



**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>a</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: UFRBALMA Servicios Gráficos



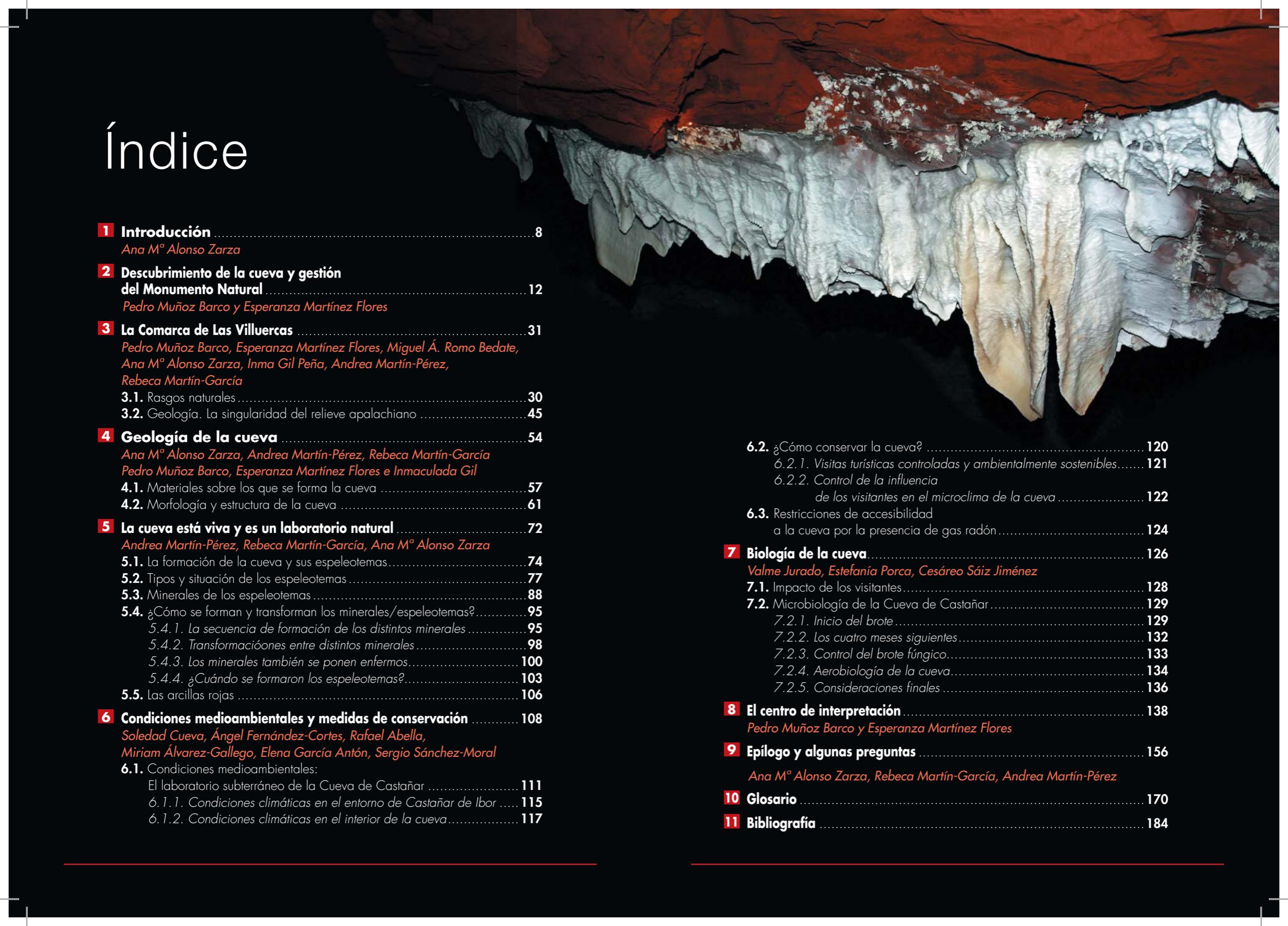
UNIÓN EUROPEA

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

**JUNTA DE EXTREMADURA**

# 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-Cortes, 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





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 guimaldas*

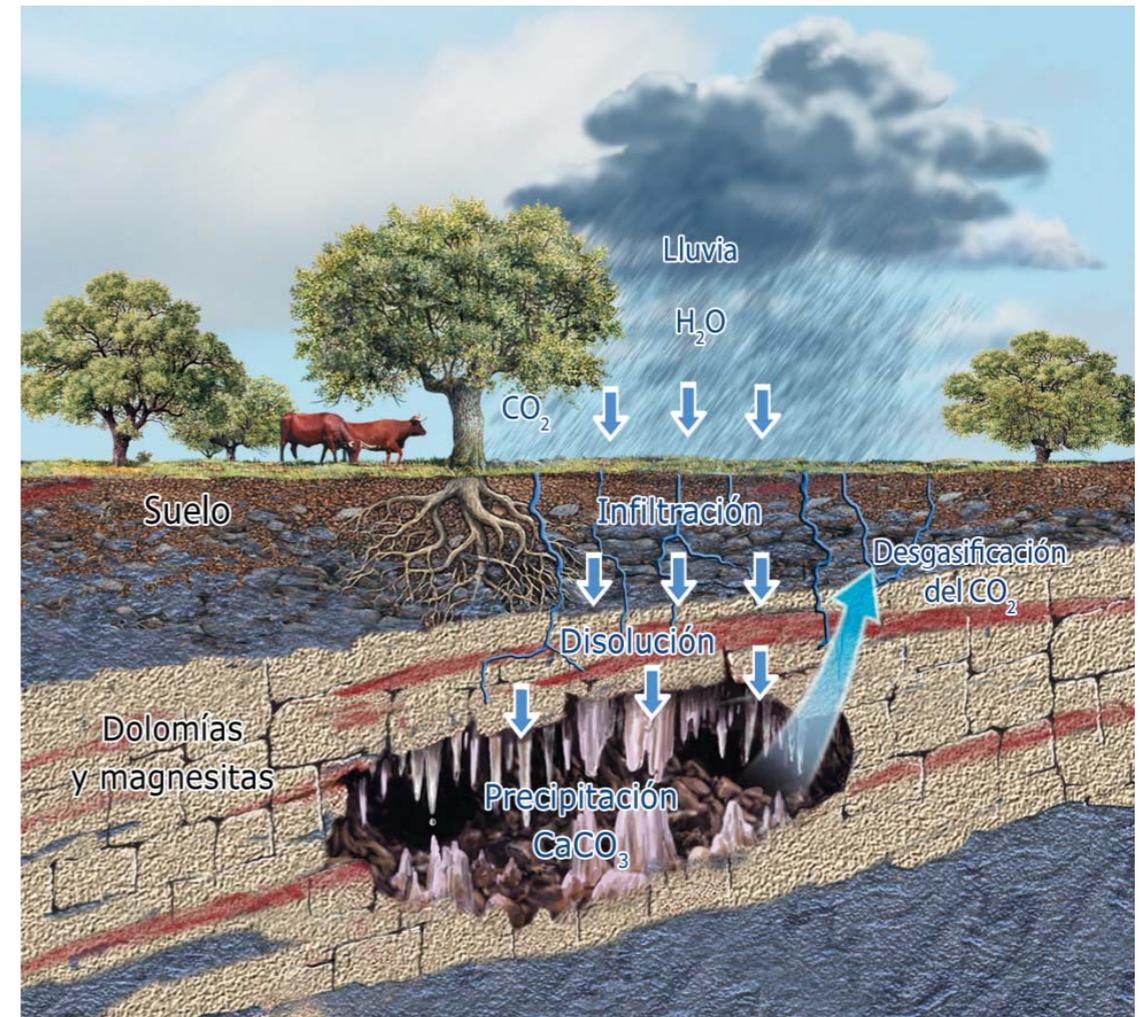
## 5.1. La formación de la cueva y de sus espeleotemas

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 qué 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.

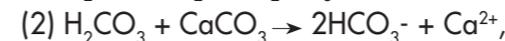
Para entender cómo se forman los espeleotemas, primero debemos comprender cómo se forman las cuevas. Una gran parte de las cuevas se han formado sobre calizas, que están constituidas por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). La Cueva de Castañar se forma sobre dolomías y magnesitas, que al igual que las calizas 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 caja, disolviendo las dolomías y magnesitas. Al llegar a la cueva, el  $\text{CO}_2$  se escapa, y precipitan los minerales que forman los espeleotemas.

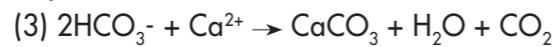
La reacción en la que el agua se combina con el  $\text{CO}_2$  para formar el ácido carbónico es (1):



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.

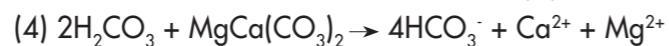
Cuando el agua entra en la cueva, pierde parte del  $\text{CO}_2$  para equilibrarse con el aire de la cueva, cuyo contenido en  $\text{CO}_2$  es mucho menor. Como el  $\text{CO}_2$  es un gas, este proceso se llama desgasificación y da lugar a la sobresaturación de carbonato en el agua, y por tanto, 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):



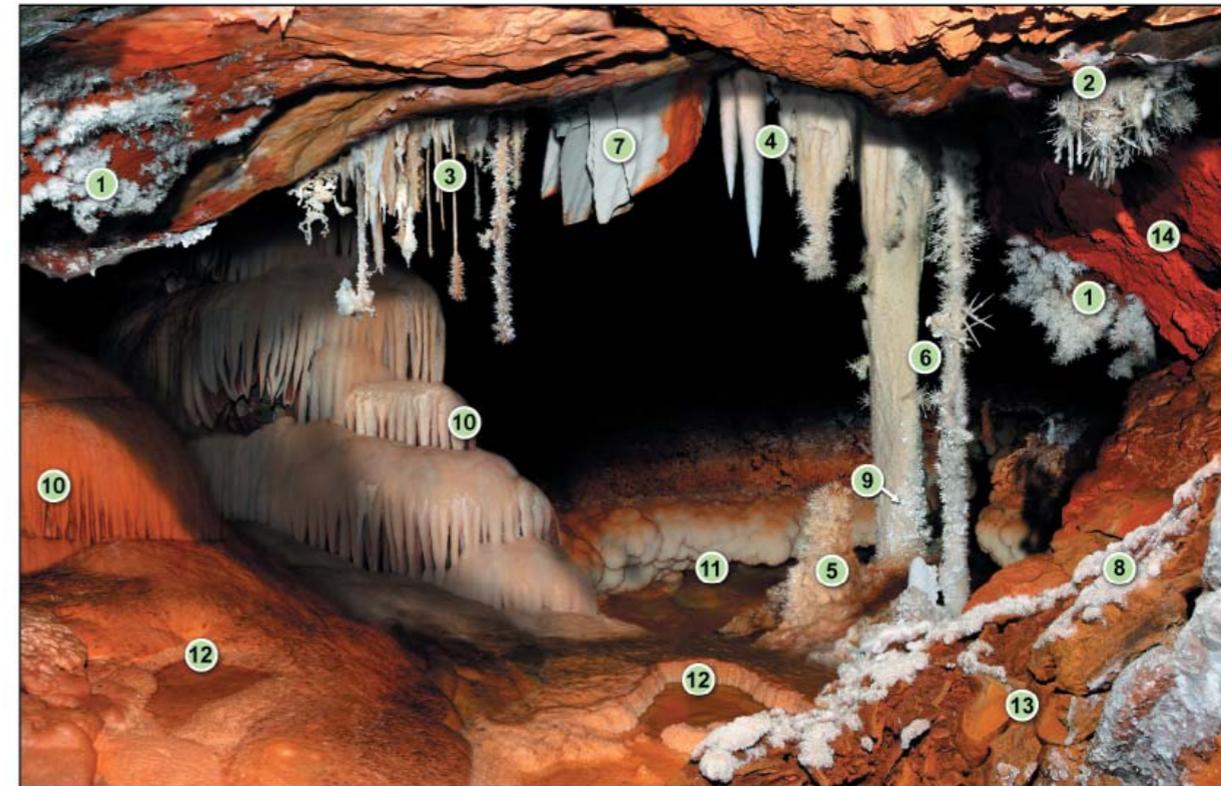
Y la de precipitación de aragonito o calcita sería (5):



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.

■ Goteos sobre los espeleotemas.

## 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 en la Sala del Jardín.

## 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

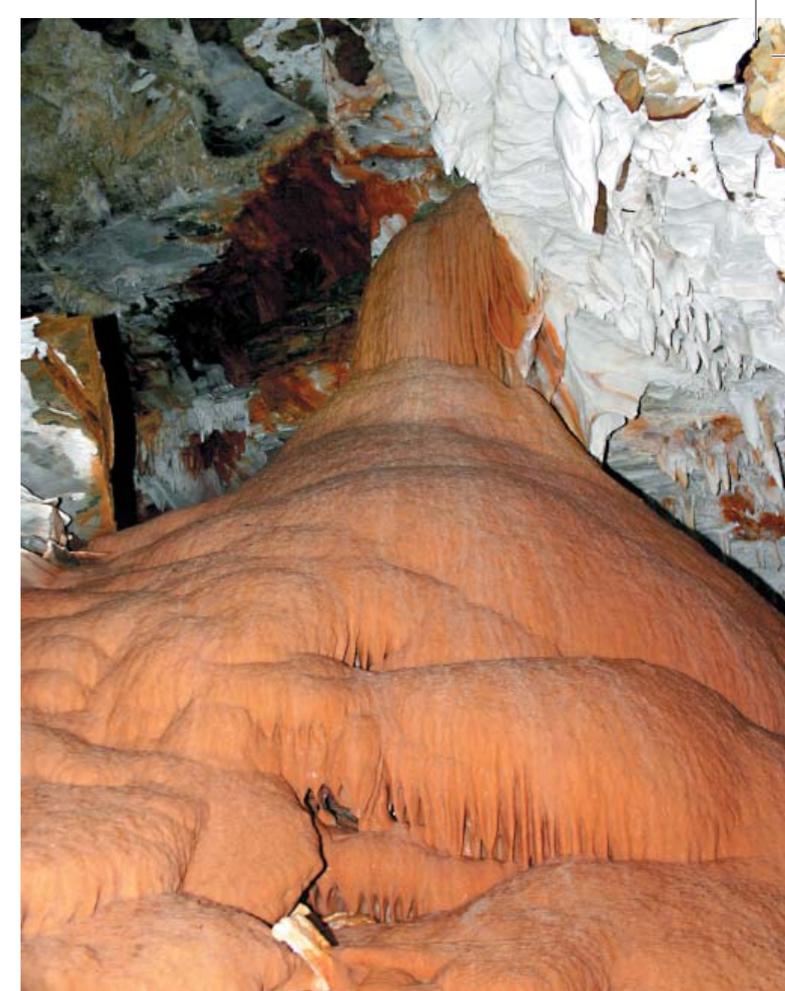
Las coladas son formaciones grandes que tienen morfología de mantos formados por cristales que se superponen unos a otros. Se forman en zonas donde circula gran cantidad de agua. En la Cueva de Castañar hay dos grandes coladas en la Sala de la Librería, que comunican con la Sala de los Lagos.

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.



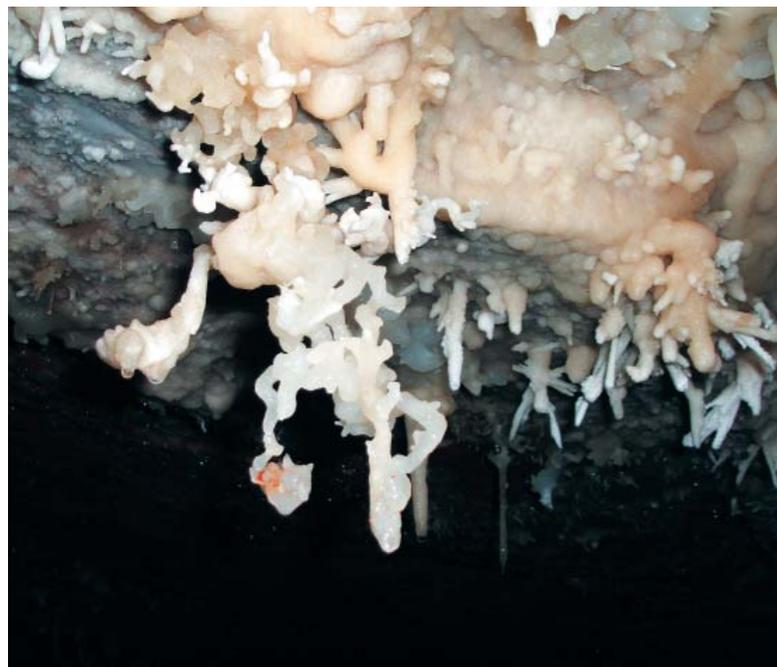
■ El suelo de la Sala de Los Lagos está formado por gours que normalmente tienen agua.



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

### **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 gours. 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.



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

### **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.

### **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.

## **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.



■ Coraloides en la Sala de Las Planchas.



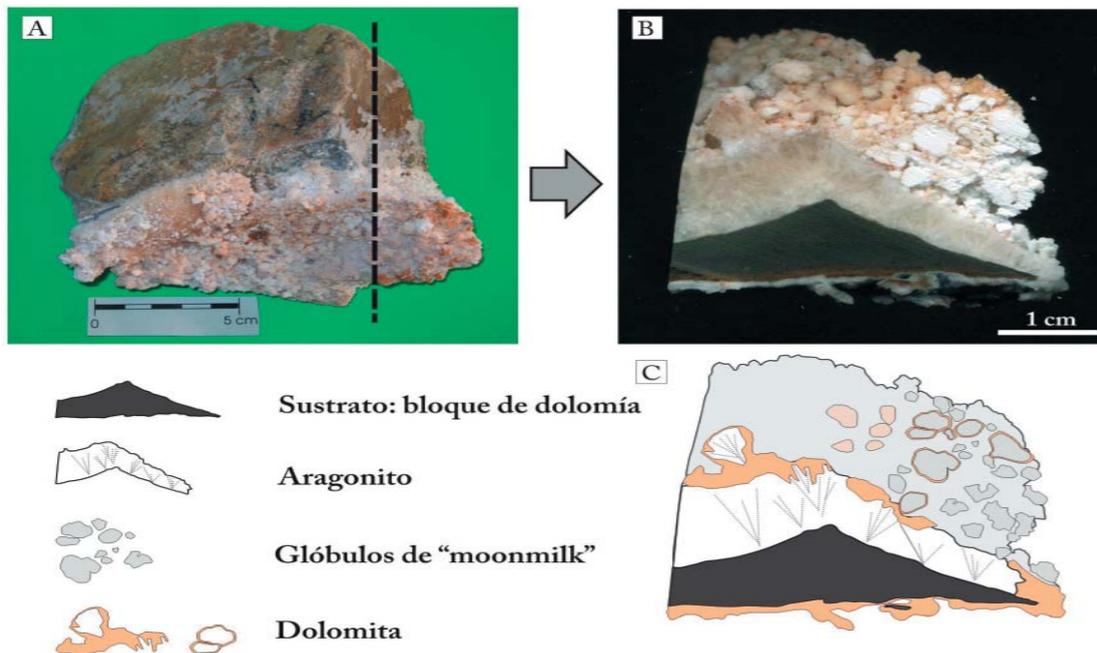
■ Moonmilk creciendo sobre una guirnalda en la Sala de Las Banderas.

## 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.



## 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.

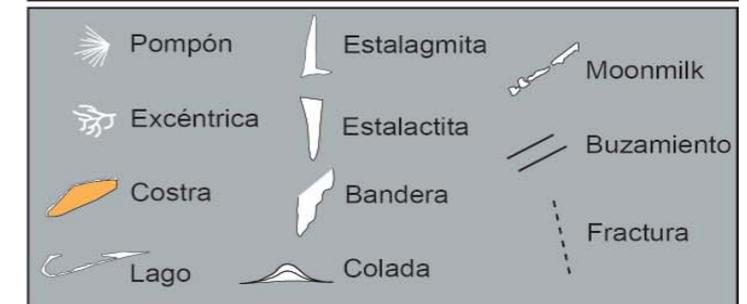
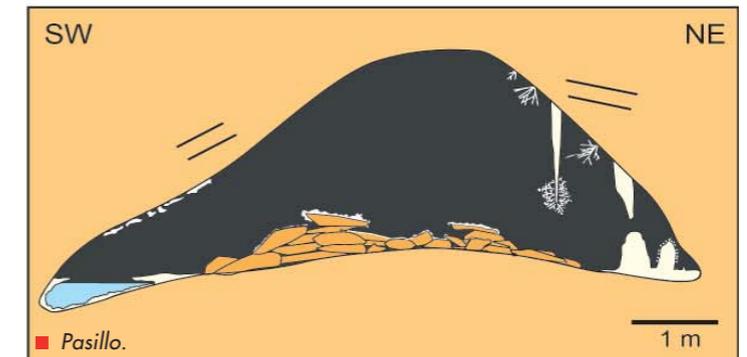
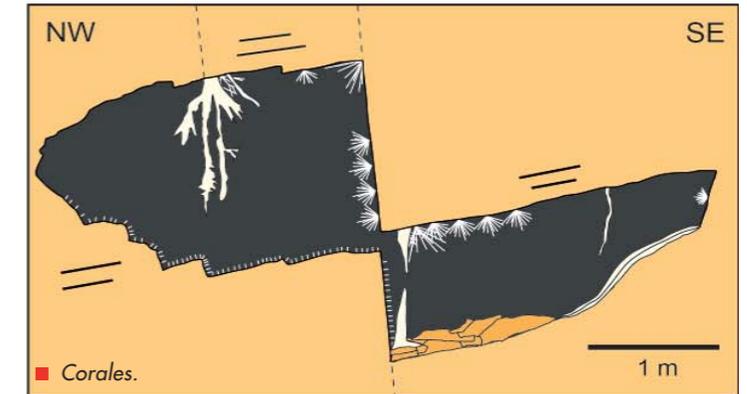
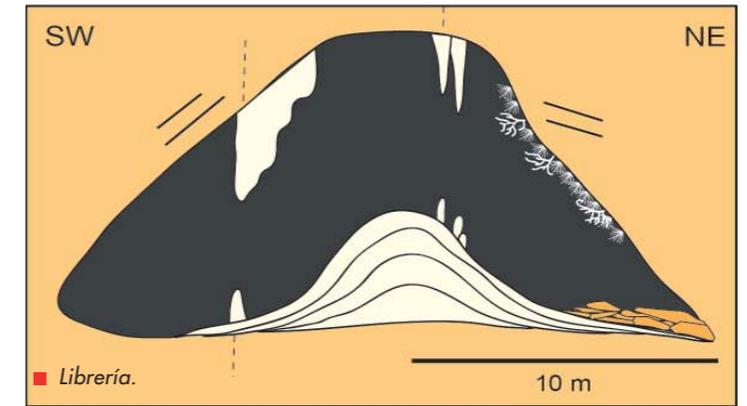
A través de estas fracturas y planos, el agua fluye más cómo-

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	$\text{CaCO}_3$	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas, gours y rafts.	Mineral primario o formado por transformación del aragonito
Aragonito	$\text{CaCO}_3$	Estalactitas, estalagmitas, columnas, coladas, banderas, helictitas, coraloides, pompones, guirnaldas y costras	Mineral primario. Se forma cuando hay un alto contenido de $\text{Mg}^{2+}$ en el agua
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Moonmilk, costras y pompones	Mineral formado por transformación de huntita o aragonito
Huntita	$\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$	Moonmilk y costras	Mineral primario
Hidromagnesita	$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	Moonmilk y costras	Mineral primario
Magnesita	$\text{MgCO}_3$	Moonmilk y costras	Mineral primario
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Costras	Mineral primario
Sepiolita	$\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$	Moonmilk y costras	Mineral primario
Kerolita	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Moonmilk y costras	Mineral primario

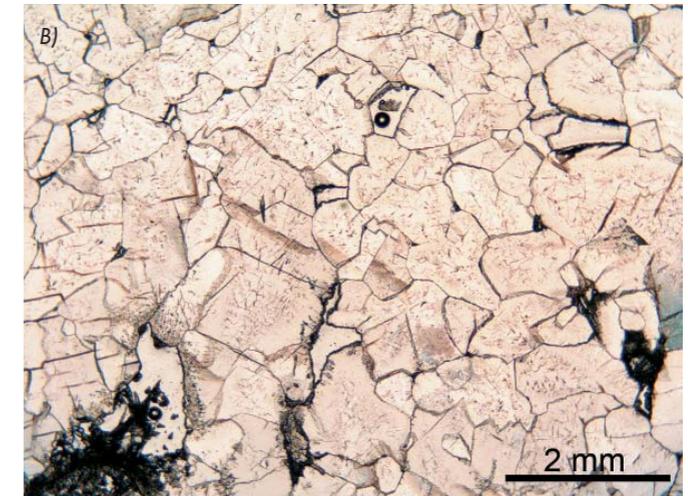
La mayoría de los minerales que forman los espeleotemas son carbonatos. Hay carbonatos de calcio, como la calcita y el aragonito, carbonatos de calcio y magnesio, como la dolomita y la huntita, y carbonatos de magnesio, como la hidromagnesita y la magnesita.

### Calcita

La calcita es uno de los dos polimorfos del carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) 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.

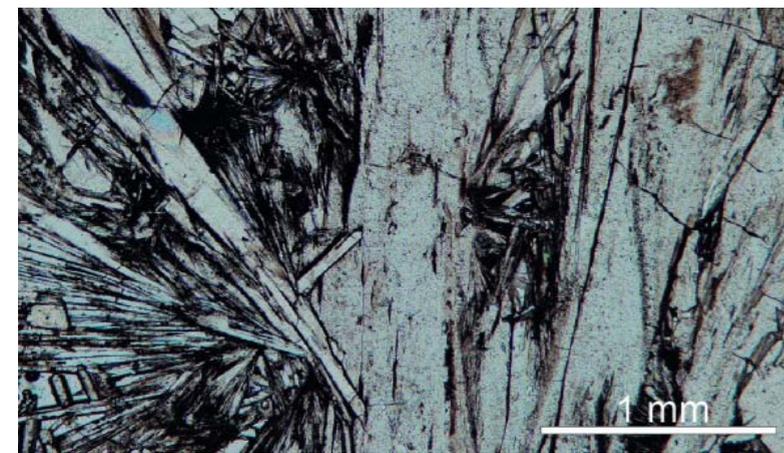
■ B) Aspecto de los cristales de calcita bajo el microscopio óptico.

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



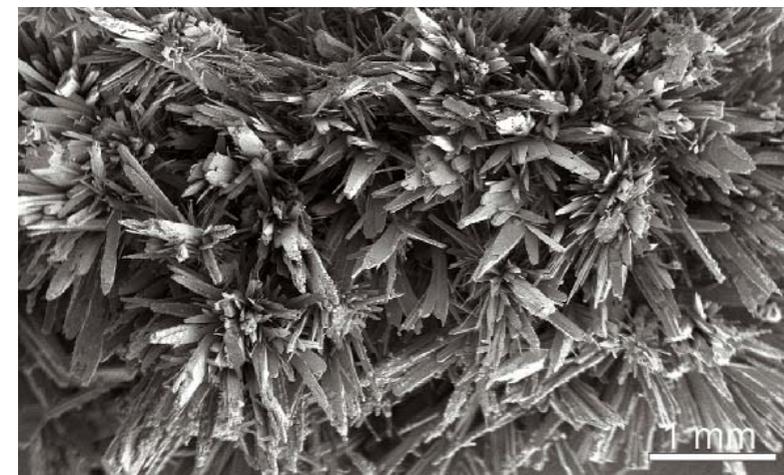
■ Cristales fibrosos de aragonito.

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 sobretodo 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.



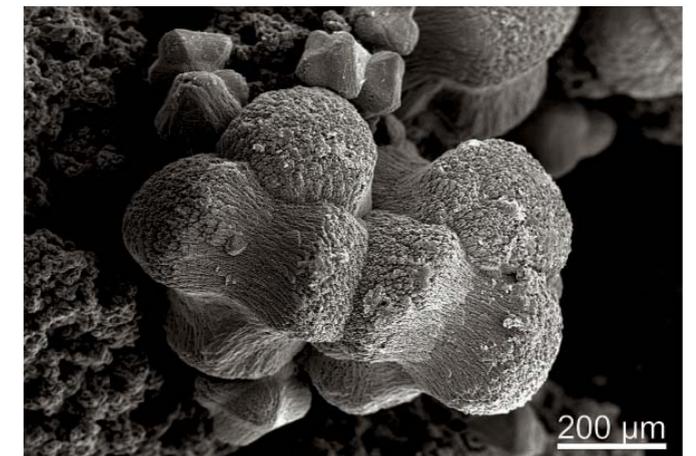
■ Dolomita con morfología esferoidal que crece sobre las pizarras.

1 mm



■ Cristales esferoidales de dolomita observados en el microscopio óptico. Presentan un bandeado 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.

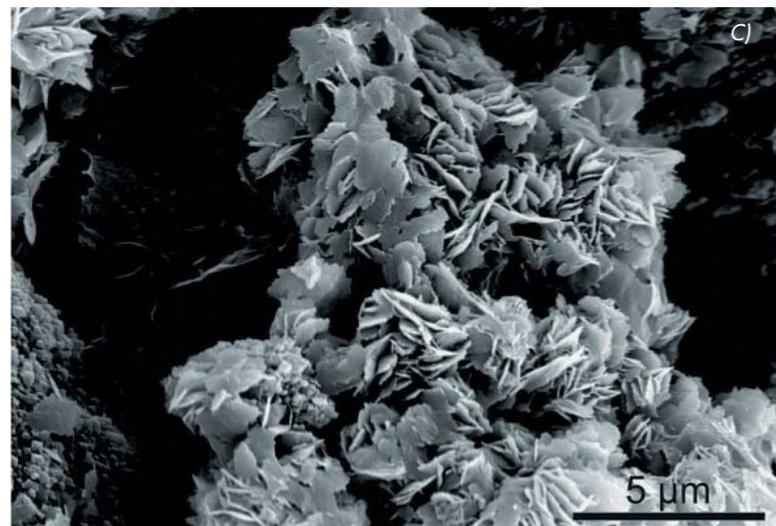
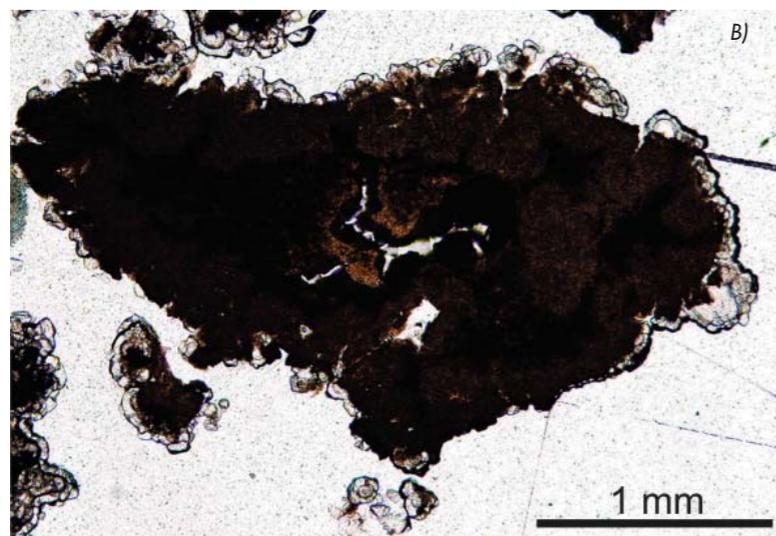
La huntita presenta un color muy blanco mate, y se reconoce por su aspecto masivo y pastoso. Esta textura se debe a que los cristales de huntita son de pequeñísimo tamaño, unas 4 micras.

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.

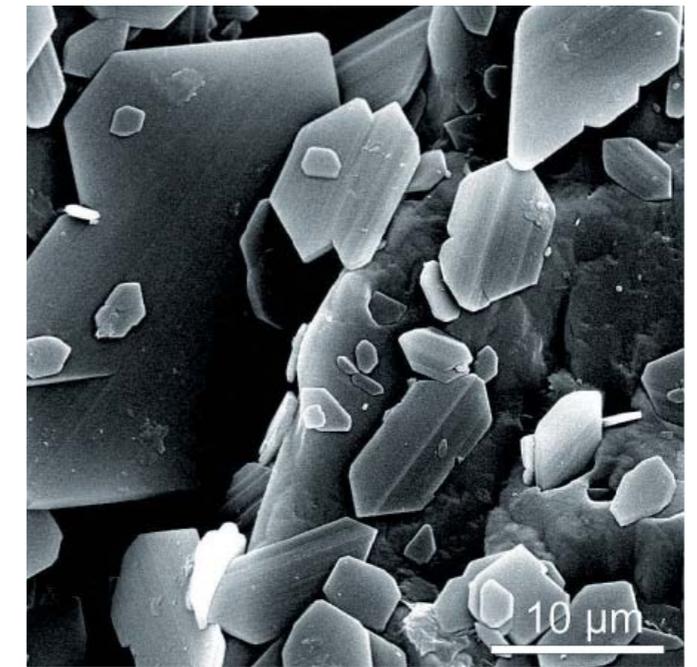
Estos cristales miden menos de una micra de espesor y forman tablillas de bordes muy rectos, a veces de forma rectangular, otras de forma hexagonal.

## Magnesita

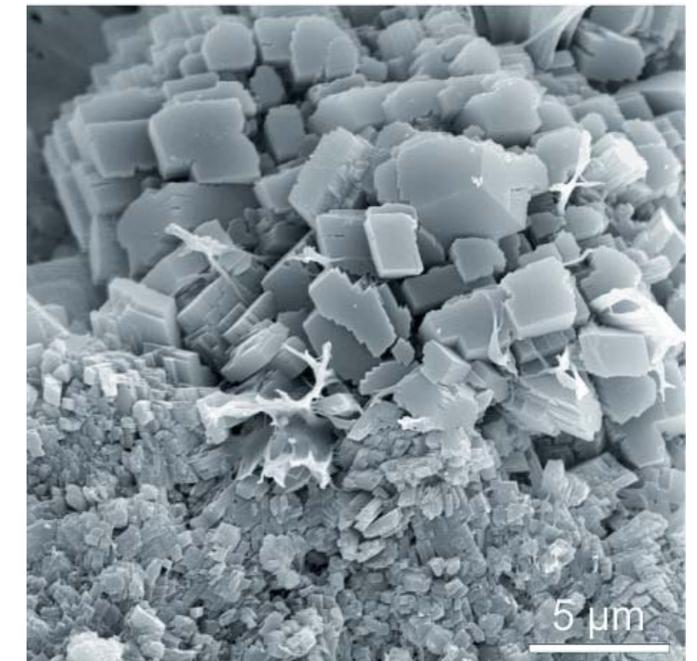
La magnesita es el carbonato magnésico sin hidratar ( $\text{MgCO}_3$ ).

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 tabulares de hidromagnesita vistos al microscopio electrónico

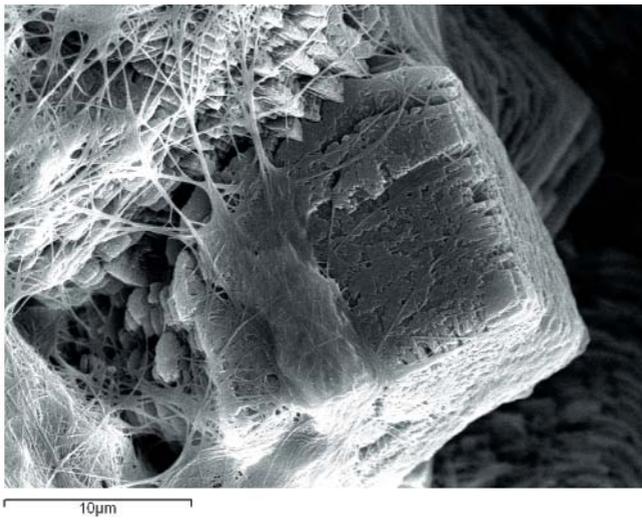


■ Cristales romboidales de magnesita en el microscopio electrónico.

## 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.

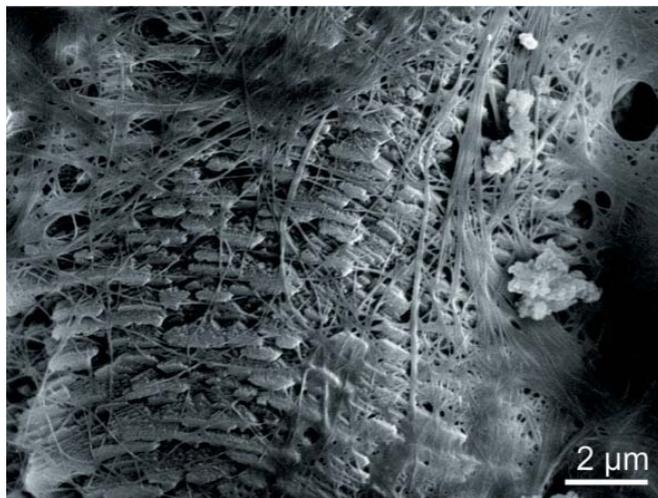


## Arcillas magnesianas

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.

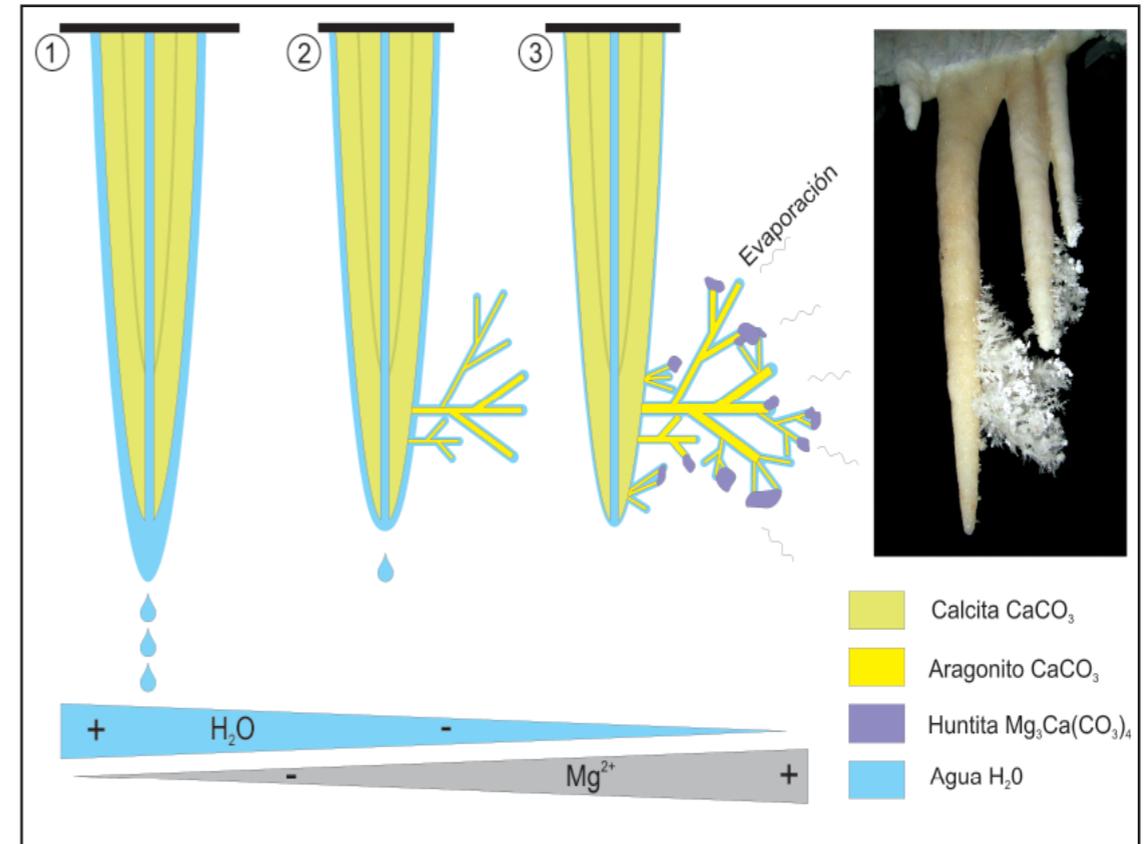
Sobre estos cristales y también hacia la parte más baja de las estalactitas y de muchas varillas, vemos fibras de varios milímetros de cristales muy brillantes y transparentes (aragonito).

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 (CaCO<sub>3</sub>).
- 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

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.

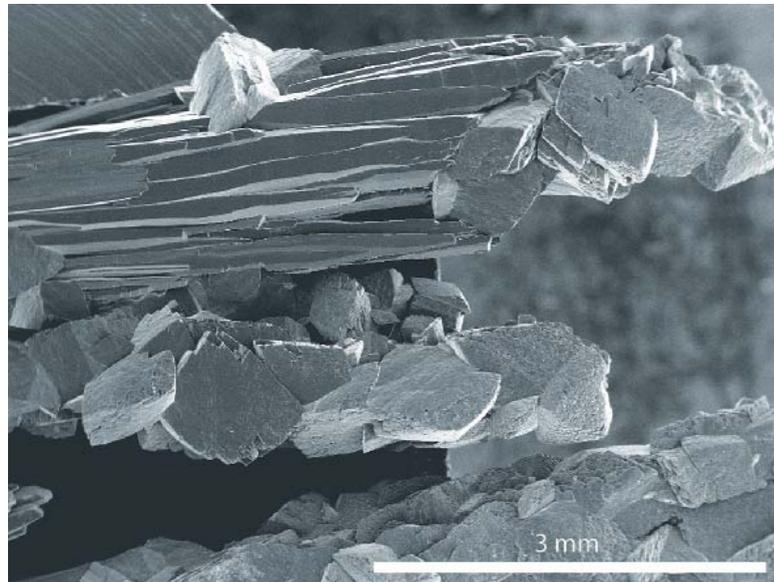
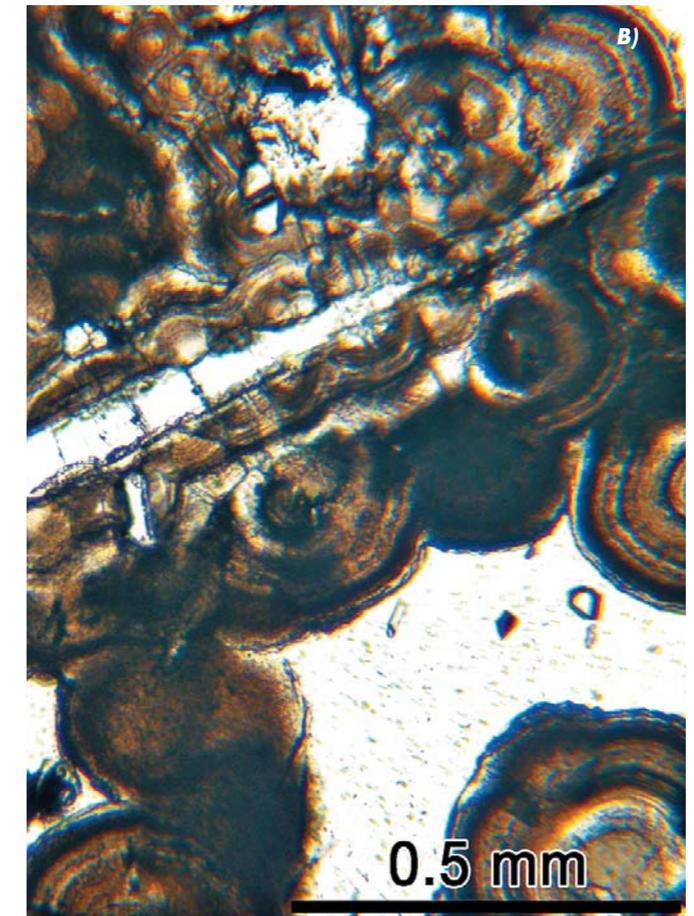
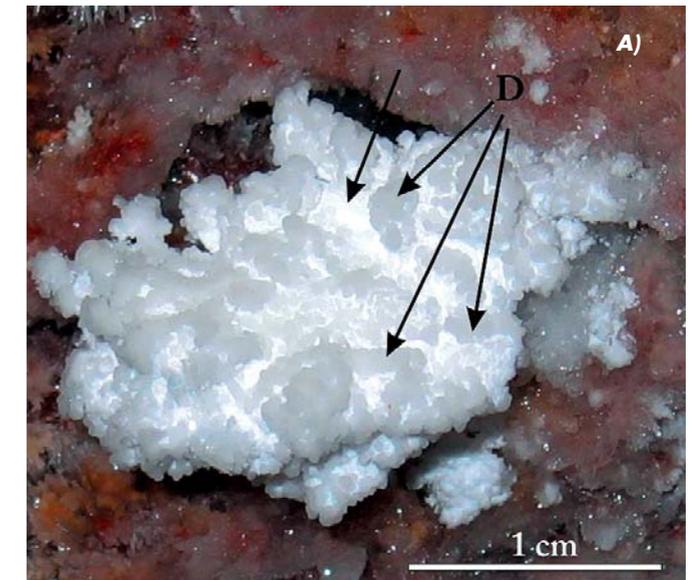
Mediante este proceso la huntita que forma el moon-milk se transforma en dolomita provocando que el moon-milk que normalmente es blando se vuelva duro.

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

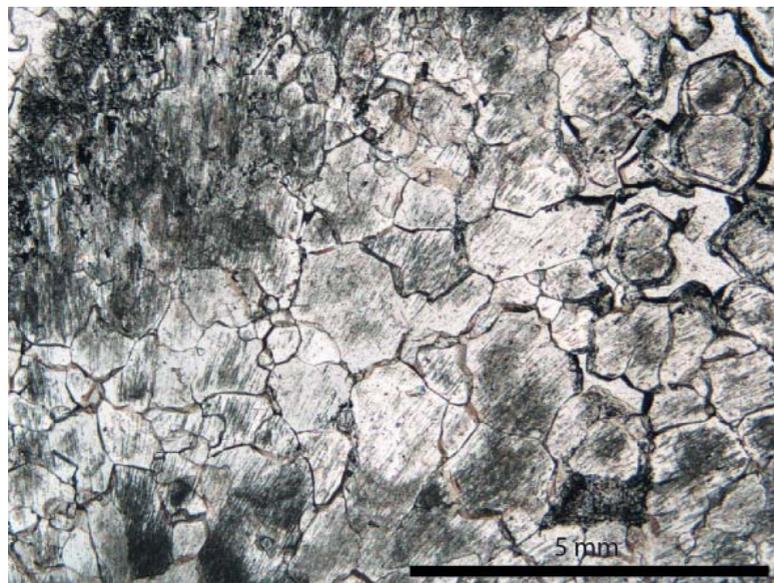
La presencia de dolomita en cuevas es muy poco frecuente y hay que tener en cuenta que no es un mineral primario, sino que se forma por transformaciones de los primarios, debido a que en el agua de la cueva queda mucho magnesio, por la disolución de las dolomías de la roca de caja.

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

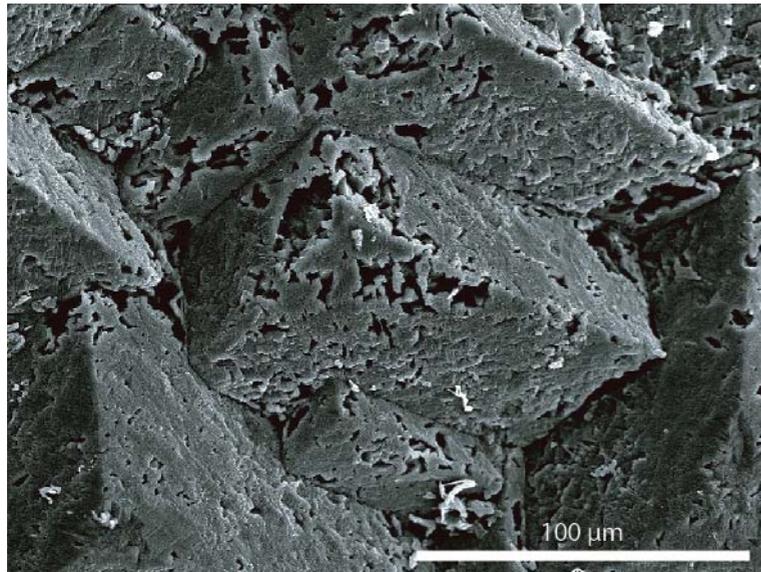
■ B) Fotografía de microscopio óptico en la que se observa que los cristales oscuros y redondeados de dolomita reemplazan las fibras de aragonito.



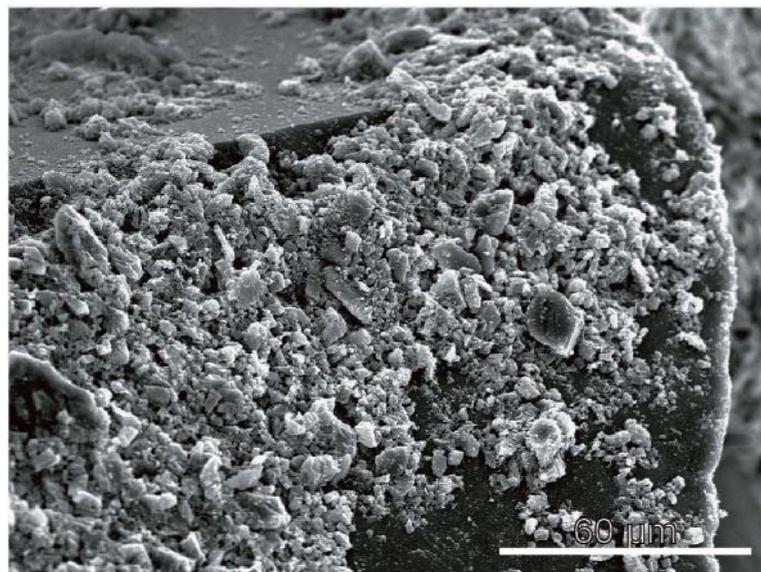
■ Cristales romboidales de calcita recubriendo cristales fibrosos de aragonito. Imagen de microscopio electrónico



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



■ 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



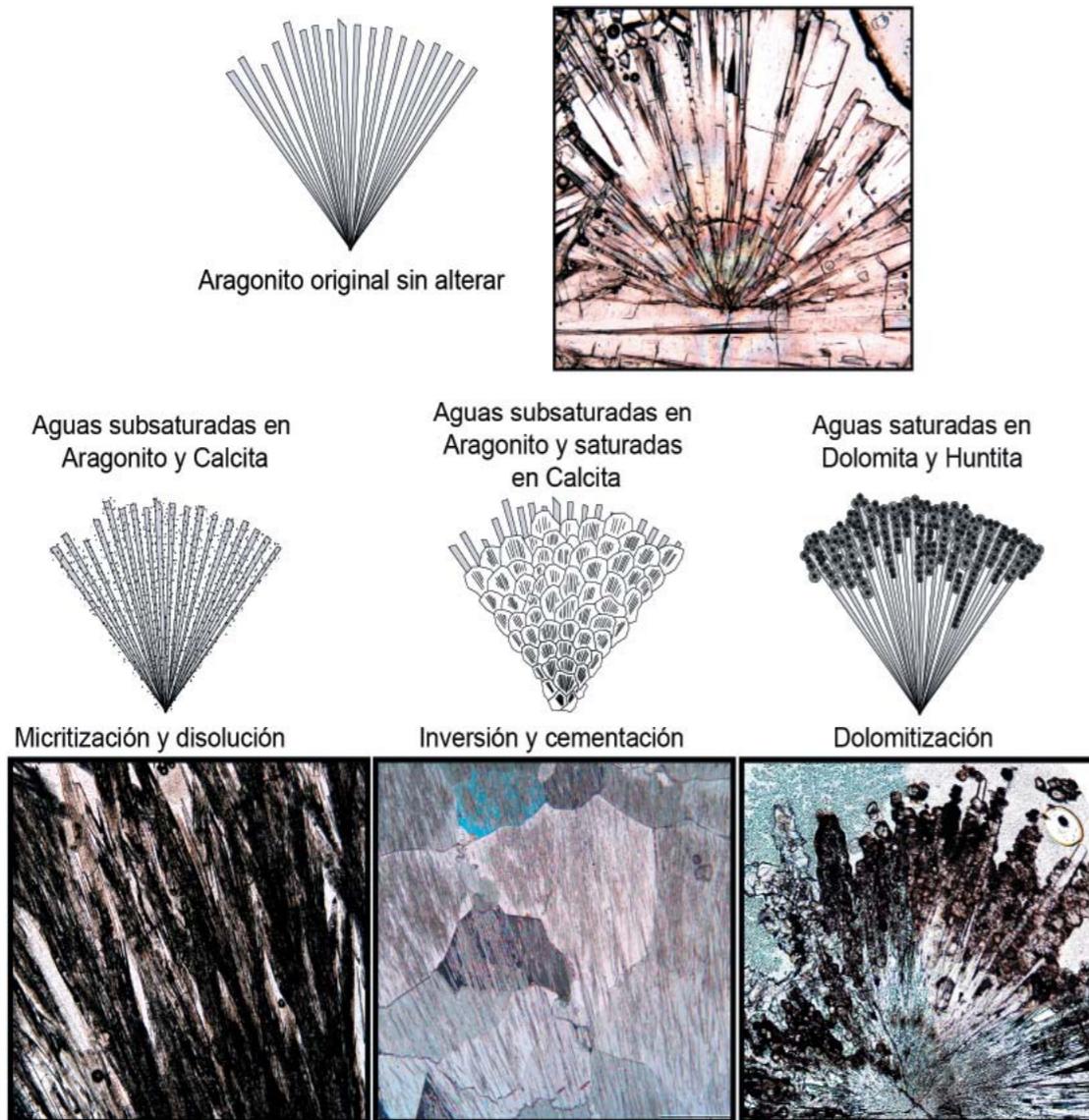
■ Banderas con grandes huecos producidos por disolución.

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.

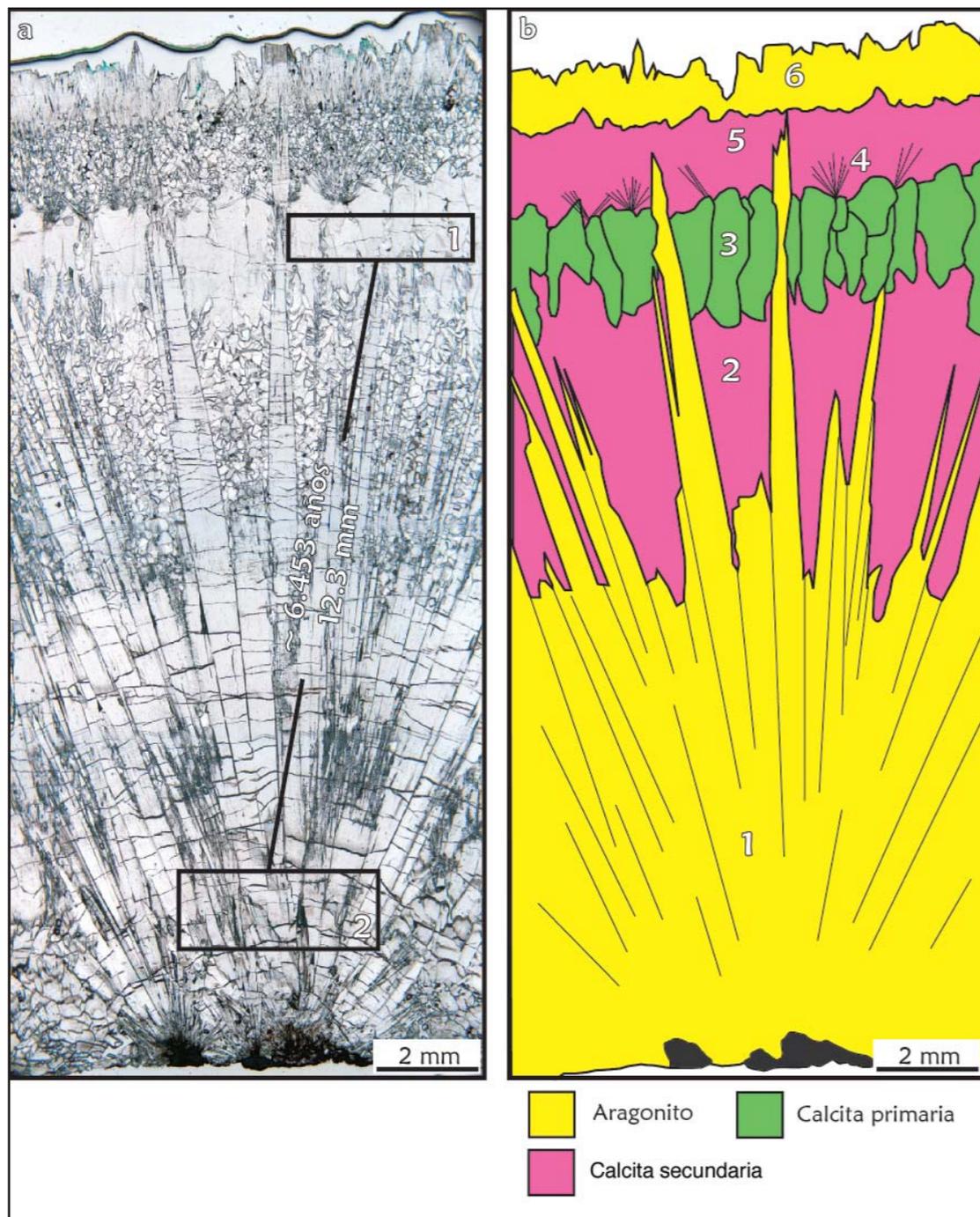
#### 5.4.4. ¿Cuándo se formaron los espeleotemas?

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.

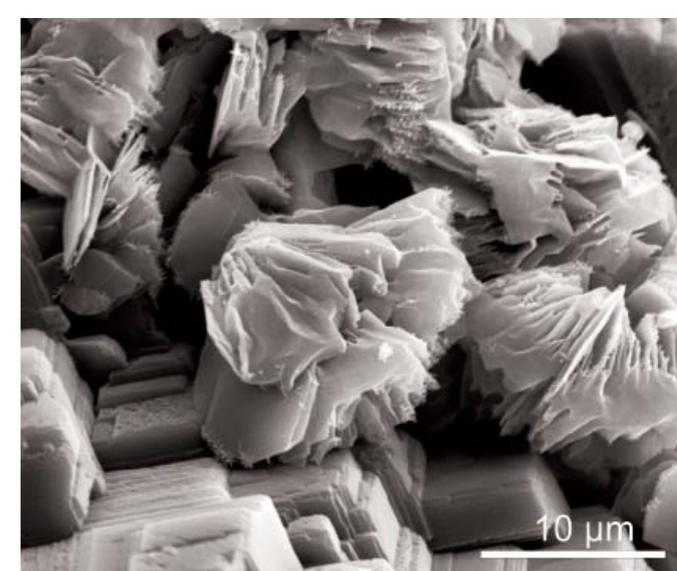
Los espeleotemas son una importante herramienta científica ya que a partir de ellos se puede saber mucho sobre el clima del pasado. En función del clima, si es más seco o más húmedo, más frío o más cálido, la composición de las aguas de formación de los espeleotemas va variando y eso queda reflejado 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 magnesita.

■ 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 ( $\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ ).

## 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.