

# Sobrecrecimientos freáticos en espeleotemas (POS): una experimentación con placas de vidrio (datos preliminares)

Ana ENTRENA<sup>1,2</sup>, Joan J. FORNÓS<sup>1,2</sup>, Lluís GÓMEZ-PUJOL<sup>1</sup> y Luis F. AUQUÉ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. Palma. Email: ana.entrena@uib.es

<sup>2</sup> Societat Espeleològica Balear. Palma.

<sup>3</sup> Grupo de Modelización Geoquímica. Universidad de Zaragoza.

## Abstract

This paper focusses on the study of brackish waters subterranean pools in caves from Mallorca and their relationship with the precipitate of POS (Phreatic Overgrowths on Speleothems). Since the 70's (GINÉS et al., 2012), POS have been object of study because they are key tool for Mediterranean Pliocene-Quaternary sea-level reconstruction. Results show for the first time the precipitation of this kind of speleothem under controlled conditions. Precipitation took place on frosted glass plates placed at the air-water interface during one year at two different pools in Coves del Drac. Additionally, air and water cave environmental features (e.g. salinity, temperature, pH) were monitored during the glass plates exposure period.

This work is a first approach to POS precipitates continuity, quantity, mineralogy and crystalline fabric based on SEM image descriptions of the collected samples and the paired environmental and water conditions dataset. Differences in environmental and water characteristics widen the possibilities to improve the knowledge on the optimal conditions for POS formation.

## Resum

Els llacs subterranis d'aigües salabroses de les coves de Mallorca, així com la seva relació amb els precipitats denominats sobrecreixements freàtics (POS - Phreatic Overgrowths on Speleothems), han estat objecte d'un intens estudi des dels anys 70 pel seu paper rellevant en les reconstruccions del nivell marí plio-quaternari de la Mediterrània (GINÉS et al., 2012). En el present treball es dona compte, per primera vegada, de la formació d'aquest tipus d'espeleotemes en condicions controlades. Les superfícies experimentals sobre les quals s'ha produït aquest precipitat han estat plaques de vidre esmerilat, ubicades a la interfase aigua-aire durant un any a dos llacs diferents de les Coves del Drac. Juntament amb l'exposició de les plaques, s'han monitoritzat, les condicions atmosfèriques de l'interior de la cavitat, així com dels paràmetres físic-químics de l'aigua en què es produeixen els precipitats.

Aquest treball és una primera aproximació centrada en la descripció, a partir de les imatges de microscòpia electrònica, de la continuïtat, quantitat, mineralogia i fabrica cristallina dels precipitats recollits i la seva relació amb les condicions de precipitació. Les aigües i paràmetres ambientals d'aquests llacs presenten característiques diferents, la qual cosa amplia les possibilitats d'aprofundir en el coneixement dels paràmetres i condicions òptimes per a la formació i creixement d'aquests precipitats.

Entrena, A.; Fornós, J.J.; Gómez-Pujol, L. y Auqué, L.F. (2020): Sobrecrecimientos freáticos en espeleotemas (POS): una experimentación con placas de vidrio (datos preliminares). Papers Soc. Espeleo. Balear, 3: 65-81. ISSN 2605-3144. © Societat Espeleològica Balear. **Rebut:** 8 octubre 2020; **Revisat:** 1 novembre 2020; **Acceptat:** 2 novembre 2020. **Publicat online:** 10 novembre 2020.

## Introducción

La mayoría de las cuevas litorales de la isla de Mallorca tienen lagos subterráneos (Figura 1) caracterizados por presentar una mezcla de aguas saladas –provenientes de intrusiones marinas– y dulces o meteóricas, procedentes de la infiltración, dando lugar a aguas salobres con unas características físico-químicas específicas (FORNÓS et al., 2018c). Asociados a estos lagos se forman un tipo especial de espeleotemas, denominados sobrecrecimientos freáticos (*Phreatic Overgrowths on Speleothems*, POS), cuya precipitación está asociada a la superficie del agua de los lagos del interior de la cavidad (GINÉS et al., 2012), es decir, con el nivel freático que, debido a la proximidad con la línea de costa, es coincidente con el nivel del mar. Estos precipitados, originados normalmente por procesos de

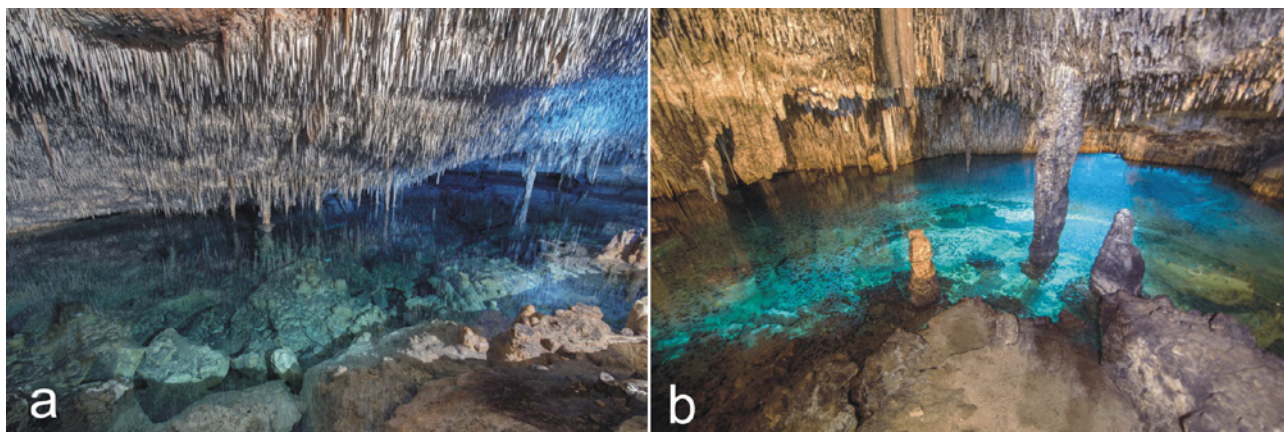


Figura 1: El Llac de les Delícies (a) y el Llac Negre (b) (Fotos: M. A. Gual).  
Figure 1: Llac de les Delícies (a) and Llac Negre (b) (Photos: M. A. Gual).

desgasificación (ONAC et al., 2012) presentan una mineralogía variable, pudiendo estar formados tanto por calcita como por aragonito, con rasgos morfológicos y fábricas cristalinas muy variables (GINÉS, 2000).

Los trabajos centrados en los sobrecrecimientos freáticos de las cuevas de Mallorca y en especial en la zona del Llevant y Migjorn de la isla, han sido objeto de estudio desde los años 70 (GINÉS et al., 2012). Estos trabajos previos se focalizan en la evaluación de las cotas altimétricas respecto al nivel del mar actual de los diversos niveles hallados junto con las dataciones radiométricas realizadas en estos depósitos, con el objetivo de poder obtener reconstrucciones de las variaciones altimétricas del nivel del mar Mediterráneo en el pasado.

Dejando de lado los trabajos iniciales de POMAR et al. (1979), sobre la morfología cristalina y mineralogía, el intento de clasificación morfológica de GINÉS (2000) y algunas otras aportaciones (CSOMA et al., 2006), así como los intentos de conseguir precipitados actuales realizados en otras campañas de investigación (BOOP, 2014), poco se ha avanzado en este campo, no habiéndose conseguido hasta la fecha la obtención de precipitados actuales *in situ* de este tipo de espeleotemas en condiciones plenamente controladas.

El objetivo del trabajo consiste en presentar los primeros resultados de los POS obtenidos en la interfase agua-aire de dos lagos subterráneos (inicialmente con supuestos condicionantes ambientales diferentes) de una cueva litoral (Coves del Drac), mediante la colocación de placas de vidrio esmerilado sobre las que se produce su nucleación y crecimiento.

La descripción y caracterización de la mineralogía, morfología y fábrica cristalina de los precipitados obtenidos se relaciona con datos preliminares de caracterización geoquímica de las aguas y del aire de la cavidad (temperatura, presión parcial del CO<sub>2</sub>, etc.). Los resultados obtenidos suponen un salto en la comprensión del funcionamiento y desarrollo de estos precipitados. Esta información, basada en muestras actuales, podrá ser extrapolada a los depósitos previos de sobrecrecimientos presentes en otras cavidades y en otros rangos temporales pudiendo llegar a la reconstrucción de las características ambientales de tiempos pretéritos.

## Situación geográfica y geológica

Las Coves del Drac están localizadas en la unidad fisiográfica de Mallorca denominada como Marina de Llevant; en la localidad de Porto Cristo (Figura 2) perteneciente al municipio de Manacor (ETRS89 39°32'8.66" N, 3°19'50.23" E). Se trata de las cuevas turísticas más visitadas de toda Europa y son explotadas con fines turísticos desde los años 20 del siglo pasado. Desde un punto de vista geológico las Coves del Drac se desarrollan en los materiales calcareníticos correspondientes a una plataforma carbonatada depositada durante el Mioceno superior, presentando facies con características más proximales en la zona más cercana al mar y facies más de talud conforme la formación continua hacia el interior de la isla (FORNÓS et al., 2018b).

Concretamente, los depósitos en los que se encajan las Coves del Drac se corresponden con la unidad Tortoniense-Messiniense que aflora en el levante de la isla de Mallorca (Figura 2). Se trata

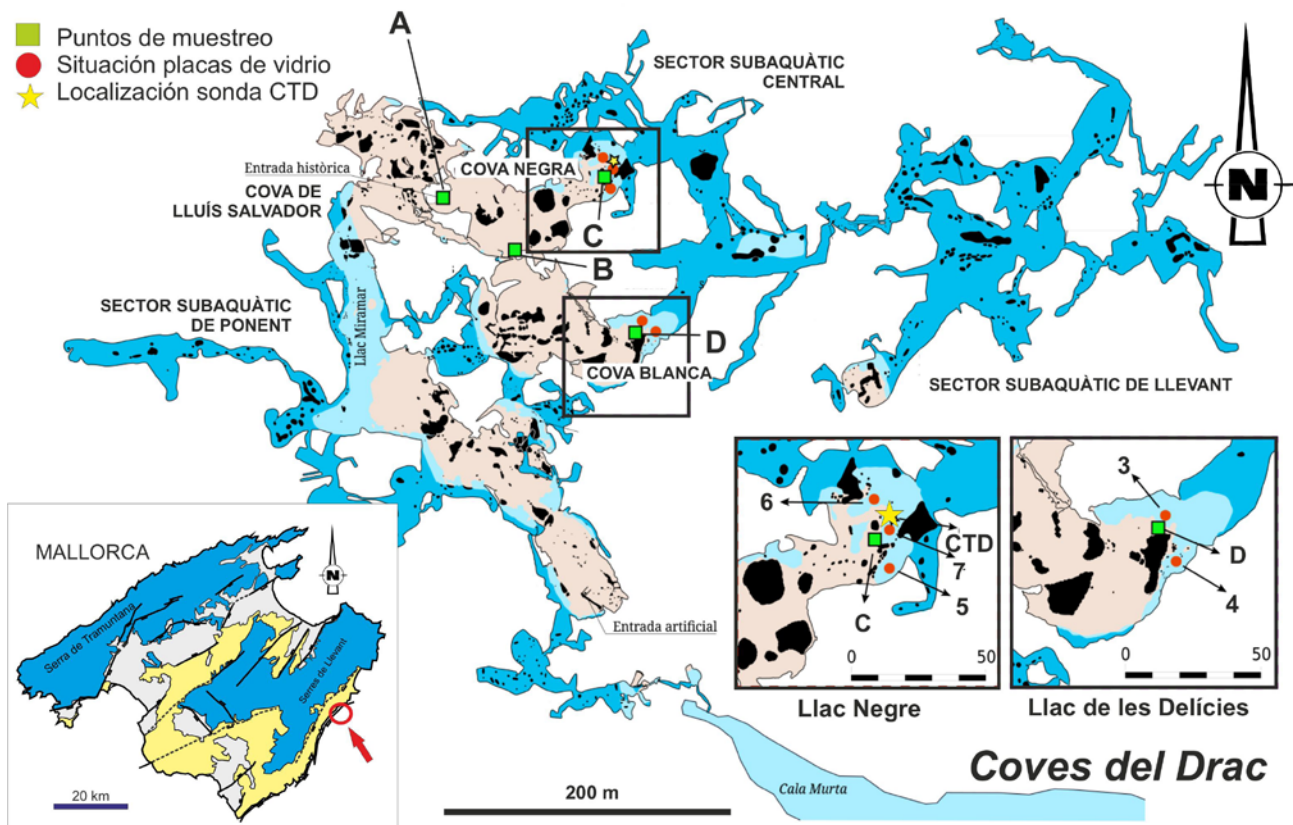


Figura 2: Localización de las Coves del Drac (flecha) en el mapa geológico simplificado de la isla de Mallorca (Modificado de FORNÓS & GELABERT, 2011); y topografía de las Coves del Drac con detalle del Llac Negre (Cova Negra) y del Llac de les Delícies (Cova Blanca) con la ubicación de los puntos de muestreo (modificado de SANTANDREU et al., 2018).  
 Figure 2: Location of Coves del Drac (arrow) on the simplified geological map of the island of Mallorca (modified from FORNÓS & GELABERT, 2011) and topographic map of Coves del Drac showing Llac Negre (Cova Negra) and Llac de les Delícies (Cova Blanca) with detail on the location of sampling points (modified from SANTANDREU et al., 2018).

de calizas arrecifales y calizas oolíticas (FORNÓS & GELABERT, 2004) con una disposición subhorizontal. Esta unidad presenta un espesor que va de los 80 a los 100 m y puede dividirse en dos unidades: el Complejo Arrecifal (calizas arrecifales y calcarenitas bioclásticas que en contacto con el basamento pasan a conglomerados) y el Complejo Terminal Messiniense (formado por calizas oolíticas y estromatolitos; ÁLVARO et al., 1991), siendo en el primero de ellos donde queda ubicada la cavidad.

La morfología de la cavidad presenta, como en la mayoría de cavidades litorales que están excavadas en los materiales del Mioceno superior de Mallorca, un estado avanzado de evolución espeleogenética (GINES et al., 2018). La cueva se caracteriza por unos procesos morfogenéticos en los estadios finales consistentes en el colapso de las galerías primigenias dando lugar a grandes salas afectadas posteriormente por periodos de una fuerte estalagmitización, destacando el desarrollo de espeleotemas frente a otro tipo de depósitos. En el caso de las Coves del Drac estos derrumbes han dado lugar a la formación de seis grandes salas que conforman el sistema (Figura 2), con techos elevados y acumulaciones de bloques en su interior (SANTANDREU et al., 2018). Estas seis unidades que componen la cavidad aparecen interconectadas de forma aleatoria llegando la mayoría de ellas al nivel freático y por ello presentan lagos de aguas salobres.

Debido a la explotación turística de la cueva, se decidió elegir para el presente trabajo aquellos lagos que se encuentran fuera del recorrido de las visitas, por lo que se considera que mantienen unas condiciones más “naturales” o inalteradas. Estos lagos son el Llac Negre, ubicado en la cueva del mismo nombre y el Llac de les Delícies, ubicado en la Cova Blanca (Figura 2). Ambos lagos son el inicio de grandes galerías de los sectores subacuáticos Central y de Llevant, respectivamente (ENSEÑAT et al., 2018; GRÀCIA et al., 2018); observándose en ellos, a lo largo del año, precipitados de calcita flotante en su superficie, así como sobrecrecimientos freáticos sobre espeleotemas (POS).

## Metodología

Conocido el interés que presentan los POS en cuanto a las reconstrucciones de las variaciones del nivel del mar en el pasado y su utilidad para predecir cambios futuros en el mismo, se hace necesario comprender todos los parámetros ambientales que dan lugar a su formación, tanto del agua como de la atmósfera del interior de las cavidades.

Los datos para el análisis de las características atmosféricas han sido tomados en cuatro puntos seleccionados dentro de la cavidad: Cova Negra, Cova Blanca (Llac de les Delícies), Sala de la Palmera (zona de bifurcación del acceso a las dos anteriores) y exterior (Figura 2). Todos los puntos están localizados en el sector antiguo de les Coves del Drac, un área no visitable por el abundante turismo que accede a la cavidad, pero de acceso fácil y controlado. Estas ubicaciones fueron seleccionadas teniendo en cuenta las características topográficas y su relación con la circulación atmosférica del interior de la cavidad (FORNÓS et al., 2018a).

Para analizar la composición geoquímica de las aguas de los lagos donde se producen dichos precipitados se eligieron dos lagos (Llac Negre y Llac de les Delícies) con características ambientales a priori diferentes (FORNÓS et al., 2018a y 2018c).

Los parámetros ambientales generales de la cueva monitorizados de forma trimestral fueron: humedad relativa del ambiente (RH), presión parcial del  $\text{CO}_2$  y temperatura del aire ( $T_{\text{am}}$ ), medidos con una sonda Pocket  $\text{CO}_2$  meter (SAN-0001); y salinidad (Sal), conductividad (Cond), total de sólidos disueltos (TDS), pH y temperatura del agua ( $T_{\text{H}_2\text{O}}$ ), con una sonda multiparámetro portátil PC70 de Labprocess. En cada campaña se tomaron también muestras de agua de la capa superficial de la columna de agua (primeros 10 cm) para el análisis posterior en el laboratorio de la alcalinidad y dureza, así como de los elementos mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , K y  $\text{SO}_4^{2-}$ ), si bien estos datos, aún en fase de estudio, no serán tratados en este artículo.

Paralelamente se instaló una sonda paramétrica (CTD) con registro continuo de datos (modelo EXO-1 de YSI) tomando valores de temperatura (T), conductividad (Cond), salinidad (Sal), total de sólidos disueltos (TDS), oxígeno disuelto (DO) y pH con un intervalo de toma de datos de 15 minutos. Dicha sonda fue instalada en el Llac Negre, situando los sensores a unos 10 cm de profundidad constante gracias a un sistema de flotación (Figura 3 a-c) que permite obviar las variaciones del nivel del lago y coincidiendo con la zona de la columna de agua donde se produce el precipitado de los POS. En cada campaña se descargaron los datos mediante el software EXO-KOR. Todos los datos, tanto los de carácter trimestral como los continuos, fueron analizados y representados mediante tablas y gráficas para la observación de las variaciones temporales y reconocimiento de los posibles patrones estacionales, así como la comparación espacial relacionada con los distintos puntos de muestreo (Llac Negre y Llac de les Delícies).

Para la recogida de los posibles precipitados (POS) se ideó un sistema basado en la fabricación de unas boyas flotantes en forma de paralelepípedo (20 x 10 x 10 cm aprox.) hechas de poliestireno en las que se colocaron unos vidrios (con una cara esmerilada, de 7,5 x 10,5 x 0,4 cm) de tal manera que se encontraran siempre en contacto con la interfaz entre el agua y el aire obviando las constantes variaciones del nivel de los lagos del interior de la cavidad. Dichas variaciones

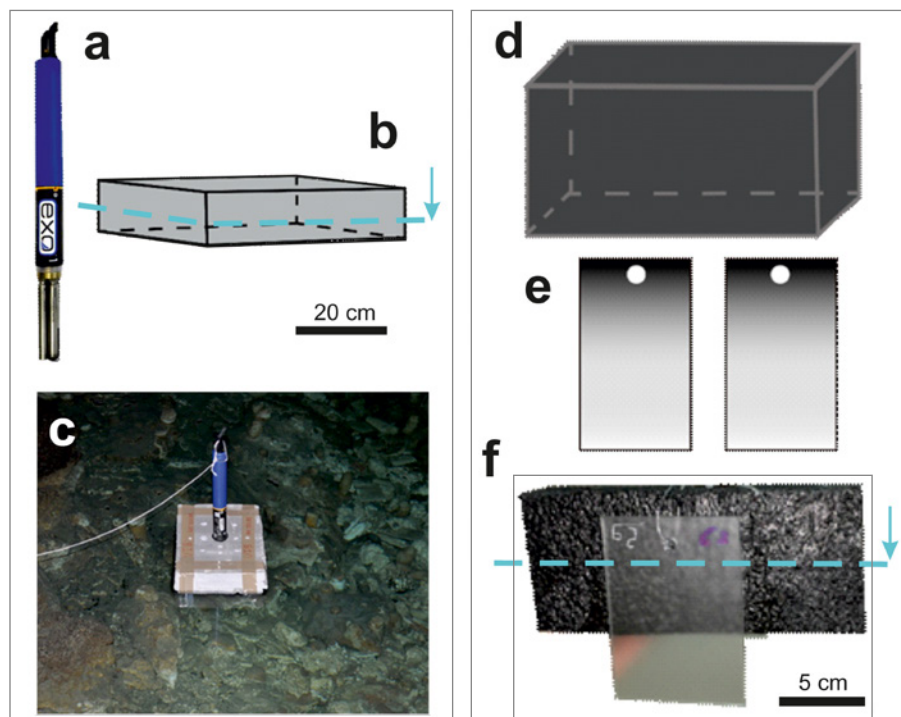


Figura 3: Imagen de la sonda CTD (a) junto con el flotador (b) y su colocación en el Llac Negre (c) y esquema de la boya (d) y las placas de vidrio (e) y su montaje (f).  
 Figure 3: Image of the CTD probe (a) together with the float (b) and its location in the Llac Negre (c), and scheme of the buoys (d) and glass plates (e) and their assemblage (f).

están relacionadas con los movimientos de oscilación mareal del Mediterráneo debido, como factor más importante, a los cambios en la presión atmosférica del exterior, generando unas oscilaciones de 0.25 m con máximos que pueden alcanzar una carrera mareal de orden métrico (GÓMEZ-PUJOL et al., 2007). En cada una de las boyas se instalaron dos vidrios sujetos mediante un hilo de nylon (Figura 3 d-f) a las que se añadió un plomo para su anclaje en un lugar concreto del lago. La colocación de los vidrios fue realizada el 16 de enero de 2019 y se retiraron el 4 de febrero de 2020, por lo que estuvieron colocados un año y 19 días en el interior de las Coves del Drac. La sonda ya estaba dispuesta con anterioridad a la colocación de los vidrios, por lo que se han podido utilizar sus datos durante el rango temporal coincidente con la disposición de los vidrios.

Posteriormente a la retirada de los vidrios del interior de la cavidad, se dejaron durante varios días secando al aire en el laboratorio. Una vez secos, se revisaron a simple vista y con la ayuda de una lupa binocular (Euromex-Holland DZ.5040), para observar la presencia de material precipitado. Finalmente, se seleccionaron diversos perfiles en los vidrios para su observación en detalle con el microscopio electrónico de barrido (SEM - modelo HITACHI S-3400N). Estas observaciones se realizaron en los Serveis Científicotècnics de la Universitat de les Illes Balears.

A partir del estudio de las muestras con el SEM se establecieron una serie de patrones de crecimiento en relación a la profundidad y a su localización, atendiendo a la mineralogía y fábrica cristalina de los diferentes precipitados.

### Datos ambientales de la atmósfera de la cavidad

La toma de datos de tipo puntual ha sido, aproximadamente, cada 2-3 meses durante el último año, ubicando 3 datos durante el invierno, 2 en el verano y uno durante el otoño y la primavera. Por otro lado, existen varios estudios previos (BOOP, 2014; BOOP et al., 2017; FORNÓS et al., 2018a) que permiten ampliar la escala temporal del estudio. Destaca, sobre todo, el trabajo de FORNÓS et al. (2018a) ya que se trata de una recopilación y análisis de datos de temperatura, CO<sub>2</sub> y radón (Rn) en las Coves del Drac desde el 2012 al 2019, tomados cada 2-3 meses; por ello los datos recogidos en la campaña actual van a considerarse una continuación de ese trabajo previo, facilitando así la búsqueda de patrones estacionales y comportamientos atmosféricos en el interior de la cavidad.

#### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

De forma general, en todos los puntos de la cavidad donde se han tomado datos de CO<sub>2</sub> pueden apreciarse las mismas tendencias de valores mayores durante el verano y menores durante el invierno (Tabla 1), lo que coincide con el trabajo de FORNÓS et al. (2018a). Por un lado, destacan las variaciones de más de 1.000 ppm en ambos lagos entre el verano y el invierno, y por otro, la afinidad de valores entre los medidos en la Sala de la Palmera y en el exterior, exceptuando el máximo en verano con valores mayores en la Sala de la Palmera.

Los valores de CO<sub>2</sub> para el Llac Negre en esta campaña y en la de FORNÓS et al. (2018a) durante el verano presentan los mismos máximos, mientras que los valores mínimos medidos en invierno de 2019 son mayores (en torno a 500 ppm) que el rango medido para el trabajo previo (entre 400 y 450 ppm).

Fecha	Llac Negre CO <sub>2</sub> (ppm)	Llac de les Delícies CO <sub>2</sub> (ppm)	Sala Palmera CO <sub>2</sub> (ppm)	Exterior CO <sub>2</sub> (ppm)	Llac Negre T (°C)	Llac de les Delícies T (°C)	Sala Palmera T (°C)	Exterior T (°C)
16/01/2019	580	670	510	450	16,5	17,0	19,73	19,0
02/02/2019	580	640	510	410	17,3	18,0	19,4	19,3
05/04/2019	530	650	450	410	19,2	17,0	17,3	19,4
12/07/2019	1500	1600	1160	490	25,4 (?)	21,0	21,2	23,3
13/09/2019	830	1390	730	420	23,3	25,2 (?)	21,8	21,8
22/11/2019	490	640	510	560	19,4	18,3	18,1	21,1
04/02/2020	560	600	570	500	19,1	19,3	18,7	19,3

Tabla 1: Datos de CO<sub>2</sub> y temperatura del aire para los cuatro puntos de muestreo en las Coves del Drac.  
Table 1: CO<sub>2</sub> and air temperature data at the four sampling points in Coves del Drac.

En el Llac de les Delícies ocurre lo mismo que en el caso anterior: los valores máximos son coincidentes en ambos trabajos (1.600 ppm), mientras que los valores medidos para el invierno fluctúan entre 400 y 500 ppm según FORNÓS et al. (2018a) y los nuevos datos aportan valores mínimos que superan las 600 ppm en invierno de 2020.

El conjunto de los datos muestra una estacionalidad entre los meses de invierno y de verano que se repite anualmente, manteniendo siempre valores más elevados en el Llac de les Delícies que en el Llac Negre. En líneas generales, los datos tomados en la Sala de la Palmera presentan menores concentraciones que en los otros dos puntos descritos y, los datos medidos en este punto son los más parecidos a los medidos en el exterior, ya que la ubicación de la Sala de la Palmera se encuentra a medio camino al Llac Negre y antes de la separación del camino del Llac de les Delícies.

### *Temperatura del aire*

Los datos de temperatura medidos, presentan unos valores mayores durante el verano y menores durante los inviernos, destacando que el invierno de 2019 es más frío que el de 2020.

Los datos de temperatura medidos en el Llac Negre (Tabla 1) presentan una temperatura máxima de 25,4°C (valor puntual y que debe ser considerado como tal), una mínima de 16,5°C y una media de 20°C, con una variación entre los valores máximos de 9°C. En general, los valores de esta campaña parecen alejarse un poco de las tendencias recogidas por FORNÓS et al. (2018a), donde la variación entre el verano y el invierno no supera los 6°C y presenta una temperatura máxima de 23,3°C, una mínima de 15,5°C y una media entre los 20°C y los 21°C. Por lo tanto, la temperatura media y el valor máximo de la campaña 2019/2020, superan los valores de los trabajos previos, pero las mínimas de invierno sí estarían en los rangos obtenidos en el trabajo de FORNÓS et al. (2018a).

En el Llac de les Delícies la temperatura máxima medida es de 25,2°C (igual que en el caso anterior este valor corresponde a un único registro), la mínima es de 17°C y la media de los valores es de 19,4°C, con una variación entre los valores máximos de 8°C. Al comparar estos valores con los de la campaña de 2012 a 2019 (FORNÓS et al., 2018a), se observa cómo, tanto los valores de verano como las variaciones entre los máximos, son valores más altos que los de la campaña previa, pero, sin embargo, los valores mínimos tomados en los meses de invierno están dentro del mismo rango en ambos trabajos, igual que en el Llac Negre.

Las temperaturas tomadas en la Sala de la Palmera son, en general, menores que en el resto de puntos medidos en la cavidad y en el exterior (medida al mediodía), a excepción de los valores de invierno de 2019, cuando es en la Sala de la Palmera donde los valores son mayores.

### *Humedad relativa (RH)*

En general, los valores más bajos de Humedad Relativa (RH) se reconocen a principios de verano (Tabla 2), con valores de 46,4% para el Llac Negre, 63,0% para el Llac de les Delícies y 68,5% en la Sala de la Palmera, mientras los valores en el exterior son más altos en este momento con 78,2%, presentando el valor más bajo en primavera (51,5%). Los valores mínimos medidos de humedad relativa, igual que las cantidades acumuladas de CO<sub>2</sub>, están relacionadas con la topografía y accesibilidad de la cueva y con la facilidad o dificultad que tenga el aire de ser renovado en los puntos en los que se hacen las medidas. Por otro lado, los valores máximos aparecen relacionados con el descenso de la temperatura en el Llac Negre y en el de las Delícies en invierno de 2020, coincidiendo con las dos ubicaciones de peor ventilación, mientras los valores más altos en la Sala de la Palmera y el exterior se dan a finales de verano.

Fecha	Llac Negre RH (%)	Llac de les Delícies RH (%)	Sala Palmera RH (%)	Exterior RH (%)
16/01/2019	66,0	74,0	72,0	59,0
02/02/2019	63,0	81,1	73,4	57,0
05/04/2019	61,7	68,0	66,8	51,5
12/07/2019	46,4	63,0	68,5	78,2
13/09/2019	71,7	69,7	97,2	91,2
22/11/2019	75,0	76,1	79,4	73,5
04/02/2020	81,1	86,5	81,4	76,6

Tabla 2: Datos de Humedad Relativa en los puntos de muestreo.  
Table 2: Relative humidity data at the sampling points.

## Características físico-químicas de la lámina superficial del agua de los lagos

Fecha	Llac Negre T (°C)	Llac de les Delícies T (°C)
16/01/2019	15,50	18,70
02/02/2019	15,90	18,90
05/04/2019	16,40	18,70
12/07/2019	17,50	18,80
13/09/2019	17,90	19,20
22/11/2019	17,00	18,80
04/02/2020	16,70	18,90

Tabla 3: Datos de temperatura del agua en los lagos muestreados en las Coves del Drac.

Table 3: Water temperature data at the pools sampled in Coves del Drac.

### Temperatura del agua (T)

La temperatura del agua se mantiene más o menos constante en el tiempo (Tabla 3). En el Llac de les Delícies no aparecen grandes variaciones a lo largo del año, ya que presenta una variación de máxima de 0,5°C, con una media de 18,9°C y con el valor más alto (19,2°C) durante el final del verano y el más bajo (18,7°C) en enero y abril de 2019. Las variaciones en la temperatura del Llac Negre son mayores que en el Llac de les Delícies, con una variación que llega a 2,4°C y una temperatura media del agua de 16,7°C. Los valores más altos fueron registrados durante el verano (17,9°C y 17,5°C) y los más bajos durante el invierno del 2019 (15,5°C).

### Conductividad, salinidad y total de sólidos disueltos

En ambos lagos los valores más altos para estos tres parámetros se dan en primavera y los más bajos en invierno del 2020, con una clara tendencia negativa general de los valores; es decir, un descenso en la conductividad, salinidad

y total de sólidos disueltos desde la primavera de 2019 al invierno de 2020 (Tabla 4). Por otro lado, todos los parámetros presentan valores más altos en el Llac de les Delícies que en el Llac Negre.

Los datos de conductividad medidos en el Llac de les Delícies presentan el pico máximo durante la primavera, con un valor de 16,7 mS/cm, mientras el resto del año los valores son más bajos, con una clara tendencia negativa, presentando un valor mínimo de 13,38 mS/cm durante el invierno del 2020. La media obtenida a partir de esta toma de datos anual es de 15,3 mS/cm y la máxima variación entre los valores pico es de 3,3 mS/cm. Igual que en el caso anterior, en el Llac Negre el máximo se corresponde con el periodo primaveral, con un valor de 15,28 mS/cm y el mínimo valor, de 11,38 mS/cm, con el invierno del 2020. La media anual en este lago es de 14 mS/cm y la variación máxima entre el valor máximo y el mínimo es de 3,9 mS/cm, un poco mayor que en el Llac de les Delícies.

La salinidad varía de forma prácticamente paralela en ambas masas de agua presentando los mismos picos, tanto positivos como negativos, que los datos de la conductividad. Los valores más altos se localizan en los meses de más calor (primavera y verano) destacando el valor más alto en ambos lagos para primavera, con 9,17 PSU en el Llac de les Delícies y 8,59 PSU en el Llac Negre. Las variaciones entre los valores más altos y más bajos de la salinidad son de 1,74 y 2,22 PSU, respectivamente.

El total de sólidos disueltos (TDS), de la misma forma que el caso anterior, varía a lo largo del año de forma bastante paralela a la conductividad; por ello coincide que los valores más bajos fueron tomados en invierno de 2020, mientras los más altos en primavera. Siendo los máximos valores para

Fecha	Llac Negre Conductividad (mS/cm)	Llac Negre Salinidad (PSU)	Llac Negre TDS (g/L)	Llac de les Delícies Conductividad (mS/cm)	Llac de les Delícies Salinidad (PSU)	Llac de les Delícies TDS (g/L)
16/01/2019	14,47	8,09	10,26	15,91	8,99	11,25
02/02/2019	14,97	8,44	10,45	15,20	8,70	10,86
05/04/2019	15,28	8,59	10,87	16,70	9,17	11,68
12/07/2019	14,02	7,88	10,03	15,61	8,81	11,14
13/09/2019	14,61	8,05	10,26	15,23	8,18	10,86
22/11/2019	13,63	7,59	9,68	14,98	8,39	10,63
04/02/2020	11,38	6,22	8,02	13,38	7,43	9,51

Tabla 4: Valores de conductividad, salinidad y total de sólidos disueltos (TDS) para los dos lagos estudiados (Llac Negre y Llac de les Delícies) en las Coves del Drac.

Table 4: Conductivity, salinity and total dissolved solids (TDS) values of the two studied pools (Llac Negre and Llac de les Delícies) in Coves del Drac.

el Llac de les Delícies 11,68 g/L y 10,87 g/L para el Llac Negre; y los valores mínimos de 9,51 g/L y 8,02 g/L, respectivamente. El valor medio anual obtenido para el Llac de les Delícies es de 10,8 g/L y de 9.9 g/L para el Llac Negre, y la diferencias entre los valores mayores y menores son de 2,17 g/L y de 2,85 g/L, respectivamente.

### **pH y alcalinidad**

La variación de pH en el Llac de les Delícies es bastante grande (Tabla 5), todos los valores aparecen entre 7 y 8, con una variación máxima entre los valores pico de una unidad, presentando una bajada brusca durante el verano, llegando al valor de 7,06; posteriormente las medidas ascienden hasta 7,94 a finales del verano para, a partir de otoño, comenzar un descenso en los valores de forma mucho más suavizada. Los valores del Llac Negre presentan una variación menor que en el caso anterior, pero puede observarse como en invierno de 2019 se produce un descenso seguido de un ascenso en primavera, volviendo a descender de forma más o menos continua durante los meses de verano, finalizando con un nuevo ascenso durante el otoño e invierno de 2020. En ambos lagos el valor más alto se midió en invierno de 2019 y el valor más bajo en verano.

La alcalinidad ( $\text{CaCO}_3$ ) en ambos lagos, se muestra prácticamente constante sin casi variaciones, con rangos entre los 255 mL/g y los 215 mL/g.

### **Datos continuos de la sonda CTD instalada en el Llac Negre**

Los datos preliminares obtenidos con la sonda CTD en el Llac Negre muestran que la temperatura mínima medida es de 15,4°C y el valor máximo es de 17,4 °C. Estos datos concuerdan con la temperatura media estimada anual de 16,7°C a partir de los datos puntuales de la campaña de campo desarrollada en el 2019/2020 para el Llac Negre. Los valores de pH mínimos tomados por la sonda CTD son de 7,1 y los máximos, alrededor de 8,1, y los datos obtenidos de forma puntual para este lago se mueven entre el 7,89 y 8,27, por lo que se encontraría dentro del rango de valores de la sonda CTD. La conductividad y la salinidad medida parecen moverse de forma muy paralela hasta noviembre de 2019. Los valores medidos con la sonda CTD aparecen en rangos diferentes a los medidos de forma puntual para el Llac Negre: la conductividad se mueve en valores de 11,4 mS/cm a 15,3 mS/cm de forma puntual y en la sonda CTD el rango es de 11,5 mS/cm a 13 mS/cm; y la salinidad presenta un rango de 6,2 PSU a 8,6 PSU en los datos puntuales y de 7,9 PSU a 9,2 PSU en los datos continuos. Pero ambas bases de datos presentan valores más altos para los primeros meses de 2019 y posteriormente una pendiente claramente negativa.

En cuanto a los datos recogidos por la sonda CTD de oxígeno disuelto, los valores se mantienen constantes (entre 7,5 mg/L y 8 mg/L) hasta mediados de noviembre de 2019 y posteriormente dan un salto (8,5 mg/L) para volver a estabilizarse hasta febrero de 2020.

Fecha	Llac Negre pH	Llac de les Delícies pH
16/01/2019	8,27	8,08
02/02/2019	7,89	8,02
05/04/2019	8,05	8,01
12/07/2019	8,02	7,06
13/09/2019	7,89	7,94
22/11/2019	8,16	7,98
04/02/2020	8,12	7,84

Tabla 5: Datos de pH de los lagos estudiados (Llac Negre y Llac de les Delícies) en las Coves del Drac.  
Table 5: pH data of the studied pools (Llac Negre and Llac de les Delícies) in Coves del Drac.

## **Descripción de los precipitados en las placas de vidrio**

Las placas de vidrio instaladas en la superficie de los lagos del interior de la cavidad (Llac Negre y Llac de les Delícies), después de pasar un año, presentan la precipitación de cristales de carbonato en su superficie asimilables a las cristalizaciones que forman los POS (*Phreatic Overgrowths on Speleothems*) subactuales, es decir holocenos. Pese a diversos intentos anteriores (POMAR et al., 1976 y 1979), hasta la fecha no se había conseguido obtener una muestra de precipitados en una superficie controlada teniendo presentes los parámetros geoquímicos del medio.

Para el estudio de los precipitados en las placas de vidrio se han utilizado las imágenes tomadas por microscopía electrónica de barrido (SEM). Con ello se han podido describir las características de los precipitados, analizando la cantidad, continuidad y distribución en la superficie, así como definir su mineralogía y fábrica cristalina. Todo ello para poder llegar a definir patrones y relaciones entre estas características y los parámetros descritos con anterioridad. La ubicación de las placas de vidrio en la



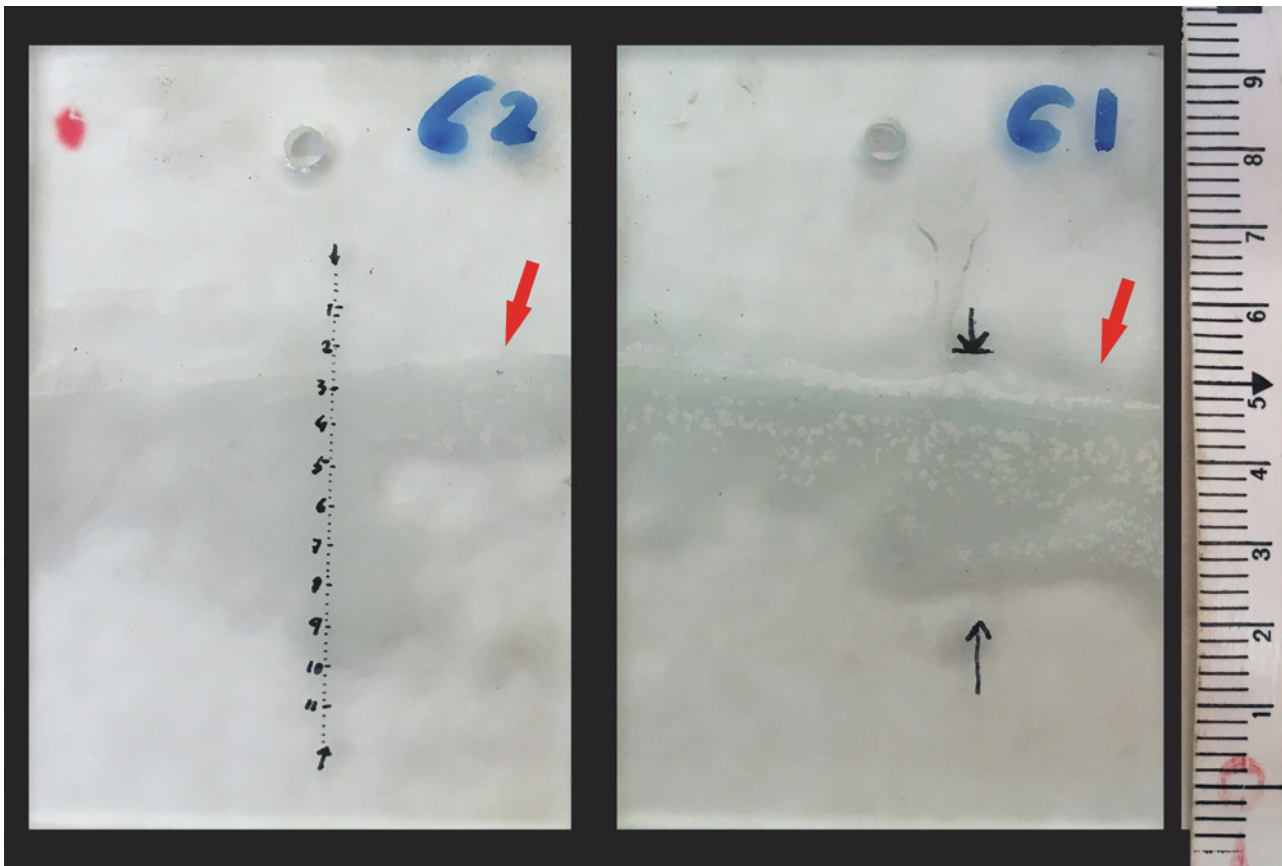


Figura 4: Foto de las placas de vidrio para precipitado donde se aprecia la zona con POS (flechas rojas) y aparecen los perfiles estudiados (señalados con escala en negro en el vidrio 6.2 y con flechas en el 6.1).  
 Figure 4: Photo of glass plates where POS zone is visible (red arrow) and the studied profiles (marked with a black scale in glass 6.2 and with arrows in 6.1).

cueva puede observarse en la Figura 2. En el Llac Negre se dispusieron las placas número 5, 6 y 7; y en el Llac de les Delícies las placas 3 y 4 (todas ellas por duplicado, p.e. 5-1 y 5-2).

De forma general, una primera observación visual de las placas, permite ver que en todas ellas se ve en mayor o menor grado una porción de material adherido a sus superficies, destacando la mayor cantidad y continuidad de los precipitados en las correspondientes al Llac Negre, donde puede seguirse claramente una distribución horizontal del precipitado que, en algunos casos, puede llegar a cubrir una superficie de 5,5 cm de amplitud en la superficie de los vidrios (Figura 4). En el caso del Llac de les Delícies el máximo desarrollo es de 1 cm.

A continuación, se pasa a describir los precipitados presentes en las placas por zonas, desde la parte superior hasta la inferior, es decir, desde la zona que quedaría en contacto con el aire hasta la zona que queda bajo el agua.

#### ***Llac Negre (Placa de vidrio #5)***

En la parte superior de la **placa 5-1** aparecen cristales desordenados y sin orientación de aragonito en forma acicular, junto con cristales rómbicos aislados de calcita, ambas mineralogías aparecen en igual proporción. Conforme se continúa analizando la placa en la vertical hacia abajo, el aragonito va reduciendo su porcentaje hasta llegar a desaparecer casi por completo. Posteriormente reaparece el aragonito, en forma de cristales más grandes y desordenados y, poco a poco, va desapareciendo la calcita. Hasta este punto se apreciaban huecos entre los cristales en los que se veía la placa de vidrio, a partir de esta zona aparece todo cubierto, por lo que se considera que ya se ha alcanzado la zona del vidrio que estaba en contacto con el agua del lago. El aragonito aparece como agregados fibrosos que crecen desde un punto dando morfologías radiales y globulares y cubriendo toda la superficie del vidrio (Figura 5a). Seguidamente, desaparece el aragonito y se pasa, de forma brusca, de nuevo a calcita que tapiza todo el fondo con cristales que presentan crecimiento por macla de contacto y polinucleación, con una morfología rómbica (Figura 5b). De forma progresiva, esta capa de calcita

se va volviendo menos continua, con el desarrollo de cristales independientes rómbicos y comienza a verse la placa de vidrio entre los cristales. Finalmente, aparece una última acumulación de calcita que recubre todo, con zonas diferenciables por presentar un mayor relieve y una fábrica cristalina diferente en forma de “libro o escalones” (Figura 5c), que podría relacionarse con una placa de calcita flotante (*raft*) adherida a la placa de vidrio. El precipitado termina con cristales cada vez más espaciados de calcita rómbica.

La **placa 5-2** presenta un desarrollo muy parecido al de la placa 5-1: primero cristales aciculares desordenados de aragonito y calcita en forma de rombos aislados (Figura 6a) y posteriormente creciendo en grupo, en macla de contacto por polinucleación. Después, aparece aragonito en agregados fibrosos creciendo desde un punto dando morfologías radiales y globulares y cubriendo toda la superficie de la placa de vidrio (Figura 6b). En la parte final, hay calcita que tapiza la superficie, con menos continuidad que en la placa anterior (Figura 6c). En esta zona, el precipitado se presenta con mucho relieve y formas redondeadas; predomina el crecimiento por macla de contacto, pero en las zonas finales de estas morfologías redondeadas aparece crecimiento en forma de “libro o escalones” por lo que podría asociarse con fragmentos de láminas flotantes que quedan incorporadas a la placa de vidrio.

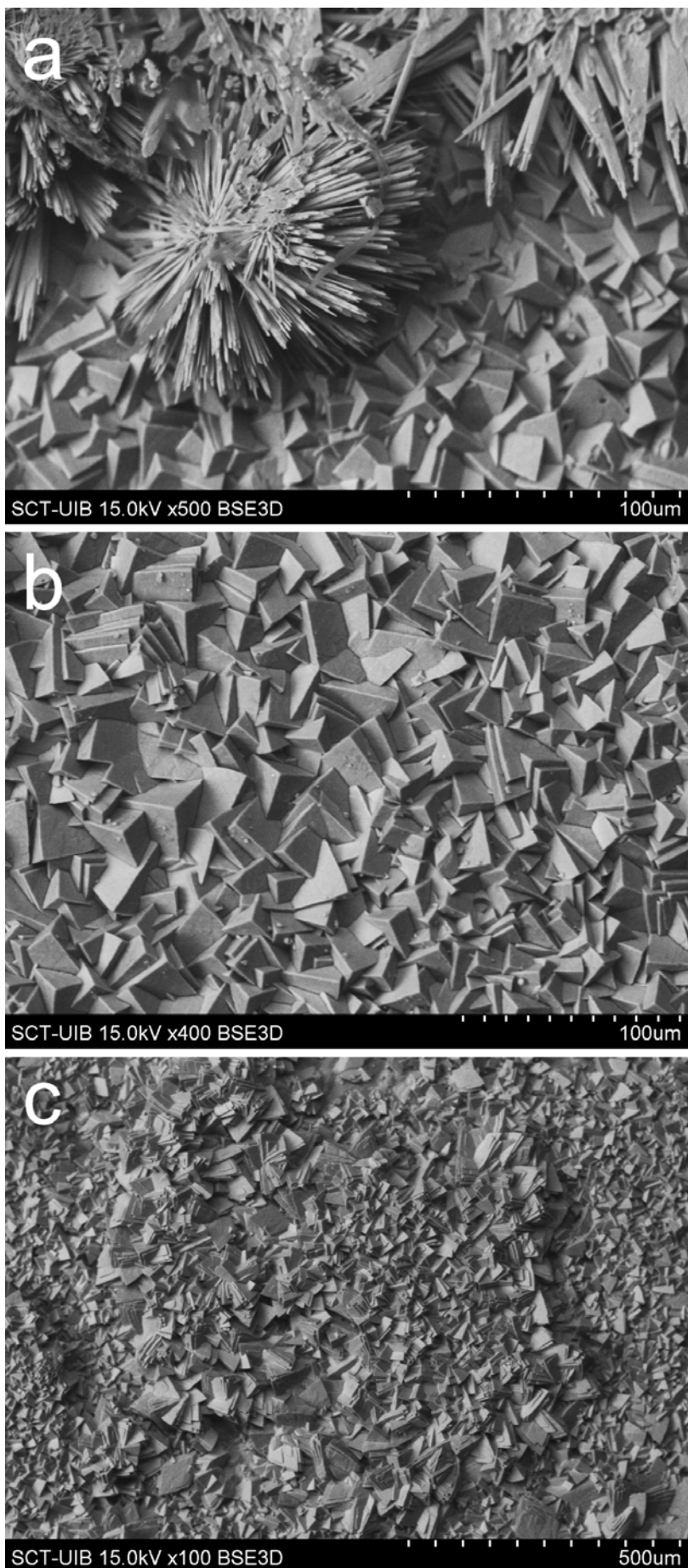


Figura 5: Placa de vidrio 5-1 (Llac Negre): a) se ve el contacto brusco entre los cristales de aragonito, que crecen desde un punto generando morfologías globulares, y la calcita que crece en polinucleación tapizando todo la superficie de la placa de vidrio; b) calcita con crecimiento en macla de contacto y polinucleación que tapiza todo el fondo de la placa de vidrio; y c) calcita que continúa tapizándolo todo, aparece con mayor relieve y cierta morfología redondeada, destacando por la fábrica cristalina en forma de “libro o escalones” relacionada con una lámina flotante (*raft*) unida a la placa de vidrio.  
 Figure 5: Glass plate 5-1 (Llac Negre): a) an abrupt contact can be observed between the aragonite crystals that grow from one point generating globular morphologies, and the calcite that grows in polynucleation covering the entire surface of the glass plate; b) calcite exhibiting contact twin growth and polynucleation and covering the entire bottom of the glass plate; and c) the calcite covers most of the plate but it appears with greater relief and a certain rounded morphology –standing out for the crystalline fabric in the form of “book or steps” – because a raft attached to the glass plate.

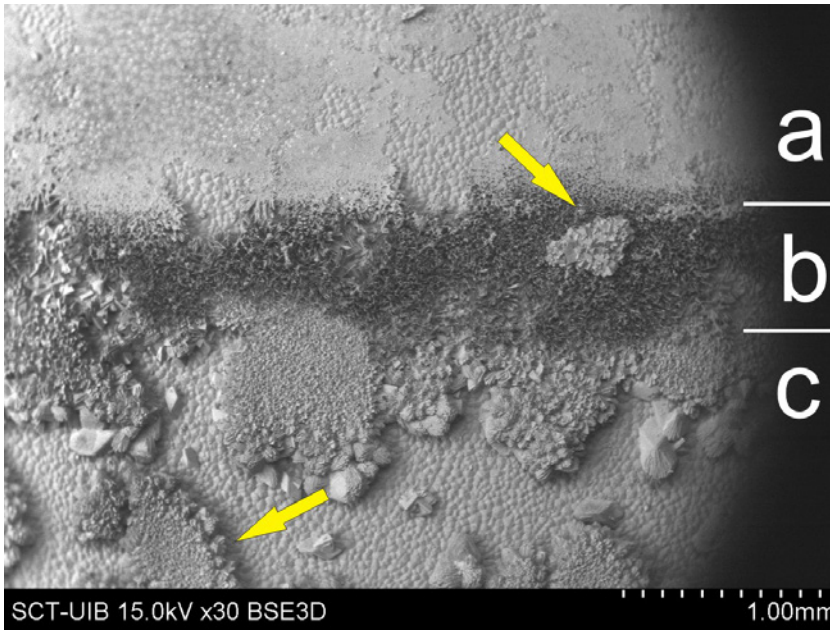


Figura 6: Placa de vidrio 5-2 (Llac Negre) en la que se han diferenciado 3 partes: a) cristales aciculares y desordenados de aragonito junto con cristales de calcita en forma de rombos aislados; b) cristales de aragonito creciendo desde un punto generando morfologías radiales y globulares; y c) calcita de polinucleación que tapiza todo en la parte superior y, hacia la parte final desaparece, se observan también mayores relieves con morfologías circulares y fábrica cristalina en "libro o escalones" que podría relacionarse con láminas flotantes (rafts) adheridas a la placa de vidrio (flechas).

Figure 6: Glass plate 5-2 (Llac Negre) with 3 different parts: a) messy and acicular crystals of aragonite with rhombohedral and isolated calcite crystals; b) aragonite crystals growing from one point generating radial and globular morphologies; and c) polynucleated calcite covering everything in the upper part and disappearing towards the end, there are also greater reliefs with circular morphologies and a crystalline "book or steps" fabrics that could be related to rafts adhered to the glass plate (arrows).

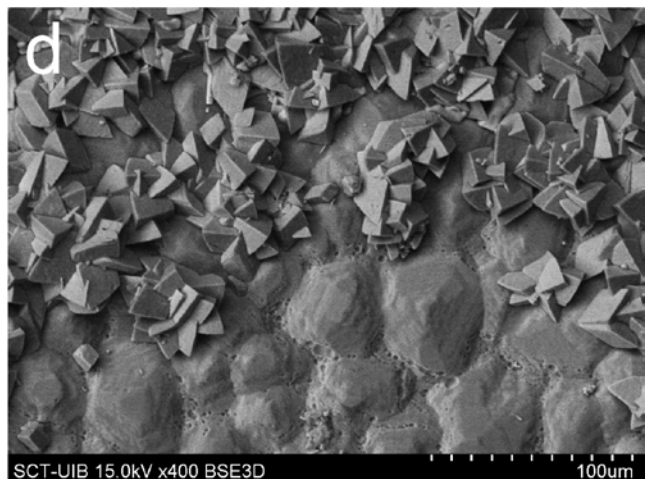
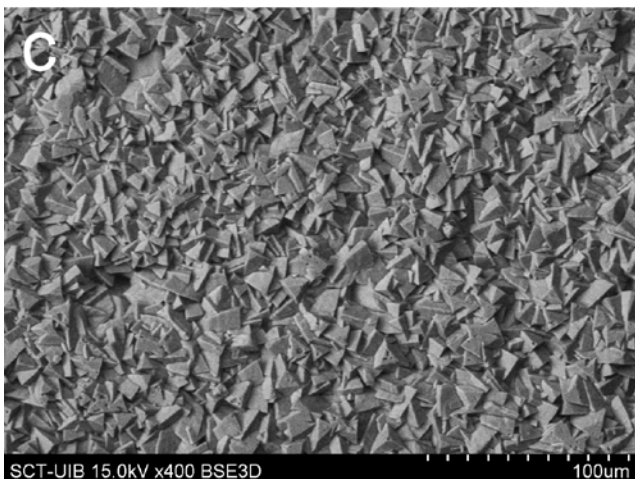
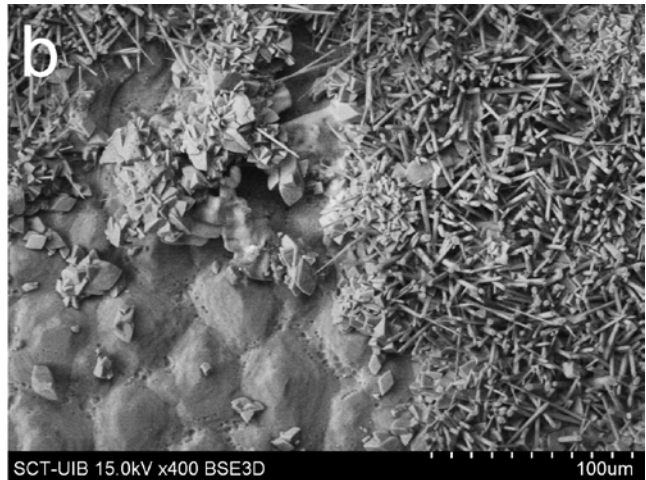
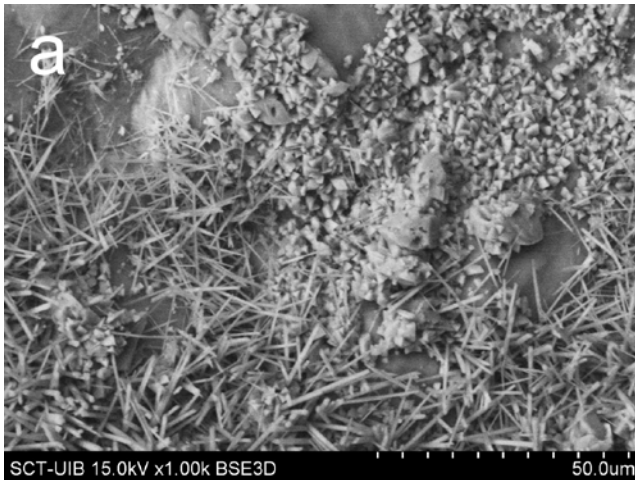


Figura 7: Placa de vidrio 6-1 (Llac Negre): a) límite brusco entre la zona en la que ha crecido la calcita, con desarrollo de polinucleación y crecimiento en macla, con la zona en la que crecen cristales de aragonito de largo desarrollo y con aspecto acicular sin orden; b) en esta zona de aragonito aparecen cristales de calcita agrupados con crecimientos en macla de contacto; c) aparece calcita cubriéndolo todo con desarrollo de cristales de crecimiento por macla de contacto y polinucleación; y d) continuación de la calcita que poco a poco deja de cubrir toda la superficie de la placa de vidrio.

Figure 7: Glass plate 6-1 (Llac Negre): a) abrupt limit between the area in which calcite has grown, with development of polynucleation and twin growth, with the area in which long-developed aragonite needles growing without order; b) grouped calcite crystals with contact twin growths appear between the aragonite; c) calcite precipitates showing the growth of crystals by contact twinning and polynucleation; and d) continuation of the calcite, which gradually stops covering the entire surface of the glass plate.

**Llac Negre (Placa de vidrio #6)**

La **placa 6-1** comienza con cristales aciculares desordenados de aragonito y sin orientación, mezclados con cristales de calcita que aparecen independientes con claras morfologías rómbicas y también en forma de agregados, en crecimiento por macla de contacto. En esta parte, aparece un mayor porcentaje de calcita que de aragonito; este último va desapareciendo poco a poco cuando se desciende en la vertical. En este sentido, los cristales de calcita cada vez aparecen cubriendo más superficie de la placa de vidrio y cada vez hay menos cristales aislados. Posteriormente se produce un cambio en la mineralogía, con un límite brusco entre la calcita (Figura 7a), que desaparece totalmente, y el aragonito, que aparece de forma de agregado fibroso, con cristales alargados y amplio desarrollo, pero desordenado. En algunos puntos sí aparecen pequeñas acumulaciones de cristales de calcita mezclados entre el aragonito (Figura 7b). Continuando el estudio en la vertical, hay un cambio brusco de nuevo en el que reaparece calcita en crecimiento de macla por contacto con crecimiento de polinucleación, destacando las morfologías en “roseta”, pero también aparecen huecos en los que se ve la placa de vidrio, mientras los cristales de aragonito aparecen en mucha menor proporción. Seguidamente, la calcita pasa a ser el mineral principal que tapiza toda la superficie del vidrio mientras el aragonito va desapareciendo (Figura 7c). Finalmente, en la parte baja del vidrio, el precipitado termina con estos cristales de calcita que poco a poco pierde densidad y van apareciendo más huecos de la placa hasta que desaparece totalmente la calcita (Figura 7d).

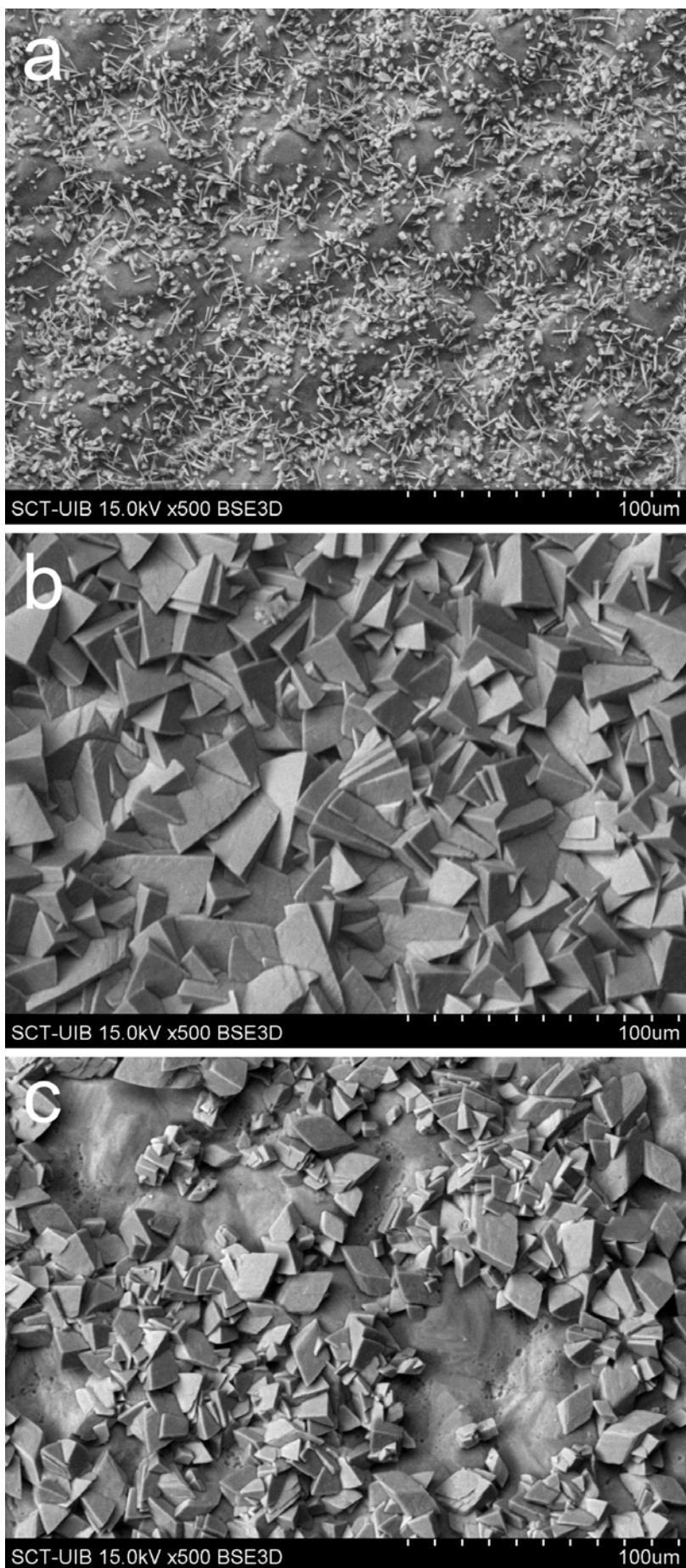
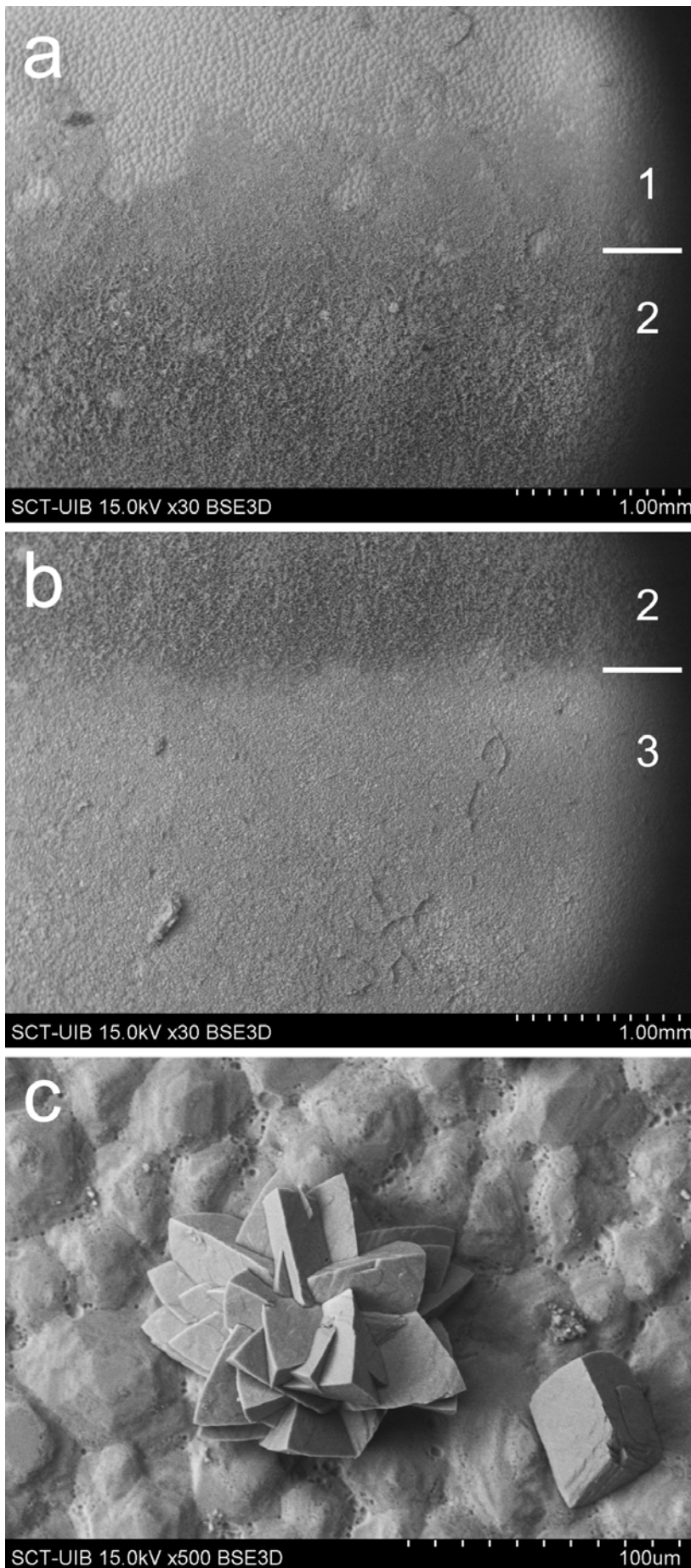


Figura 8: Placa 6-2 (Llac Negre): a) mezcla de cristales aciculares de aragonito sin orientación preferente junto con cristales de calcita rómbicos aislados; b) la calcita aparece tapizando toda la superficie de las placas de vidrio, con crecimiento en macla de contacto y polinucleación; y c) aparecen huecos en los que se ve la placa de vidrio entre los cristales de calcita que aparecen agrupados y maclados y también aislados.

Figure 8: Glass plate 6-2 (Llac Negre): a) mixture of aragonite needles without preferential orientation together with isolated rhombic calcite crystals; b) calcite covers the entire surface of the glass plates, with growth by contact twinning and polynucleation; and c) glass plate can be seen through holes that show up between the calcite crystals, that appear grouped and twinned and also isolated.



La **placa 6-2** comienza con cristales aislados de calcita en forma rómbica que posteriormente pasan a estar mezclados con cristales aciculares de aragonito que aparecen desordenados, sin una orientación preferente (Figura 8a). A continuación, los cristales de aragonito desaparecen y se ve un aumento de la cantidad de calcita de forma aislada y en crecimiento por macla de contacto; cada vez hay menos huecos en los que se ve la placa de vidrio y pasa a tapizarlo todo (Figura 8b), con variación del tamaño de los cristales. Esta parte tiene un desarrollo en la placa de varios centímetros. Finalmente empieza a haber huecos entre los cristales de calcita en los que se vuelve a ver la placa de vidrio (Figura 8c), es decir, se acaba el precipitado.

**Llac Negre (Placa de vidrio #7)**

Ambas placas de vidrio (la 7-1 y 7-2) presentan el mismo desarrollo; como en los casos anteriores, comienza con cristales aciculares de aragonito que aparecen sin orden aparente en la superficie de la placa (puede observarse también la presencia de cristales cúbicos de halita precipitados durante el secado en el laboratorio por la presencia del agua salobre de los lagos). Posteriormente pueden diferenciarse 3 partes muy claras: la primera en la que el aragonito cubre toda la superficie de la placa de vidrio, con fábrica formando agregados fibrosos pero desordenada, sin morfología globular o de abanico (Figura 9a-1); la segunda parte, compuesta también de aragonito, pero

Figura 9: Placa de vidrio 7 (Llac Negre): a) se diferencian claramente dos zonas la primera (1) está formada por aragonito cubriendo toda la placa de vidrio pero sin orden ni orientación preferente y la segunda parte (2) formada también por aragonito pero aparece con mayor densidad; b) la parte siglada con un 2 se corresponde con la misma sigla que en la fotografía a), mientras que la parte 3 está compuesta por calcita que recubre toda la superficie con desarrollo de macla por contacto y polinucleación; y c) ejemplo de calcita con desarrollo en "roseta".  
 Figure 9: Glass plate 7 (Llac Negre): a) two zones are clearly differentiated; the first (1) is formed by aragonite covering the entire glass plate but without order or preferential orientation, and the second part (2) is also formed by aragonite but appears with higher density; b) the part marked with a 2 corresponds to the same number as in photograph a), while part 3 is composed of calcite that covers the entire surface with development by contact twinning and polynucleation; and c) example of calcite with a "rosette" development.

con mucha más densidad que en la parte anterior, continuando con la misma fábrica (Figura 9a-2); y finalmente, se pasa a calcita que aparece tapizando toda la superficie, con crecimiento en macla de contacto de los cristales rómbicos (Figura 9b-3). En esta tercera parte, primero aparece calcita mezclada con aragonito que va disminuyendo en porcentaje hasta que desaparece. Hacia el final, cuando empieza a haber huecos en los que se ve la placa de vidrio, destaca la calcita creciendo en forma de roseta (Figura 9c).

### Llac de les Delícies (Placa de vidrio #3)

La principal característica diferenciable entre las placas de vidrio del Llac de les Delícies y las del Llac Negre, es la continuidad del precipitado. En el caso del Llac de les Delícies se puede intuir una fina capa de precipitado (Figura 10a), pero no de forma tan clara y continua como en las placas del Llac Negre. En cuanto a la mineralogía, en las placas de este lago únicamente aparece calcita. Por otro lado, la fábrica cristalina predominante se corresponde al crecimiento por maclas de contacto de los cristales de calcita, con morfologías rómbicas características de la calcita. Puede diferenciarse alguna placa de calcita flotante (*raft*) adherida al vidrio que presenta un mayor relieve, lo que los hace diferenciables del resto de precipitado, así como un crecimiento cristalino diferente (superficie plana). Este crecimiento está constituido por acumulación de prismas trigonales de calcita organizados en capas, que presentan terminaciones romboédricas y poros intercristalinos (Figura 10b y Figura 10c), tipo de fábrica que ha sido asociada por TAYLOR & CHAFETZ (2004) al crecimiento de láminas flotantes. Destaca la gran cantidad de materia orgánica que aparece en las placas de vidrio, asociada a

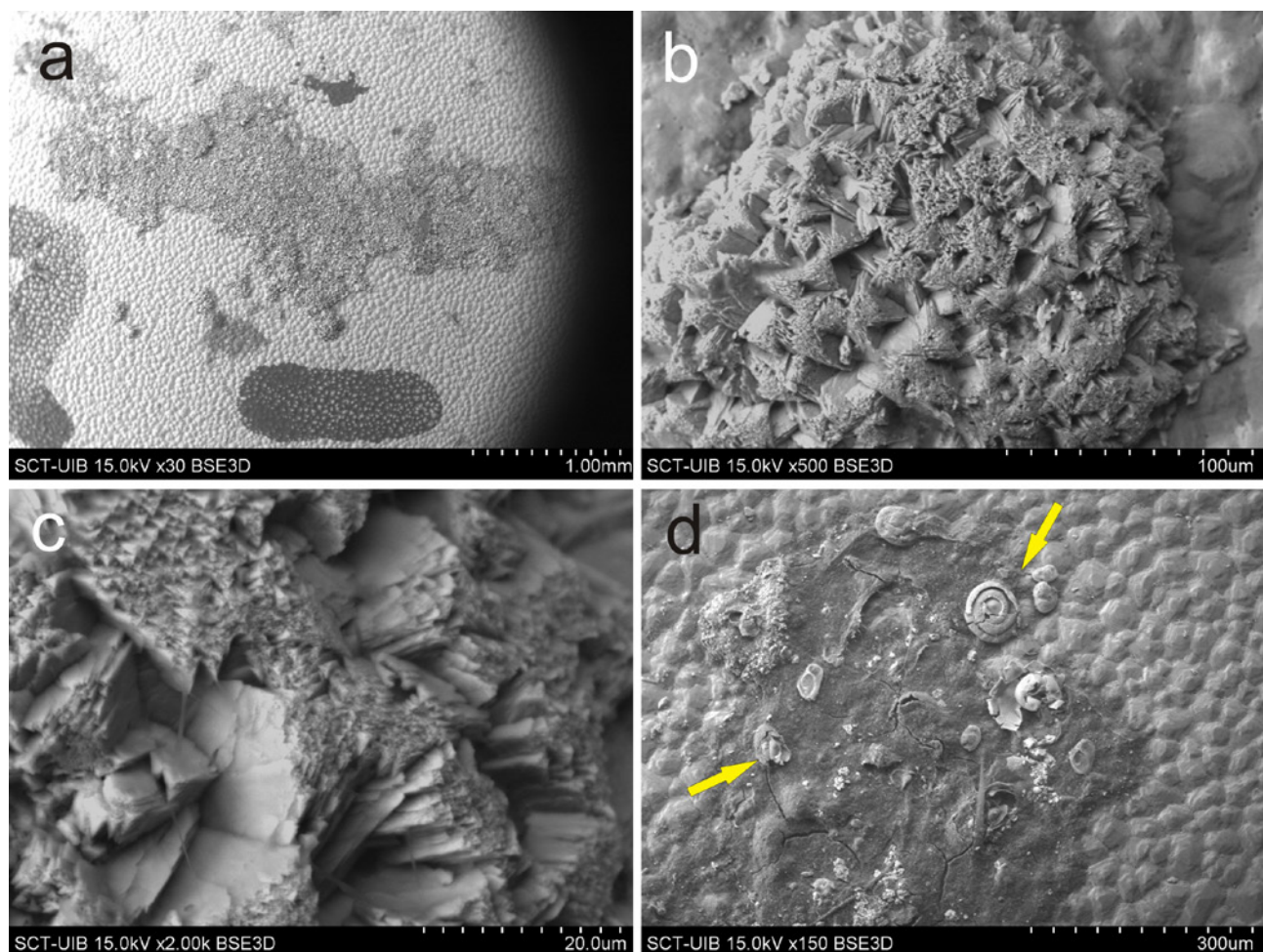


Figura 10: Placa de vidrio 3 (Llac de les Delícies): a) fotografía del precipitado con pocos aumentos, en la que se puede ver como el precipitado no es continuo en la superficie de la placa de vidrio; b) calcita con crecimiento en prismas trigonales organizados en capas superpuestas; c) zoom de la calcita de la foto b) en la que pueden diferenciarse las terminaciones de los prismas en forma de romboedros; y d) acumulación de materia orgánica junto con barros y limos, pueden diferenciarse ostrácodos y foraminíferos.

Figure 10: Glass plate 3 (Llac de les Delícies); a) a little zoom photograph of the precipitate in which it can be seen how the precipitate is not continuous on the surface of the glass plate; b) calcite with trigonal prisms growth organized in superposed layers; c) zoom of the calcite crystals in b) photo, in which the terminations of the rhombohedron prisms can be distinguished; and d) accumulation of organic matter together with mud and silts, ostracods and foraminifera can be differentiated.

acumulaciones de limos y arcillas, distinguiéndose conchas calcáreas que pueden asociarse a ostrácodos de la familia de los Cypridopsis y a foraminíferos bentónicos pudiendo corresponderse con *Cyclogyra involvens*; también aparecen espículas no identificadas (Figura 10d).

## Discusión y conclusiones

Los datos recogidos durante las campañas de campo de 2019/2020 junto con la revisión del trabajo de FORNÓS et al. (2018a) apuntan algunas directrices sobre el funcionamiento del sistema de precipitación de los POS. A partir del estudio de los parámetros comentados se ponen de manifiesto y se establecen algunos aspectos que pueden controlar la variabilidad de dicha precipitación:

1. La temperatura del aire, la cantidad de CO<sub>2</sub>, el porcentaje de humedad relativa, y en menor medida la temperatura del agua, presentan variaciones siguiendo los cambios estacionales entre los meses de verano y de invierno.
2. Durante los meses de verano, con mayores temperaturas en el exterior, no se produce ventilación en el interior de la cavidad, por ello en las zonas de menor accesibilidad, como son el Llac Negre y el Llac de les Delícies, existe poca renovación del aire, generando un ligero aumento en la temperatura y un aumento un poco mayor en las cantidades de CO<sub>2</sub> como reflejan los datos. Por el contrario, en los meses de invierno el aire frío entra en la cavidad aumentando la ventilación y renovación del aire en el interior haciendo que, tanto las cantidades de CO<sub>2</sub> como la temperatura, disminuyan. En general, la ventilación es más efectiva en el caso del Llac Negre, que se halla mucho menos aislado topográficamente que el Llac de les Delícies.
3. La conductividad, la salinidad y el total de sólidos disueltos aparecen directamente relacionados con las estaciones de lluvia de la zona, generándose un descenso en los tres factores cuando es época de precipitaciones. Esto es debido al aumento de la cantidad de agua dulce en los lagos subterráneos por la llegada de agua meteórica de infiltración a las aguas freáticas.
4. La principal diferencia entre los parámetros ambientales de ambos lagos estudiados radica en su localización topográfica, que implica un menor o mayor aislamiento de estos ambientes subterráneos. Por un lado, el Llac Negre presenta mayor ventilación y menores cantidades de CO<sub>2</sub>, dando lugar de este modo a una mayor difusión del CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera originando mayores cantidades de precipitado en forma de POS; y, por otro lado, el Llac de les Delícies con menor ventilación y mayores cantidades acumuladas de CO<sub>2</sub>, tiene menores cantidades de precipitado en los vidrios colocados.

Los parámetros ambientales descritos, así como la geoquímica de las aguas de los lagos, deben condicionar las características de los precipitados, tanto en lo referente a la mineralogía como a su fábrica. Así, los precipitados recogidos en las placas de vidrio del Llac Negre y del Llac de les Delícies, muestran significativas diferencias.

**Llac Negre:** Los precipitados presentan un desarrollo en la vertical continuo y de varios centímetros, y aparecen formados por cristales tanto de aragonito como de calcita. Los cristales de aragonito aparecen de dos formas; como cristales independientes con forma acicular, sin orientación preferente y de forma aleatoria en la superficie, o como cristales con desarrollo de crecimiento en forma de agregados fibrosos desde un único punto dando morfologías globulares. La calcita también se presenta de varias formas: como cristales aislados con morfología rómbica; como cristales creciendo por polinucleación formando cristales rómbicos que crecen por macla de contacto; y, por último, como acumulaciones de mayor relieve con morfologías semiredondeadas, formadas por calcita con fábrica cristalina diferente, en forma de “libro” o de “escalones”, las cuales se relacionan con láminas de calcita flotante adheridas a la superficie de las placas de vidrio. Ambas mineralogías aparecen por zonas y pueden encontrarse también mezcladas.

**Llac de les Delícies:** Los precipitados presentan un desarrollo en la vertical y una continuidad lateral mucho menor que en el otro lago y la mineralogía está constituida exclusivamente por calcita. Ésta aparece con crecimiento en maclas y polinucleación y, en ciertas zonas, caracterizadas por un mayor relieve, aparece con crecimiento en forma de acumulaciones de prismas, presumiblemente relacionada

con láminas de calcita flotante (*rafts*) adherida a las placas de vidrio. Destaca también la cantidad de materia orgánica (probablemente relacionada con las abundantes colonias de murciélagos presentes en esta zona), limos y restos calcáreos que aparecen en las placas.

En conclusión, los factores más importantes que permiten que los POS precipiten con mayor o menor facilidad están relacionados principalmente con las características de la atmósfera del interior de la cavidad (temperatura y valores de CO<sub>2</sub>), resultado de la mayor o menor ventilación que presente. Indudablemente son necesarios más estudios relacionados con la geoquímica de las aguas de ambos lagos y con sus características mineralógicas y cristalográficas. Un seguimiento mucho más continuo y detallado en el tiempo de recogida de las placas de vidrios, permitirá concretar mejor cuáles son parámetros que favorecen la mayor o menor precipitación de POS.

## Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a todo el equipo de la Societat Espeleològica Balear, que ha acudido a las campañas de campo en las Coves del Drac. Así como a los propietarios y dirección de las Coves del Drac por su apoyo y buena voluntad en la organización y desarrollo de las campañas de campo en el interior de la cavidad. Al grupo que más jornadas ha invertido durante la duración del estudio: Xisco Gràcia, Juan J. Enseñat, Miquel A. Gual, Vicenç Pla, y muy especialmente, la lectura crítica del texto por parte de Joaquín Ginés.

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación del MINECO, CGL2016-79246-P (AEI-FEDER, UE). Nuestro agradecimiento a la ayuda prestada por Ferran Hierro i Joan Cifre de los Serveis Científicotècnics de la Universitat de les Illes Balears.

## Bibliografía

- ÁLVARO, M.; DEL OLMO, P.; SÀBAT, F.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; SIMÓ, A.; ADROVER, R.; URALDE, M.A.; GOY, A.; AGUILAR, M.; CUERDA, J.; BARÓN, A.; & BARNOLAS, A. (1991): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 700 (Manacor) y memoria*. IGME, Madrid. 59 págs.
- BOOP, L.M. (2014): *Characterization of the Depositional Environment of Phreatic Overgrowths on Speleothems in the Littoral Caves of Mallorca (Spain): a Physical, Geochemical, and Stable Isotopic Study*. Tesis Doctoral. Department of Geology, University of South Florida. 142 págs.
- BOOP, L.M.; WYNN J.G.; THOMPSON, G.; FORNÓS, J.J. & ONAC, P.B. (2017): Interactions between surface conditions, the Mediterranean Sea, and cave climate within two littoral caves in Mallorca: implications for the formation of phreatic overgrowths on speleothems. *Journal of Cave and Karst Studies*, 79 (1): 59-72.
- CSOMA, A.; GOLDSTEIN, R. & POMAR, L. (2006): Pleistocene speleothems of Mallorca: implications for palaeoclimate and carbonate diagenesis in mixing zones. *Sedimentology*, 53: 213-236.
- ENSEÑAT, J.J.; GRÀCIA, F.; GINARD, A.; MASCARÓ, G.; SANTANDREU, G.; FERNÁNDEZ, J.F.; TRIAS, M.; PÉREZ, J.; BOVER, P.; CIRER, A.; PLA, V.; LÁZARO, J.C.; ANSALDI, D.; BASCUÑANA, F.X.; CLAMOR, B.; LOZANO, A.; PERELLÓ, M.À.; GUAL, M.À.; VIVES, M.À.; GAVIÑO, B.; GAMUNDÍ, P.; BONNÍN, M.; GRANELL, Á.; BETTON, N.; FRANGLÉN, N. & BORNEMANN, D. (2018): Nou plànol topogràfic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 65-76.
- FORNÓS, J.J. & GELABERT, B. (2004): *Baleares*. In: VERA, J.A. (ed.) *Geología de España*. Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico Minero de España. p. 450-464.
- FORNÓS J.J. & GELABERT B. (2011): Condicionants litològics i estructurals del carst a les Illes Balears. *Endins*, 35: 37-52.
- FORNÓS, J.J.; ENTRENA, A. & GINÉS, J. (2018a): Dinàmica de l'atmosfera dels sectors no turístics de les Coves del Drac. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 215-236.
- FORNÓS, J.J., GÓMEZ-PUJOL, L. & MAS, G. (2018b): L'entorn geogràfic, geomorfològic de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 49-64.
- FORNÓS, J.J.; PILARES, A.; GRÀCIA, F. & ENTRENA, A. (2018c): Caracterització físico-química dels llacs de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 181-196.
- GINÉS, J. (2000): *El karst litoral en el levante de Mallorca: una aproximación al conocimiento de su morfogénesis y cronología*. Tesis Doctoral. Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears. 595 págs + 29 láms. Inédito.



- GINÉS, J.; GINÉS, A.; FORNÓS, J.J.; TUCCIMEI, P., ONAC, B.P. & GRÀCIA, F. (2012): Phreatic Overgrowths on Speleothems (POS) from Mallorca, Spain: Updating forty years of research. In: GINÉS, A.; GINÉS, J.; GÓMEZ-PUJOL, L.; ONAC, B.P. & FORNÓS, J.J. (eds.) *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary Studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 111-146.
- GINÉS, J.; GINÉS, A.; GRÀCIA, F. & FORNÓS, J.J. (2018): L'espeleogènesi de les Coves del Drac (Manacor, Mallorca): evolució dels coneixements i interpretació actual. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 141-163.
- GÓMEZ-PUJOL, L.; ORFILA, A.; CAÑELLAS, B.; ÁLVAREZ-ELLACURIA, A.; MÉNDEZ, F.J.; MEDINA, R. & TINTORÉ, J. (2007): Morphodynamic classification of Sandy beaches in low energetic marine environment. *Marine Geology*, 242: 235-246.
- GRÀCIA, F.; MASCARÓ, G.; PÉREZ, J.; FERNÁNDEZ, J.F.; CIRER, A.; LÁZARO, J.C.; ANSALDI, D.; CLAMOR, B.; PERELLÓ, M.À.; VIVES, M.À.; GAMUNDÍ, P.; GRANELL, Á.; BETTON, N.; BORNEMANN, D. & FRANGLÉN, N. (2018): El Drac subaquàtic (Coves del Drac, Manacor, Mallorca). *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 117-139.
- ONAC, B.P.; GINÉS, A.; GINÉS, J.; FORNÓS, J.J. & DORALE, J.A. (2012): Late Quaternary Sea-level History: a Speleothem Perspective. In: GINÉS, A.; GINÉS, J.; GÓMEZ-PUJOL, L.; ONAC, B.P. & FORNÓS, J.J. (eds.) *Mallorca: A Mediterranean Benchmark for Quaternary Studies*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 18: 147-162.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & FONTARNAU, R. (1976): Las cristalizaciones freáticas. *Endins*, 3: 3-25.
- POMAR, L.; GINÉS, A. & GINÉS, J. (1979): Morfología estructura y origen de los espeleotemas epiauáticos. *Endins*, 5-6: 3-17.
- SANTANDREU, G.; ENSEÑAT, J.J.; GRÀCIA, F.; PLA, V. & GUAL, M.A. (2018): Les Coves del Drac (Manacor, Mallorca). Descripció del sectors terrestres. *Papers Soc. Espeleo. Balear*, 1: 77-104.
- TAYLOR, P. M. & CHAFETZ, H.S. (2004): Floating rafts of calcite crystals in cave pools, central Texas, U.S.A.: crystal habit vs. saturation state. *Journal of Sedimentary Research*, 74: 328-341.



