos.

Siguiendo las indicaciones del estudio microbiológico realizado, la gestión de la cueva se orienta a la eliminación de aportes de materia orgánica, controlando las visitas y la entrada, de forma que no suponga la introducción de carbono orgánico con el calzado ni con las vestimentas. Por ello se utilizan monos desechables, mascarillas, se procede a desinfectar el calzado antes de entrar en la cueva, etc.

Asimismo, se evitan los focos de basuras y residuos orgánicos en las cercanías de la cueva, ya que pueden servir de alimentos a la población de roedores que buscan refugio en la cueva.

Por último, los resultados de los trabajos de investigación muestran la fragilidad de cuevas visitables e indican que las visitas pueden comprometer su conservación, si no están suficientemente controladas.



8

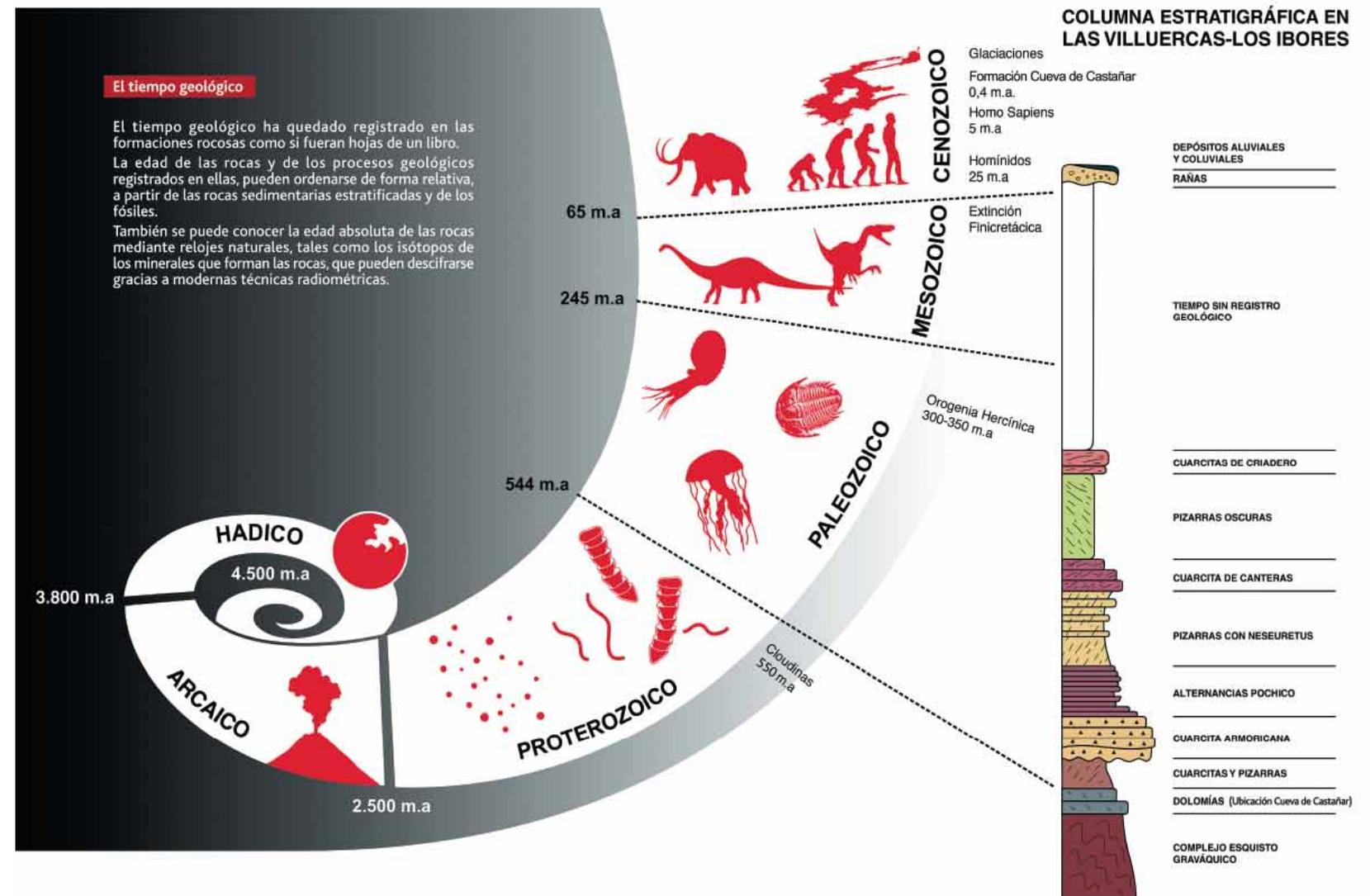
# El centro de interpretación

La declaración de la Cueva de Castañar como espacio natural protegido dio lugar a la construcción de un centro de interpretación que fue equipado y dotado de contenidos con objeto de informar al visitante sobre los valores geológicos y ambientales que motivaron la declaración del Monumento Natural.

En el año 1999, la Junta de Extremadura, promovió la construcción de un edificio sencillo con una nave para exposiciones, un espacio dedicado a reproducir una cueva kárstica, aseos y almacén.

La sala de exposiciones se conformó como un espacio abierto en el que se instalaron paneles explicativos de los procesos kársticos en general y de los valores naturales del entorno. Posteriormente se dotó al centro de vestuarios para la preparación de las visitas a la cueva.

Las dificultades para realizar visitas a la cueva así como la existencia de nueva y actualizada información sobre los procesos geológicos y las características físicas y ambientales del espacio natural, resultado de los estudios científicos



■ Panel sobre el tiempo geológico.

que se vienen desarrollando desde el año 2003, motivaron la remodelación del centro de inter-

pretación durante el año 2010. Se realizó una redistribución del espacio en distintas salas cada una de ellas dedicada a una temática y se amplió la superficie destinada a la exposición.

El nuevo centro se organizó en cinco salas con información referente a: Geología y Geografía; Prehistoria, Historia, Etnología y Medio Biótico; Réplica de la cueva y La Cueva de Castañar.



■ Maqueta de la comarca de Las Villuercas.

La primera sala dedicada a geología y geografía tiene como objetivo informar sobre la Historia Geológica de la Tierra en general y de Las Villuercas en particular.

Esta sala muestra una maqueta de Las Villuercas que sirve para situar geográfica y geológicamente el Monumento Natural así como información de la geografía física y administrativa-económica de la comarca.

■ Sala de Geología y Geografía.

En la siguiente sala se han instalado paneles y audiovisuales sobre la ocupación del hombre en la comarca (Prehistoria e Historia), los recursos geológicos y el hombre y etnografía. Completa la sala información referente a la fauna y vegetación de la comarca. Destaca el panel correspondiente a los pisos bioclimáticos con una representación de las especies características y singularidades como los castaños centenarios y las loreras, entre otras.

A)



■ A) Sala dedicada a mostrar la riqueza natural y cultural de Las Villuercas.

■ B) Panel sobre los recursos Geológicos y el hombre.

■ C) Panel que muestra la fauna característica de la comarca.

B)

## LOS RECURSOS GEOLÓGICOS Y EL HOMBRE

Desde la antigüedad el hombre ha extraído de la naturaleza las materias primas con las que ha fabricado sus herramientas, los objetos de adorno y lujo y su habitación.

Una parte muy importante de estas materias primas, y tal vez las primeras, proceden del mundo geológico y mineral, de donde se han aprovechado las rocas, las piedras de los diversos materiales, y los metales en estado nativo o mineralizado.

La evolución del conocimiento humano ha ido desarrollando capacidades más específicas, desde la fractura en su menor conjunto de la masa de silicio o de cuarzo, para construir una herramienta lítica, al aprovechamiento de los metales nativos

invertebrados, o posteriormente la mejora tecnológica de la fundición con la utilización de moldes.

El manejo de los metales ha sido fundamental para calentar y transformar algunas rocas, como las que se utilizan para la obtención de cal, así como las tecnologías de fundición de minerales metálicos como el plomo, el cobre o el hierro.

Para además el hombre ha aprendido a leer en el mundo geológico las trazas de esos recursos para obtenerlos, desde la simple recogida superficial de algunos de ellos, pasando por el lavado de la tierra para la obtención de cenizas y coque con la explotación de canchales y minas.



Bloque de canchales



Canchales de Canchales (p. IV y C.) del centro-sur de la España (Mármol)



Canchales como muestra de Canchales



Traseros de Canchales



Bloque del Canchal de Canchales (página IV y C.)



Canal en el Valle de Chelva

Facilidad de piedra en Plaza de San

Traseros de Canchal de Canchales

C)

## FAUNA DE LAS VILLUERCAS-LOS IBORES

Las sierras y valles de Las Villuercas albergan una exuberante naturaleza, con multitud de especies de flora y fauna. Estos valles naturales motivaron su declaración como Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) desde el año 2000, y también Lugar de Interés Comunitario (LIC).

Los singulares roquedos y canchales serranos albergan numerosas poblaciones de aves rapaces. Estas montañas acorralan también una variada comunidad de pequeños carnívoros como gatos monteses, gorriones, tejones, comadrijas, jinetas y nutrias.

Los magníficos y variados bosques de Villuercas albergan una importante población de aves forestales.

En las numerosas arroyos y ríos encuentra refugio una gran diversidad de arribas y repiles.

Las antiguas minas y túneles abandonados hacen de esta comarca una de las más importantes de España para muchas especies de murciélagos amenazados. Además, son abundantes las especies cinegéticas de caza mayor, como ciervos y jabalíes, aunque destaca la abundancia de corzos.



### BOSQUES Y SOTOS

- |                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| 1 - Azor        | 13 - Ibis común        |
| 2 - Gavilán     | 14 - Mito              |
| 3 - Milano real | 15 - Aguilón común     |
| 4 - Búho chico  | 16 - Trogón azul       |
| 5 - Cernícalo   | 17 - Papamosa gris     |
| 6 - Azor        | 18 - Curruca capoteada |
| 7 - Avoreado    | 19 - Colaptes rojo     |
| 8 - Pico alpino | 20 - Mosquero común    |
| 9 - Pico negro  | 21 - Zorzal común      |
| 10 - Chacabuco  | 22 - Búho nocturno     |
| 11 - Chacabuco  | 23 - Pájaro volador    |

### MONTAÑAS Y ROQUEDOS

- |                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| 1 - Pájaro de las montañas | 9 - Colaptes rojo  |
| 2 - Chacabuco              | 10 - Búho nocturno |
| 3 - Cernícalo              | 11 - Búho chico    |
| 4 - Jinetas                | 12 - Búho real     |
| 5 - Búho chico             | 13 - Búho real     |
| 6 - Búho chico             | 14 - Búho real     |
| 7 - Búho chico             | 15 - Búho real     |
| 8 - Búho chico             | 16 - Búho real     |



A continuación se sorprende al visitante con una réplica de la cueva donde se reproducen espeleotemas que destacan por su belleza y singularidad como son los cristales de aragonito, estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, gours, etc. Los juegos de luces, texturas y colores pretenden sumergir al visitante en un espacio que simule la cueva y aporte sensaciones parecidas a la visita real.

■ Réplica del interior de la cueva.



■ Réplica de los espeleotemas más característicos de la cueva.



■ Sala dedicada a mostrar la riqueza cultural y natural de la comarca.

La siguiente sala ofrece una amplia y detallada información sobre la cueva. Hace un recorrido desde su descubrimiento en el año 1967 hasta los últimos datos sobre la geología y el microambiente de la cavidad obtenidos de la realización de los estudios científicos.

Así en esta sala se muestran audiovisuales sobre el karst, génesis de la cueva, parámetros microambientales medidos en su interior, interpretación de los datos registrados e influencia de las visitas sobre el sistema físico-químico que reina en el interior de la cueva.



■ Sala dedicada a la Cueva de Castañar.

Se muestran paneles con planimetría y distribución de las salas y sus transformaciones a lo largo del tiempo de la cueva, los distintos tipos de espeleotemas con esquema de formación, descripción y origen de las formaciones cristalinas de la cueva.

Toda la información mostrada en esta sala ayuda al visitante a entender la cueva como un laboratorio natural y comprender la importancia del control de las visitas en la conservación de la cueva.



## LA CUEVA Y SU CONSERVACIÓN

### La Cueva de Castañar: Un laboratorio natural

La Cueva de Castañar es un sistema en equilibrio, en el que apenas existen intercambios con el exterior. Es una cavidad que sus espacios dominan "de baja energía", lo que significa que en ella existe un estado de equilibrio muy frágil.

Confinada entre las formaciones pizarrosas, sus condiciones geológicas han dado lugar al aislamiento de un micro-clima subterráneo de una gran estabilidad. Sin corrientes de aire y con flujos de agua muy reducidos, ha desarrollado lentamente la gran variedad de espeleotemas que recubren su interior.

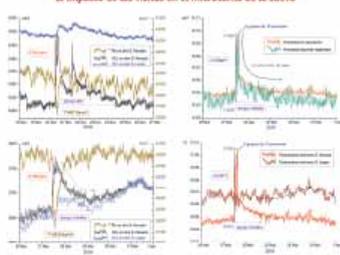
La temperatura de la cueva se mantiene en unos invariables 17°C – la oscilación térmica es de tan sólo 0,1°C – y la concentración de CO<sub>2</sub> (Óxido de Carbono) y la humedad relativa del aire, próxima al 100%, son también muy constantes.

La Cueva de Castañar es un laboratorio natural singular a nivel mundial, en el que los minerales que se han formado (calcita, aragonito, dolomita, humita, arcillas) a lo largo de cientos de miles de años, siguen formándose y transformándose, dando lugar a una gran variedad de espeleotemas con un grado de conservación excelente.



Equipos de medición en la sala de los Lagos

### El impacto de las visitas en el microclima de la cueva



Ejemplo de las grandes variaciones en la monitorización de parámetros ambientales en la Cueva de Castañar. Se evidencia claramente cómo se alteran los parámetros de grado de CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura, cuando la cueva es visitada.

### La necesidad de proteger las condiciones de la Cueva de Castañar

La fragilidad de sus equilibrios ambiental, hídrico y mineralógico, y de sus formaciones cristalinas, hacen absolutamente necesaria la máxima protección de la cueva.

Muchos de sus minerales son extremadamente delicados, como las fibras de aragonito o las arcillas que tapizan las paredes. Cualquier alteración de su entorno puede afectar a los procesos que se vienen produciendo durante tanto tiempo.

Para darnos cuenta del daño que los visitantes podemos producir en la cueva sólo tenemos que imaginarnos pisando o tocando, aunque sea sólo querer, los finos agregados cristalinos o las blandas arcillas. Los cristales se romperían, las arcillas se nos quedarían adheridas y mancharíamos otras zonas de la cueva. Incluso la respiración de un grupo de personas alteraría el delicado micro-clima y el ambiente arraigado con el trabajo lento y callado de miles de años. Por ello, las visitas son limitadas en función de los resultados de los estudios científicos.

Para poder seguir contemplando y dar a conocer este tesoro que ha llegado hasta nosotros, se ha creado este Centro de Interpretación.

■ Panel sobre las condiciones medioambientales y el impacto de las visitas.

La visita al centro de interpretación culmina con una recreación virtual del interior de la cavidad mediante la proyección de un audiovisual en 3D. Se proyectan imágenes de gran belleza y calidad que permiten al visitante

■ Sala de proyección del audiovisual 3D.



tener la sensación de estar dentro de la cueva, escuchando los peculiares sonidos, viendo y casi tocando las formaciones.

El centro de interpretación del Monumento Natural "Cueva de Castañar" además realiza la función de centro de información sobre otros espacios naturales de la Comarca y como centro colaborador del Geoparque Villuercas-Ibores-Jara.

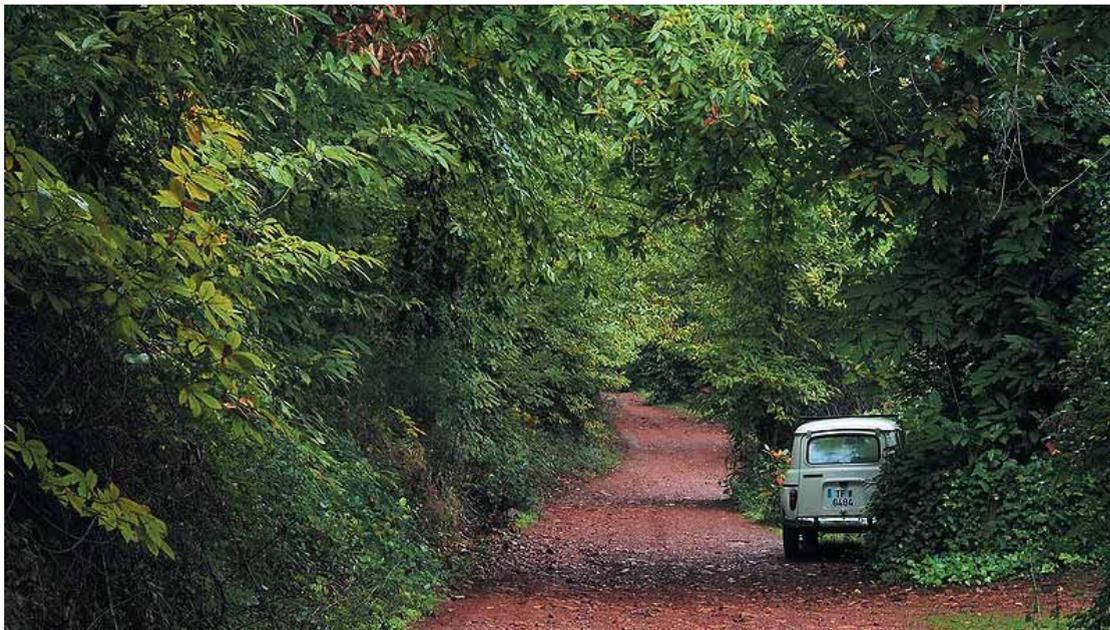
En el centro se lleva a cabo una importante labor de educación ambiental no solo mostrando el centro a los grupos concertados de alumnos de educación primaria y secundaria así como visitantes procedentes de otros ámbitos, sino también organizando talleres relacionados con distintas disciplinas geológicas tales como búsqueda de fósiles o bateo para encontrar oro.

Asimismo desde el centro se ofrece la posibilidad de realizar rutas senderísticas para conocer los valores naturales del entorno como es

■ Sendero de acceso a la cueva.



■ Panel situado en el itinerario de acceso a la cueva.



■ Ruta de los Castaños de Calabazas.

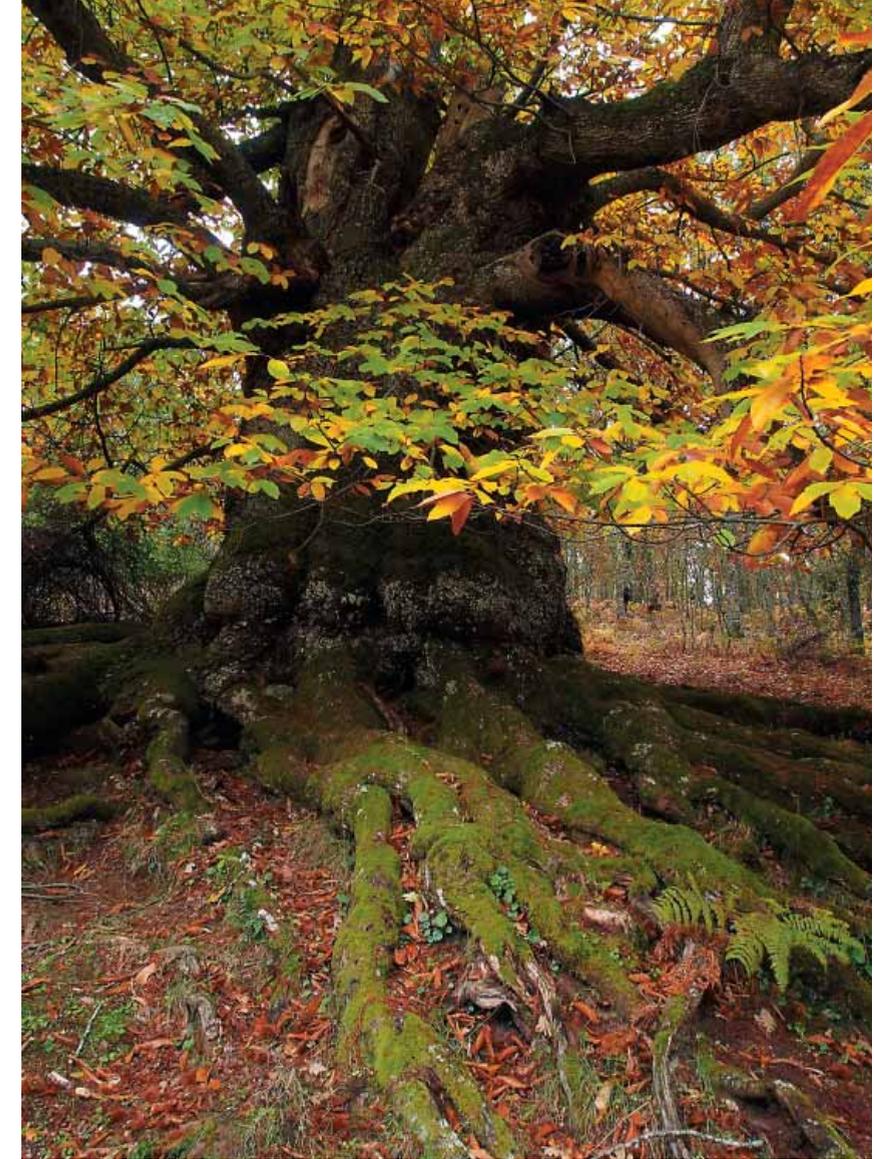
el caso del “Sendero a la Cueva” y la ruta de “Los Castaños de Calabazas”.

“El Sendero de la Cueva” muestra información geológica de los materiales sobre los que se ha formado la cueva con fotografías, dibujos explicativos y diagramas.

Para ello se han instalado distintos carteles explicativos sobre las rocas que pueden observarse en el camino, sobre la génesis de la cueva y la evolución de las distintas formaciones.

La ruta de “Los Castaños de Calabazas” parte de la entrada sur de la localidad ascendiendo suavemente por un buen camino forestal entre huertas y densos bosques de castaños y robles.

Abundan las orquídeas, las setas y otras muchas especies de flora y fauna propias del umbroso y fresco sotobosque caducifolio, permitiendo a la vez observar extensas pedreras y apretadas manchas de monte mediterráneo, majadas de cabreros y el mejor conjunto de castaños singulares de Extremadura declarados espacio natural protegido con la figura de Árboles Singulares.



■ Castaños de Calabazas.

## Epílogo y Algunas preguntas

Los diferentes capítulos han descrito los distintos aspectos de la cueva, su geología, las formaciones de espeleotemas, los procesos de transformación de los mismos, las condiciones medioambientales y también los habitantes de la cavidad. El equilibrio que hay actualmente en la Cueva de Castañar es un muy delicado y se debe mantener para no alterar los procesos que de forma natural tienen lugar en la Cueva. El régimen de visitas que se ha establecido tiene en cuenta el estado de conservación, los procesos de formación y transformación de los espeleotemas y, por supuesto, las modificaciones ambientales que producen los visitantes.

Los estudios científicos llevados en la cueva, los que están en marcha y los futuros, serán claves para poder mantener ese equilibrio necesario para hacer sostenibles las visitas. Por otra parte, el Centro de Interpretación cuenta con unas instalaciones muy adecuadas, con una amplia información y con importantes recursos didácticos que

facilitan el conocimiento de la cueva y su delicado mundo de espeleotemas, sin tener que acceder a ella.

Esperamos que el libro haya servido para mostrar que la formación de la Cueva de Castañar es un hecho excepcional y que nuestro deber es conservarla lo mejor posible para las generaciones venideras. Pero por si acaso te han quedado algunas dudas, aquí incluimos algunas preguntas y respuestas sobre la Cueva de Castañar, que esperamos ayuden a comprender mejor ese delicado universo subterráneo de minerales, formas y colores.



### ¿Qué es un Monumento Natural? ¿Por qué la Cueva de Castañar es un Monumento Natural?

Es un elemento natural de singular valor paisajístico, geológico, biológico, histórico o de otro tipo. Pueden ser Monumentos Naturales, algunos árboles singulares, bosques, cuevas, algunas zonas de los ríos, estructuras geológicas y geomorfológicas, yacimientos minerales, etc. La Cueva de Castañar es un Monumento Natural debido a que contiene una variedad inusual de espeleotemas de gran belleza y de una composición más heterogénea de lo habitual. Además está en un entorno con escasas formaciones kársticas, lo cual aún le da más valor.

### ¿Qué es un Geoparque?

La definición de Geoparque ha ido evolucionando con el tiempo. En el año 1999 la Unesco considera que un Geoparque es un área definida que presenta rasgos geológicos de especial relevancia, rareza o belleza. Estos rasgos deben ser representativos de la historia geológica de un área particular y de los eventos y procesos que la formaron. Más recientemente la Red de Geoparques Europeos completa esta definición e indica que los Geoparques deben ser zonas, con límites bien definidos, con una estrategia de desarrollo territorial sostenible y cuyo principal valor son los lugares geológicos importantes. Los Geoparques pueden contribuir de forma significativa al desarrollo de las zonas rurales.

### ¿Pará que se hacen tantos estudios en la cueva?

Los estudios que se hacen en la cueva son necesarios para conocer cómo se ha formado la cueva y sus minerales, su edad, los procesos que están sucediendo ahora en la cueva y la estabilidad de los minerales. La cueva es un conjunto geológico de gran valor científico y conocer su origen, le da aún más valor y además puesto que



es una cueva un poco especial, se obtienen muchos conocimientos que sirven para comprender mejor otras cuevas y muchos procesos que tienen lugar en otros ámbitos geológicos. Además, estos los estudios que se están realizando sirven para conocer cuáles son las condiciones medioambientales de la cueva, cómo varían con la entrada de las visitas y, por tanto, se pueden diseñar los itinerarios y el régimen de visitas para que ni la cueva, ni los espeleotemas sufran con la entrada de los visitantes.

### ¿La cueva ha sido siempre accesible?

No, de hecho su descubrimiento tuvo lugar hace poco menos de 50 años. Después de su descubrimiento se instaló un trampilla y sólo espeleólogo/as expertos podían acceder a ella. La cueva se hizo accesible para las visitas, siempre en pequeños grupos, en 2003.

### ¿Qué es un mapa Geológico?

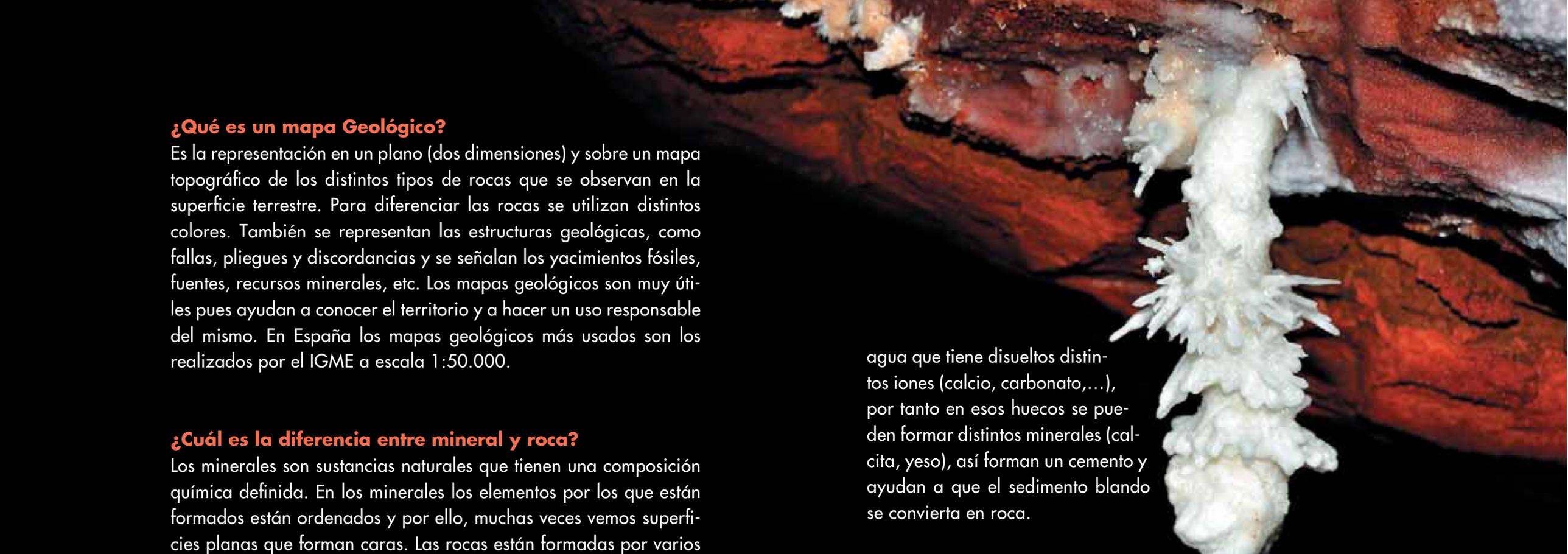
Es la representación en un plano (dos dimensiones) y sobre un mapa topográfico de los distintos tipos de rocas que se observan en la superficie terrestre. Para diferenciar las rocas se utilizan distintos colores. También se representan las estructuras geológicas, como fallas, pliegues y discordancias y se señalan los yacimientos fósiles, fuentes, recursos minerales, etc. Los mapas geológicos son muy útiles pues ayudan a conocer el territorio y a hacer un uso responsable del mismo. En España los mapas geológicos más usados son los realizados por el IGME a escala 1:50.000.

### ¿Cuál es la diferencia entre mineral y roca?

Los minerales son sustancias naturales que tienen una composición química definida. En los minerales los elementos por los que están formados están ordenados y por ello, muchas veces vemos superficies planas que forman caras. Las rocas están formadas por varios minerales de la misma composición o distintos. Por ejemplo, las calizas (rocas) están formadas por un solo mineral (calcita), mientras que los granitos contienen distintos minerales (cuarzo, feldespato, mica).

### ¿Cómo se convierten los sedimentos en rocas?

Hay muchos procesos que hacen que los sedimentos que cuando se depositan son blandos se conviertan en rocas duras. Ese cambio se debe a muchos procesos físicos y químicos que se producen cuando los sedimentos se van enterrando al ser cubiertos por otros más recientes. Los dos principales procesos son la compactación y la cementación. La compactación se debe al peso de los sucesivos sedimentos que se van depositando unos encima de otros, esto hace que se pierda agua y que los distintos componentes se vayan aplastando unos con otros cerrando la porosidad. La cementación se debe a que los poros de los sedimentos/rocas están ocupados por



agua que tiene disueltos distintos iones (calcio, carbonato,...), por tanto en esos huecos se pueden formar distintos minerales (calcita, yeso), así forman un cemento y ayudan a que el sedimento blando se convierta en roca.

### ¿Cómo se sabe la edad de las rocas?

Hay muchos métodos y técnicas para conocer la edad de las rocas. Aquí nos referiremos sólo a los más conocidos. Algunos métodos son métodos relativos, por ejemplo las rocas que están encima de otras son más modernas que las rocas sobre las que se apoyan. Otros métodos son absolutos, aunque los resultados tienen distintos grados de precisión. La Paleontología nos aporta algunos de estos métodos absolutos, si encontramos fósiles dentro de unas rocas, éstas rocas serán de la misma edad que esos fósiles. Otros métodos absolutos son geoquímicos, por ejemplo determinados elementos (iniciales) son radioactivos y a lo largo del tiempo se van desintegrando y se transforman en otros (elemento final). Si conocemos la cantidad que hay en la roca de ese elemento final y la tasa de desintegración del inicial podemos calcular la edad. Uno de éstos métodos es el U/Th, que se ha utilizado para datar algunos espeleotemas de la Cueva de Castañar.

No sé si lo entiendo parece que las rocas que se disuelven para formar la Cueva de Castañar son dolomías y magnesitas, pero según me han contado lo que se deposita inicialmente en el agua del mar es calcita o aragonito. **¿Qué es lo que ha pasado para que se formen las dolomías y magnesitas?**

Efectivamente los minerales que se forman y sedimentan en el agua del mar y también los fósiles son de calcita y de aragonito. Pero como otros muchos sedimentos cuando se entierran por ellos pueden circular aguas profundas que tengan diferentes iones disueltos.

Si estas aguas tienen magnesio la calcita y el aragonito pueden transformarse en dolomita y magnesita y por tanto se forman las rocas que conocemos como dolomías y magnesitas.

**¿Sabes por qué hay salas muy largas y otras más anchas?**

La forma y el tamaño de las salas de la cueva están condicionados por la estructura geológica. Las salas más estrechas y largas se forman o a favor de fracturas o de pliegues estrechos en los que el núcleo o se disuelve o colapsa (Sala del Jardín).

Por el contrario las salas anchas se forman en núcleos de anticlinales pero de mayor amplitud, como es el caso de la Sala de La Librería.

**¿Por qué hay una cueva en Castañar de Ibor y como se formó?**

La escasez de cuevas kársticas (formadas por disolución de carbonatos) en Extremadura se debe a que hay pocas rocas carbonáticas, pues la mayoría son pizarras, cuarcitas y granitos, que son prácticamente insolubles. En la zona de Castañar de Ibor, intercaladas entre esas rocas insolubles hay capas de dolomías y magnesitas, que sí se pueden disolver. Por eso hay una cueva en Castañar. La Cueva se forma por disolución de las dolomías y magnesitas y también por el colapso y alteración de esos materiales insolubles.

**¿Por qué hay lagos?**

El agua de lluvia se filtra entra en la cueva y si hay zonas más o menos planas que puedan servir como pequeños embalses de agua se forman lagos.

**Casi todas las Cuevas tienen paredes de color claro y son siempre muy duras. ¿Por qué en la Cueva de Castañar hay paredes y suelos rojos?**

La mayor parte de las cuevas se desarrollan en zonas en las que solo hay rocas carbonáticas (calizas, dolomías,...). Sin embargo, como hemos indicado, las rocas carbonáticas de la zona de Castañar de Ibor están intercaladas entre pizarras y areniscas, que además de ser de color oscuro, cuando se alteran dan lugar a arcillas de color rojo y relativamente blandas.

Además las dolomías y magnesitas, también contienen algo de hierro, que también contribuye a dar esos tonos rojizos. Cuando el agua circula dentro de la cueva es capaz de arrastrar las arcillas y los óxidos de hierro, depositándolos en las paredes y en los suelos, de ahí el color rojo de algunas salas y formaciones de la cueva.



### **En mi colección de minerales el aragonito es rojo, ¿Por qué en la cueva es blanco?**

Aunque la composición del aragonito es  $\text{CaCO}_3$ , el aragonito puede incluir pequeñas impurezas que modifican su color blanco.

El color marrón o rojizo del aragonito de tu colección y de muchos aragonitos se debe a que contienen algunas (muy pocas) impurezas de arcillas o de hierro. Algunos aragonitos son verdes o azules, pues contienen cobre o cobalto en proporciones muy bajas.

### **¿En que otros sitios podemos encontrar huntita y hidromagnesita? ¿Para qué sirven estos minerales?**

Estos minerales se suelen formar en lagos muy salinos, como en Turquía o .... La huntita era usada en el antiguo Egipto como pigmento blanco. Ambos minerales se usan en la industria como retardantes de llama.

### **¿Por qué algunos espeleotemas están como estropeados (corroídos)?**

Los espeleotemas están formados por minerales carbonáticos y su formación necesita unas condiciones de humedad, aporte de agua y pH concretas. Mientras esas condiciones se mantienen los espeleotemas siguen creciendo o, en algunas ocasiones, dejan de crecer pero se mantienen estables.

Como los carbonatos son solubles (se disuelven fácilmente en el agua), la entrada de agua en la cueva, que tenga distinto pH y/o bajas concentraciones de calcio y los espeleotemas comienzan a disolverse perdiendo su aspecto inicial.

### **¿Por qué los espeleotemas están laminados por dentro?**

Los espeleotemas crecen de forma discontinua cuando se dan unas determinadas condiciones físico-químicas, que hacen que en



agua se puedan formar los minerales que los forman. Esto puede suceder en una época del año, varias veces al año, o una vez cada muchos años. Cada lámina representa una etapa de crecimiento del espeleotema.

### **¿Son muy antiguos los espeleotemas? ¿Cuánto tardan en formarse los espeleotemas?**

De momento no se conoce la edad de los espeleotemas más antiguos de la cueva. Los más antiguos que se han podido datar tienen unos 450.000 y los más modernos 45.000 años. Pero puede haber espeleotemas como las coladas de la Sala de la Librería, aún más antiguos.

Esto indica que la velocidad de crecimiento de los espeleotemas de la Cueva de Castañar es muy lenta, como media de unos 2 mm cada 1.000 años.

### ¿Cómo se forman y transforman los distintos minerales/ espeleotemas?

Los minerales de los espeleotemas se forman por precipitación química, es decir se forman cristales en el agua, cuando la concentración es elevada. Su formación depende fundamentalmente de la composición química de las aguas y de las condiciones medioambientales de la cueva.

Por ejemplo, para que precipite calcita, formada por carbonato cálcico, en el agua debe haber suficientes iones de calcio y carbonato.

Cuando el  $\text{CO}_2$  del agua escapa, la relación entre estos iones es la adecuada y precipita el mineral. De esta forma, en función de los iones que haya en el agua, y de los procesos que ocurran se formará un mineral u otro.

Por ejemplo, si en el agua hay bastante magnesio se formará aragonito en lugar de calcita, y si hay aun más magnesio, se formará huntita, o el aragonito se transformará en dolomita. Sin embargo, si el agua que entra en la cueva tiene muy pocos iones, en lugar de precipitar mineral, se pueden disolver los minerales ya formados.

### ¿Por qué hay que entrar con mono, casco y botas?

Como la cueva de Castañar es un ambiente muy delicado y la entrada de cualquier microorganismo externo puede alterar el equilibrio en el interior, por eso tenemos que entrar con botas limpias y que no tengan ningún resto del exterior.

Por eso las botas que se usan se desinfectan después de cada entrada. El mono es necesario para no manchar la ropa, y el casco, además de proporcionar luz protege la cabeza de posibles golpes, ya que en algunas zonas los techos son bastante bajos.



### ¿Por qué está limitado el número de visitantes y el tiempo de estancia en la cueva?

Como ya hemos comentado la Cueva de Castañar es un sistema muy delicado. Con cada entrada de personas se alteran los niveles de  $\text{CO}_2$ , temperatura y humedad. Estas alteraciones en la atmósfera afectan a los espeleotemas y pueden degradarlos, por eso es importante entrar en grupos pequeños y no permanecer demasiado tiempo y así no se altera el microambiente.

### ¿Por qué no se deben hacer fotos en la visita?

Mientras hacemos una foto perdemos la atención de lo que tenemos alrededor. En la cueva los espeleotemas están muy cerca y cualquier movimiento descuidado podría romperlos, por eso no se pueden hacer fotos y además así se presta mayor atención a la belleza de la cueva durante la visita.



### ¿A qué se debe que haya tantos tipos de espeleotemas?

Normalmente en las cuevas las diferentes variedades de espeleotemas tienen que ver con la forma y cantidad en que fluye el agua dentro de la cueva.

De los goteos precipitan estalactitas y estalagmitas, a partir del agua que fluye por el suelo se forman coladas y gours, el agua de capilaridad da lugar a formas fibrosas, etc.

En la Cueva de Castañar además las diferencias en la composición de las aguas debido a que la roca caja tiene una composición muy variada (dolomías, magnesitas, areniscas, pizarras) hacen que los espeleotemas puedan estar formados por minerales distintos. Cada mineral tiene una morfología, un color y un brillo diferentes y por lo tanto, añadiendo esta característica a lo anterior tenemos aún más variedad de espeleotemas.

### ¿Por qué la mayor parte de los espeleotemas son de aragonito?

La principal razón es que las aguas de la cueva de Castañar son ricas en magnesio, puesto que han disuelto rocas ricas en este elemento (dolomías y magnesitas). La calcita y el aragonito son minerales que tienen la misma composición, pero distinta estructura cristalina. Cuando hay muchos iones  $Mg^{2+}$  en las aguas, es más favorable la formación de aragonito que la de calcita.

### Al ver las fotografías del libro te darás cuenta de que algunos espeleotemas son muy finos y delicados. ¿Qué crees que pasaría si los visitantes los tocan o rozan?

Efectivamente los espeleotemas de la Cueva de Castañar son muy frágiles, por eso al mínimo contacto se pueden romper y desprender de los techos o de las paredes. Además, si tenemos en cuenta que muchos de los pasillos de la cueva son muy estrechos y que sus paredes techos y suelos suelen también tener espeleotemas, es fácil darse cuenta del daño que las visitas pueden hacer a los espeleotemas. Por ello también, los grupos de visitantes tienen que ser siempre muy reducidos. Pensemos que la velocidad media de crecimiento de los espeleotemas es de 2 mm cada 1.000 años, así que cada rotura es una pérdida irremediable.



10

# Glosario

### **Abanicos aluviales**

Son formaciones cónicas que se sitúan al pie de relieves montañosos. En ellos se acumulan depósitos detríticos transportados por las corrientes de agua que salen de los relieves, la geometría de estos depósitos tiene forma cónica o de abanico.

### **Aflorar/afloramiento**

Son las rocas que podemos ver en la superficie.

### **Alteración**

También se conoce como meteorización. Incluye los cambios que se producen en los minerales y en las rocas cuando están en la superficie de la tierra y por tanto en contacto con la atmósfera, hidrosfera y biosfera. Son cambios irreversibles que conducen a la transformación o incluso disolución de los minerales.

### **Anticlinal**

Pliegue en el que los estratos doblados tienen forma de A o de V invertida. Los estratos más antiguos están en el centro (eje) del pliegue.

### **Arcillas**

Son las lutitas de tamaño más fino y que al tocarlas no raspan. Están formadas sobre todo por filosilicatos y granos de cuarzo de tamaño muy fino.

### **Arenas**

Por su tamaño y composición son iguales que las areniscas pero sin consolidar, es decir son los granos sueltos. De tal forma que arena designa al sedimento y arenisca a la roca.

### **Areniscas**

Rocas detríticas en las que los fragmentos que se denominan granos tienen tamaños comprendidos entre 2 mm y 0,062 (1/16) mm. Están consolidadas.

### **Biocidas**

Son sustancias químicas o incluso microorganismos que sirven para impedir el crecimiento o la actividad de determinados organismos nocivos.

### **Biotopo**

Es un espacio geográfico que tiene determinadas condiciones ambientales (suelo, agua, temperatura, etc) que determinan la fauna y flora que pueden habitar en él.

### **Bq/m<sup>3</sup>**

Unidad utilizada para medir la actividad radiactiva del radón es el Becquerel por m<sup>3</sup> de aire que equivale a una desintegración nuclear por segundo.

### **Brote fúngico**

Es el crecimiento rápido de los hongos.



### Calizas

Son rocas sedimentarias formadas por calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ). Se pueden formar en ambientes marinos y continentales (lagos, ríos, cuevas, etc...). Los procesos de formación son variados: precipitación de calcita en aguas saturadas en carbonato cálcico, acumulación de fósiles, precipitación inducida por la actividad de micro y macroorganismos, etc... Son rocas solubles, se pueden disolver en presencia de agua, por ello frecuentemente tienen cuevas.

### Capilaridad

Es la capacidad de un líquido de fluir por pequeños espacios o tubos en contra de la gravedad.

### Condensación

Es el cambio de fase de la materia que se encuentra en forma gaseosa y pasa a forma líquida.

### Cuarcitas

Rocas metamórficas muy duras y con contenidos de cuarzo superiores al 90%. Se forman cuando rocas sedimentarias ricas en cuarzo se entierran a profundidades en las que la presión y la temperatura hacen que los granos de cuarzo se suelden unos con otros o incluso crezcan unos a expensas de los otros. Como son muy duras dan lugar a relieves característicos como el Apalachiano.

### Cuarzo

Está formado exclusivamente por sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Es un mineral muy duro, por lo que las rocas formadas por cuarzo como las cuarcitas son muy resistentes a la alteración. Es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre y aparece en casi todos los tipos de rocas.

### Cuaternario

Es el último periodo de la escala geológica. En él se incluyen los últimos 2.58 Millones de años en los que se produjeron distintas glaciaciones.

En el Cuaternario aparece el *Homo Sapiens*.

### Cuevas oligotróficas

Cuevas con escasos nutrientes.

### Datación mediante U/Th

Esta técnica radiométrica se utiliza para datar materiales carbonáticos como espeleotemas y corales.

Se basa en que un elemento radiactivo padre (el uranio en este caso) se va desintegrando y transformando en un elemento hijo (el torio) de forma constante en el tiempo.

Por lo tanto midiendo las cantidades de elemento padre e hijo de una muestra se puede calcular la edad de la muestra: a más cantidad de elemento padre más joven será la muestra (ya que no ha tenido tiempo de transformarse en el elemento hijo) y viceversa.

### Dolomías

Al igual que las calizas también son rocas sedimentarias, formadas por dolomita ( $(\text{CO}_3)_2\text{CaMg}$ ).

La formación de dolomita requiere unas condiciones muy especiales, por ello la mayor parte de las dolomías se forman debido a que la dolomita es capaz de sustituir o reemplazar a la calcita de las calizas.



### Ediacárico

Es el período geológico que comienza hace unos 635 millones de años y finaliza hace 541.

Es muy posible que en este período tuviese lugar el origen de los animales.

Los fósiles corresponden de organismos pluricelulares que todavía no tenían caparazones. Algunos se parecen a gusanos segmentados.

### Equidimensional

Un objeto es equidimensional cuando presenta el mismo tamaño aproximadamente en todas las direcciones.

### Espeleotemas

Son los minerales que se forman dentro de las cuevas. Pueden estar en distintas posiciones (techo, paredes, suelo...) y ser de composición muy variada (calcita, aragonito, sílice, etc..)

### Filosilicatos

Son minerales con estructura laminar o en hojas.

Esta estructura es debida a la alternancia de capas con sílice y otras con aluminio, a veces entre ellas hay agua o distintos cationes.

Las micas son un ejemplo de estos minerales.

### Fracturas/fallas

Se producen cuando las capas son muy rígidas y al actuar sobre ellas esfuerzos no se doblan (pliegues) sino que se rompen.

### Granitos

Rocas plutónicas que se forman en zonas profundas de la Tierra al solidificarse lentamente magmas con alto contenido en sílice. Están formadas fundamentalmente por cuarzo, feldespato y mica. Son rocas muy abundantes en la corteza y muy utilizadas como materiales de construcción.

### Grauvacas

Son rocas detríticas del mismo tamaño y composición que las areniscas pero con una proporción de matriz que supera el 15%.



### Hidrólisis

Es una reacción química en la que el agua altera o descompone una sustancia. Cuando esta reacción afecta a los feldespatos, éstos se transforman en filosilicatos o minerales de la arcilla.

### Karst

Es una forma de relieve debida a la disolución (meteorización química) de rocas solubles como las calizas, dolomías o yesos.

En el relieve se observan formas de disolución superficiales (como los lapiazes), pero también da lugar a la formación de cuevas y de sus espeleotemas.

### Lutitas

Son las rocas detríticas en las que los clastos son de tamaño menor que en las areniscas (< 0,062 mm) y casi no se ven.

### Magnesitas

Rocas esencialmente sedimentarias formadas exclusivamente por el mineral magnesita ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ).

Se pueden formar como rocas primarias en ambientes evaporíticos o por transformaciones de calizas y dolomías, cuando sobre éstas circulan aguas ricas en magnesio.

### Matriz

Son los componentes que aparecen entre los fragmentos o clastos de las rocas detríticas. Suele tener la misma composición, pero de tamaño más pequeño. Es una especie de pasta que ayuda a unir los fragmentos.

### Micelio

Es una masa formada por estructuras microscópicas filamentosas que son el cuerpo vegetativo de los hongos. Crecen hacia la superficie externa del medio.

### Microscopio Electrónico de Barrido

Es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen.

Permite ver la morfología en 3D de las muestras. Además consigue imágenes a muchos más aumentos que los microscopios ópticos normales.

### Orogenia

Son las etapas en las que se forman las montañas debido al choque entre las placas tectónicas. La Orogenia **Alpina** se inició al final del Mesozoico y sigue en la actualidad.

Ha dado lugar a todos los cinturones montañosos del área Mediterránea (Pirineos, Alpes) y que continúan hasta el Himalaya.

La **Orogenia Varisca** o **Hercínica** se produjo al final del Paleozoico (380 a 280 millones de años, aprox), en esta Orogenia se levantaron las sierras que actualmente vemos en los alrededores de Castañar.

La Orogenia **Caledónica** es más antigua, y sucedió aproximadamente entre 440 y 420 Millones de años)



### **Pizarras**

Son rocas metamórficas que se forman cuando las lutitas que están enterradas en zonas profundas de la corteza van compactándose y transformándose por efecto de la presión y de la temperatura.

### **Placas tectónicas**

Son fragmentos rígidos de la litosfera (zona más externa del manto y corteza terrestre) que se sitúan sobre la astenosfera (capa plástica) sobre la que se mueven.

El espesor de estas placas es variable (50 a 300 km) y su extensión también, hay placas muy grandes como la Africana y otras mucho más pequeñas como la del Mar Egeo.

### **Pleistoceno**

Es la primera época del periodo Cuaternario y la sexta de la era Cenozoica. Su duración abarca desde hace 2.588.000 hasta hace 11.700 años. Durante el Pleistoceno tuvieron lugar las últimas glaciaciones de la Tierra.

### **Pliegues**

Los esfuerzos que se producen sobre los estratos hacen que estos se puedan doblar. Si los estratos se doblan dando formas convexas (o de A) el pliegue se denomina anticlinal, y si tiene forma cóncava sinclinal. Las capas o estratos se depositan horizontalmente por ello si los encontramos plegados podemos saber que sobre ellos han actuado esfuerzos tectónicos. Podemos ver fácilmente como se forman pliegues al intentar presionar con las dos manos sobre las hojas de un libro. La presión de nuestras manos es equivalente a los esfuerzos tectónicos.

### **Polimorfismo**

Es la capacidad de un material sólido de existir en más de una forma cristalina, es decir, dos polimorfos tendrán la misma composición pero sus moléculas se apilan en el espacio de diferentes formas, dando lugar a diferentes materiales. El caso más conocido es el del grafito y el diamante, ambos formados por carbono, también son polimorfos la calcita y el aragonito.

### **Ppm**

Partes por millón. Unidad que indica la concentración de determinados elementos o compuestos.

En el caso de la Cueva de Castañar se expresa en ppm la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire.

### **Precipitación directa**

Se habla de precipitación directa de un mineral cuando este se forma directamente del fluido en el que va disuelto, sin necesidad de formarse por transformación de una fase mineral anterior.



### Rasgos de Disolución

Son formas irregulares de distintos tamaños, que se reconocen en la superficie de las rocas y que se producen por la acción del agua de lluvia que es capaz de atacar químicamente a algunas rocas. Las formas más conocidas son los lapiares.

### Reemplazamiento

En algunas ocasiones un mineral ya formado es sustituido por otro nuevo, normalmente ocurre por cambios en la composición de las aguas.

Cuando los minerales, el reemplazado y el reemplazante, tienen diferente composición se habla de reemplazamiento, y dependiendo de cuál sea el mineral nuevo algunas veces el reemplazamiento tiene un nombre concreto, por ejemplo calcitización si es por calcita, o dolomitización si es por dolomita.

### Relieve Apalachiano

Es un relieve formado sobre rocas antiguas que están plegadas y en el que los ríos se encajan siguiendo las direcciones de los pliegues.

### Rocas Detríticas

Rocas sedimentarias que están formadas por fragmentos (clastos) de distinto tamaño de cualquier tipo de roca (granitos, calizas, cuarzo, etc.).

Entre estos granos puede haber una pasta formada por fragmentos más pequeños (matriz) o cristales (cementos).

### Saturación

Si tenemos un fluido con una sustancia disuelta en él, la saturación es el punto en el que este fluido no puede disolver más de dicha sustancia.

Llegados a ese punto cualquier cantidad adicional de esa sustancia hará que en ese fluido se formen cristales de esa sustancia.

### Sierras cuarcíticas

Relieves montañosos formados por cuarcitas

### UFC/m<sup>3</sup>

Unidades formadoras de colonias por metro cúbico.

En definitiva mide la cantidad de colonias de microorganismos que se forman en un ambiente determinado.



**L**os estudios geológicos y de control ambiental de la Cueva de Castañar durante más de una década han dado lugar a numerosas publicaciones científicas, destacando las siguientes:

## Bibliografía



## Sobre la Geología de Extremadura y de las Villuercas

Corrales, J.M, Rodríguez, M., Vázquez, J, 2013. *Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural*. Geoparque Villuercas-Ibores-Jara. Diputación Provincial de Cáceres, 170 pp.

Cortijo, I, Martí Mus, M, Jensen, S. and Palacios, T, 2010. *A new species of Cloudina from the terminal Ediacaran of Spain*. Precambrian Research 176, 1-10.

Cortijo, I, Palacios, R, Jensen, S, Martí Mus, M, 2010. *Yacimientos excepcionales en Extremadura de los primeros metazoos mineralizados del Ediacárico*. Cuadernos del Museo Geominero 12, 63-73.

García-Hidalgo, J.F, 1985. *Estratigrafía y Sedimentología del Alcu-diense Superior en los anticlinorios de Ibor y Navezuelas-Robledollano*. Seminarios de Estratigrafía, serie monografías, 12, 190p.

Herrero Fernández, M.J, Martín-Pérez, A, Gil-Peña, I, Alonso-Zarza, A.M, Meléndez Hevia, A, Martín-García, R., 2010. *Caracterización petrológica de las magnesitas y las dolomías encajantes de Edad Proterozoica Superior-Cámbrico Inferior*, Grupo Ibor, Castañar de Ibor, Cáceres. Geogaceta 48, 143-146.

Herrero, M.J, Martín-Pérez, A, Alonso-Zarza, A. M, Gil-Peña, I, Meléndez, A, Martín-García, R, 2011. *Petrography and geochemistry of the magnesites and dolostones of the Ediacaran Ibor Group (635 to 542 Ma), Western Spain: Evidences of their hydrothermal origin*. Sedimentary Geology 240, 71-84.

IGME 1984. *Mapa Geológico de España, Hoja de Castañar de Ibor n° 681. Escala 1:50.000*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

Jensen, S, Palacios, T and Martí Mus, M, 2010. *Revised biochronology of the Lower Cambrian of the Central Iberian zone, southern Iberian Massif, Spain*. Geological Magazine 147, 690-703.

Muñoz Barco, P, Martínez Flores, E (Eds.), 2005. *Patrimonio Geológico de Extremadura: Geodiversidad y Lugares de Interés Geológico*. Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura, Mérida, 477p.

Rodríguez-Alonso, M.D, Díez-Balda, M.A., Perejón, A, Pieren, A, Liñán, E, López-Díaz, F, Moreno, F, Gámez-Vintaned, J.A, González, F, Martínez-Poyatos, D, Vegas, R, 2004. *La secuencia litoestratigráfica del Neoproterozoico-Cámbrico Inferior.*, En: Vera, J.A (Ed.), *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, pp. 78-81.

Sos Baynat, V, 1955-1956. *Geología y Morfología de las Sierras de las Villuercas*. Estudios Geográficos, 61 y 64. CSIC, Madrid.

Valladares, M.I, Barba, P. and Ugidos, J.M, 2002. *Precambrian*. En: *The Geology of Spain* (Eds. W. Gibbons and T. Moreno), Geological Society of London, pp. 7-16.

Valladares, M.I, Barba, P, Ugidos, J.M, Colmenero, J.R, Armenteros, I, 2000. *Upper Neoproterozoic-Lower Cambrian sedimentary successions in the Central Iberian Zone (Spain): sequence, stratigraphy, petrology and chemostratigraphy*. Implications for other European Zones. International Journal of Earth Sciences 89, 2-20.

Vidal, G, Palacios, T, Gámez Vintaned, J.A, Díez Balda, M.A, Grants, S.W.F., 1994. *Neoproterozoic-early Cambrian geology and palaeontology of Iberia*. Geological Magazine 131, 729-765.

## Sobre la Geología de la cueva y sus espeleotemas

Alonso Zarza, A.M, Gil Peña, I, Martínez Flores, E, Muñoz Barco, P, 2005. *La Cueva de Castañar*, In: Muñoz Barco, P., Martínez Flores, E (Eds.), *Patrimonio Geológico de Extremadura: Geodiversidad y Lugares de Interés Geológico*. Dirección General de Medio Ambiente, Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura, Mérida, pp. 99-111.

Alonso-Zarza, A.M, Martín-Pérez, A, 2008. *Dolomite in caves: Recent dolomite formation in oxic, non-sulfate environments*. Castañar Cave, Spain. Sedimentary Geology 205, 160-164.

Alonso-Zarza, A.M, Martín-Pérez, A, Martín-García, R, Gil-Peña, I, Meléndez, A, Martínez-Flores, E, Hellstrom, J, Muñoz-Barco, P, 2011. *Structural and host rock controls on the distribution, morphology and mineralogy of speleothems in the Castañar Cave (Spain)*. Geological Magazine 148, 211-225.

Durán, J.J, Ramírez, F, 1997. *La cueva de Castañar: la cavidad más notable de Extremadura*. Subterránea 7, 27-31.

Durán, J.J, 1996. *Cueva de Castañar, Castañar de Ibor, Cáceres*. Tecnoambiente 62, 73-80.

Martín-García, R, 2012. *La diagénesis de los espeleotemas de las Cuevas de Castañar, Cáceres y Basajaún Etxea, Navarra. Implicaciones para el estudio del registro paleoclimático*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 242 194 p.

Martín-García, R, Alonso-Zarza, A.M, Martín-Pérez, A, 2007. *Micritización de espeleotemas en ambiente meteórico vadoso (Cueva de Castañar de Ibor, Cáceres)*. Geogaceta 42, 123-126.

Martín-García, R, Alonso-Zarza, A.M, Martín-Pérez, A, 2009. *Loss of primary texture and geochemical signatures in speleothems due to diagenesis: Evidences from Castañar Cave, Spain*. Sedimentary Geology 221, 141-149.

Martín-García, R, Martín-Pérez, A, Alonso-Zarza, A. M, 2011. *Weathering of host rock and corrosion over speleothems in Castañar Cave, Spain: an example of a complex meteoric environment*. Carbonates and Evaporites 26, 83-94.

Martín-García, R, Martín-Pérez, A, Alonso-Zarza, A.M, 2010. *La Petrología como herramienta para evaluar la degradación de los espeleotemas en cuevas turísticas: Cueva de Castañar de Ibor, Cáceres*. Boletín de la Academia Malagueña de Ciencias XII, 8-13.

Martín-Pérez, A., 2012. *Formación de dolomita y otros carbonatos magnésicos en condiciones de exposición subáerea. La Cueva de Castañar de Ibor (Cáceres)*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, 242 p.

Martín-Pérez, A, Alonso-Zarza, A.M, Martín-García, R, Gil Peña, I, 2010. *La riqueza mineralógica de la Cueva de Castañar de Ibor, Cáceres*. Macla 13, 147-148.

Martín-Pérez, A, Alonso-Zarza, A.M, 2005. *Dolomitización en sistemas kársticos actuales: el caso de la Cueva de Castañar de Ibor (Cáceres)*. Geotemas 8, 67-71.

Martín-Pérez, A, Martín-García, R, Alonso-Zarza, A.M, 2012. *Diagenesis of a drapery speleothem from Castañar Cave: from dissolution to dolomitization*. International Journal of Speleology 41, 251-266.

Muñoz-Barco, P, Alonso-Zarza, A.M, Sánchez-Moral, S, Martínez-Flores, E, Cuezva, S, Gil-Peña, I, Lario, J, Martín-Pérez, A, 2006. *Los estudios científicos como herramienta para la conservación y gestión del Monumento Natural Cueva de Castañar*. Trabajos de Geología 26, 175-185.

### **Sobre las condiciones medioambientales y la biología de la cueva**

Álvarez-Gallego, M, García-Antón, E, Fernández-Cortés, A, Cuezva, S, Sánchez-Moral, S, 2015. *High radon levels in subterranean environments: monitoring and technical criteria to ensure human safety (case of Castañar Cave, Spain)*. Journal of Environmental Radioactivity 145, 19-29.

Fernández-Cortés, A, Cuezva, S, Benavente, D, Cañaveras, J.C, Martínez-Flores, E, Muñoz-Barco, P, Sánchez-Moral, S, 2010. *Monitorización de las condiciones microambientales, hidrogeoquímicas y de conservación del monumento natural "Cueva de Castañar"*. In: Durán, J.J y Carrasco, F Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo, 113-128 pp. Madrid. Asociación de Cuevas Turísticas Españolas.

Fernández-Cortés, A, Sánchez-Moral, S, Cañaveras, J.C, Cuevas-González J, Cuezva, S, Andreu-Rodes, J.M, 2010. *Variations in seepage water geochemistry induced by natural and anthropogenic microclimatic changes: Implications for speleothem growth conditions*. Geodinamica Acta 23/1-3, 2-13.

Fernández-Cortés, A, Sánchez-Moral, S, Cuezva, S, Benavente, D, Abella, R, 2011. *Characterization of tracer gases fluctuations on a "low energy" cave (Castañar de Ibor, Spain) using techniques of entropy of curves*. International Journal of Climatology 3,127-143.

Fernández-Cortés, A, Sánchez-Moral, S, Cuezva, S., Cañaveras, J.C, Abella, R, 2009. *Annual and transient signatures of gas exchange and transport in the Castañar de Ibor cave 455 (Spain)*. International Journal of Speleology 38, 153-62.

Jurado, V, Porca, E, Sáiz-Jiménez, C, 2010. *Control de un brote fúngico en la Cueva de Castañar de Ibor*. En: J.J Durán y F Carrasco (Eds.) Cuevas: Patrimonio, Naturaleza y Turismo, 611-620 pp. Asociación de Cuevas Turísticas, Madrid.

Jurado, V, Porca, E, Cuezva, S, Fernandez-Cortes, A, Sanchez-Moral, S, Saiz-Jimenez, C, 2010. *Fungal outbreak in a show cave*. Science of the Total Environment 408, 3632-3638.

Lario, J, Sánchez-Moral, S., Cuezva, S., Taborda, M, Soler, V, 2006. *High <sup>222</sup>Rn levels in a show cave (Castañar de Ibor, Spain): proposal and application of management measures to minimize the effects on guides and visitors*. Atmospheric Environment 40, 7395-400.

Porca, E, Jurado, V, Martín-Sánchez, P.M, Hermosin, B, Bastian, F, Alabouvette, C, Sáiz-Jimenez, C., 2011. *Aerobiology: An ecological indicator for early detection and control of fungal outbreaks in caves*. Ecological Indicators 11, 1594-1598.

Sáiz-Jimenez, C, Jurado, V, Porca, E, Cuezva, S, Fernández-Cortés, A, Sánchez-Moral, S, 2009. *The control of a fungal outbreak in a show cave*. En: White, W. (Eds.), 15th International Congress of Speleology, Kerville (Texas). Vol. 1. 410-412 pp.

Sánchez-Moral, S, Cuezva, S, Lario, J y Taborda-Duarte, M. 2006. *Hydrochemistry of karstic waters in a low-energy cave (Castañar de Ibor, Spain)*. En: Durán, J.J, Andreo, B y Carretero, J (Eds.). *Karst, cambio climático y aguas subterráneas*. Hidrogeología y Aguas Subterráneas n° 18. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 339-347pp.

## Sobre cuevas en general

Hill, C.A, Forti, P, 1997. *Cave minerals of the World*. National Speleological Society, Huntsville, AL.

Frisia, S, Borsato, A, Fairchild, I.J, McDermott, F, Selmo, E.M, 2002. *Aragonite-calcite relationships in speleothems (Grotte de Clamouse, France): environment, fabrics and carbonate geochemistry*. Journal of Sedimentary Research 72, 687-699.

Frisia, S, Borsato, A, 2010. *Karst*, En: Alonso-Zarza, A.M, Tanner, L.H (Eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 269-318.

Fairchild, I.J, Frisia, S, Borsato, A, Tooth, A.F, 2007. *Speleothems*, En: Nash, D.J, McLaren, S (Eds.), *Geochemical sediments and landscapes*. Blackwell, Oxford, pp. 200-245.

## LISTADO DE AUTORES:

### **Rafael Abella**

Instituto Geográfico Nacional (IGN), Alfonso XII, 3. Madrid.

### **Ana María Alonso Zarza**

Dpt. Petrología y Geoquímica. Fac. CC. Geológicas. IGEO-CSIC.  
Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

### **Miriam Álvarez-Gallego**

Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC.  
José Gutiérrez Abascal, 2. 28006. Madrid.

### **Soledad Cuezva**

Geomnia Natural Resources SLNE.  
Cea Bermúdez 14. 28003 Madrid.

### **Ángel Fernández-Cortés**

Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC.  
José Gutiérrez Abascal, 2. 28006. Madrid.

### **Elena García Antón**

Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC.  
José Gutiérrez Abascal, 2. 28006. Madrid.

### **Inmaculada Gil Peña**

Instituto Geológico y Minero.  
C/ Ríos Rosas 23. 28003 Madrid.

### **Valme Jurado**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, (IRNAS-CSIC).  
Avenida Reina Mercedes 10. 41012 Sevilla.

### **Rebeca Martín-García**

Dpt. Petrología y Geoquímica. Fac. CC. Geológicas. IGEO-CSIC.  
Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

### **Andrea Martín-Pérez**

Institute of Palaeontology. Research Centre of the Slovenian Academy of  
Sciences and Arts (ZRC SAZU).  
Novi trg, 2. SI-1000 Ljubljana, Eslovenia.

### **Pedro Muñoz Barco**

Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Extremadura.  
Avda. Luis Ramallo s/nº. 06800 Mérida.

### **Esperanza Martínez Flores**

Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Extremadura.  
Avda. Luis Ramallo s/nº. 06800 Mérida.

### **Estefanía Porca**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, (IRNAS-CSIC).  
Avenida Reina Mercedes 10. 41012 Sevilla

### **Miguel Ángel Romo Bedate**

Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Extremadura.  
Avda. Luis Ramallo s/nº. 06800 Mérida.

### **Cesáreo Sáiz Jiménez**

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, (IRNAS-CSIC).  
Avenida Reina Mercedes 10. 41012 Sevilla.

### **Sergio Sánchez-Moral**

Museo Nacional de Ciencias Naturales, MNCN-CSIC.  
José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.