

V Reunião do Quaternário Ibérico

V Reunion del Cuaternario Iberico

V Iberian Quaternary Meeting

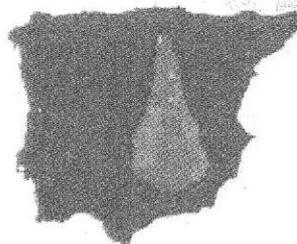
I Congresso do Quaternário de Países de Línguas Ibéricas

I Congreso de Cuaternario de Paises de Lenguas Ibéricas

I Quaternary Congress of Countries of Iberian Languages

Actas

**GTPEQ AEQUA
SGP**



Lisboa, 23 - 27 de Julho de 2001



Comunicaçao em painel

ESTUDIO COMPARADO DE LA GÉNESIS DE ESPELEOTEMAS SILÍCEOS EN GRANITOIDES DE CLIMAS SEMIÁRIDOS Y TEMPLADO HÚMEDOS

J. Sanjurjo⁽¹⁾; M. Fernández Verdía⁽¹⁾; C. Roque⁽²⁾; Ll. Pallí⁽²⁾ & J.R. Vidal Romani⁽¹⁾

(1) Instituto Universitario de Geología Isidro Parga Pondal. Coruña 15071

(2)Unitat de Geologia. Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona. 17071 Girona

Key words: siliceous speleothems, granite, solutional features, granitic karst.

Abstract: Silica speleothems take different forms such as cylindrical stems growing from either the floor or the ceiling in granitic caves. Mineralogically they are opal-A and accumulate in successive layers with a whiskery druse tip formed by gypsum crystals. Initially they are porous but progressively become infilled by opal precipitation. This results in formation of solid speleothems. their size is only a few millimetres long. Bacterial activity accelerates quartz dissolution.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de disolución y precipitación en rocas plutónicas o sedimentarias ácidas presentan características cualitativamente similares a los desarrollados en rocas solubles (carbonates, sulfatos, etc.) (Willems, 1998). En el caso de las primeras los depósitos resultantes se deben a la circulación de agua a través del sistema fisural de la roca (Vidal Romani & Twidale, 1998). Este flujo de agua determina la movilización de los elementos minerales de la roca (Si, Al, Ca, etc.) (Vidal Romani et al., 1998) Si se dan las condiciones adecuadas, flujo de agua freático lento, se puede producir la precipitación de algunos de estos elementos en aquellos puntos donde la tensión superficial supera el efecto de la gravedad, originándose estos depósitos (espeleotemas). La formación de estos es un proceso relativamente rápido, al menos 5.000 años, (Roque & Pallí, 1996).

Los fenómenos de alteración en granitoides están fundamentalmente limitados por la gran resistencia del cuarzo al ataque físico y químico, ya que micas y feldespatos son fácilmente degradables.

La resistencia del cuarzo se explica por su baja solubilidad. La producción de compuestos metabólicos (principalmente ácidos orgánicos) debido a la actividad de distintos tipos de organismos (bacterias, hongos, líquenes) acelera, sin embargo, su degradación (Bennett, 1991; Ehrlich, 1996; Krumbein, 1983). Como resultado de este ataque se transforma en sílice amorfa (ópalo-a) que presenta una solubilidad aproximadamente diez veces mayor que la cristalizada como cuarzo.

En este trabajo se han estudiado espeleotemas estalactíticos de dos zonas litológica y climáticamente diferentes. La primera de ellas corresponde a un área granodiorítica situada al noroeste de la Península Ibérica (en la provincia de A Coruña), en donde domina un clima templado húmedo con una precipitación anual media de 1600 mm. La otra está situada en el Nordeste de la Península, y su clima es semiárido (con una precipitación anual media de 650 mm) existiendo un sustrato litológico variado formado por granitoides (granodiorita, tonalitas, monzogranito, etc.).

El objetivo principal de este trabajo es establecer el mecanismo de crecimiento de espeleotemas estalactíticos en granitoides, así como determinar la influencia de los factores climáticos y litológicos en el proceso.

CLASIFICACIÓN DE LOS ESPELEOTEMAS

Se pueden distinguir dos tipos de depósitos de disolución/precipitación químico-biológica (Vidal Romani & Twidale, 1998):

Espeleotemas cilíndricos: que aparecen asociados a puntos de goteo del agua del sistema fisural. Dentro de este tipo de espeleotemas se pueden diferenciar dos tipos:

a.1. Estalactitas, las cuales se forman en la parte alta de las fisuras de la roca en el punto límite de atracción del agua por tensión superficial.

a.2. Falsas estalagmitas o espeleotemas antigraavitatorios: se forman a consecuencia de crecimientos antigraavitatorios por atracción capilar del agua que circula por la base de las cavidades. Su desarrollo lineal es escaso.

b. Espeleotemas en capas o láminas: se producen como consecuencia de un flujo laminar de agua sobre la roca. Son los denominados flowstone o coladas, dripstone, gour-dams y rimstone o rebordes.

COMPOSICIÓN

Los análisis elementales realizados sobre el cuerpo de los espeleotemas indica una composición homogénea en Si para todas las muestras estudiadas independientemente de su procedencia. Además, se encuentran en proporciones muy bajas otros elementos como Al, P, K, Fe, etc. en función de su movilidad y de su presencia en la roca.

Los análisis elementales realizados en zonas apicales reflejan en todos los casos un predominio de S y Ca sobre otros elementos como el Si.

ETAPAS DE CRECIMIENTO

Las observaciones al SEM ponen de manifiesto una morfología idéntica para todas las muestras.

En la primera fase (fase biogénica) la textura del espeleotema es porosa, brechoide (clastos de ópalo a) o conglomerática (oolitos de ópalo a), los primeros formados por rotura mecánica al deshidratarse el gel de sílice y los segundos causados por precipitación directa de sílice amorfa debido a la acción de microorganismos (bacterias y hongos).

En la segunda fase (fase de redisolución), la elevada solubilidad del ópalo biogénico puede producir la formación de películas externas que recubren el espeleotema (pátinas), además de una progresiva colmatación interna del sistema poroso que acaba siendo totalmente rellenado transformándose, al menos en los extremos finales del espeleotema, en una estructura compacta donde puede llegar a desarrollarse una estructura rítmica de acreción concéntrica o en capas equivalente a la de los espeleotemas calcáreos, (Sanjurjo Sánchez, 2000; Fernández Verdía, 2000; Fernández Verdía et al., 2000). La riqueza de sílice en el medio y la existencia de agua permite una existencia fugaz de diferentes microorganismos (hongos, diatomeas, bacterias, etc.) (fotos 1 y 2) directamente controlada por las reservas de agua procedente de la lluvia, interrumpiéndose la actividad biológica en ausencia de esta, lo que conduce a una precipitación masiva del ópalo que provoca la muerte de estos microorganismos por enterramiento y fosilización (Sanjurjo Sánchez, 2000; Fernández Verdía, 2000; Fernández Verdía et al., 2000).

La circulación intersticial del agua durante la fase biogénica permite, en una tercera fase, ja concentración por evaporación del gel de sílice durante los episodios de interrupción de los aportes. Este gel actúa, durante los estadios finales, como sustrato poroso permitiendo el crecimiento de minerales de baja energía de cristalización (yeso, carbonato, sulfato, etc.) cuyo crecimiento es similar al de los triquitos o whiskers, (García Ruiz & Minguez, 1982) formados a partir de elementos químicos que se hallan en concentraciones muy bajas en la solución intersticial y con un posible origen ligado a procesos biogénicos. La morfología de estas cristalizaciones del tipo freático de gota (Sanjurjo Sánchez 2000; Fernández Verdía 2000), está determinada por el espacio del que disponen para crecer subordinado a las dimensiones de la gota donde se desarrollan dando lugar a diferentes tipos de maclas, (penachos y rosetas o crestas Sanjurjo Sánchez 2000; Fernández Verdía 2000). Por ello, se forman cristales aciculares en fisuras y poros estrechos (foto 3) y cristales prismáticos bien desarrollados en poros abiertos. En el extremo terminal del espeleotema se desarrolla el tipo de cristalización freática más evidente apareciendo una asociación radial de cristales con desarrollo planar que da lugar a una morfología en coliflor típica (Fernández Verdía et al., 2000).

CONCLUSIONES

La génesis de los espeleotemas de ópalo-a en granitoides está ligada a la circulación del agua a través del sistema de discontinuidades secundarias de la roca.

La formación de este tipo de depósitos es un proceso independiente del clima (pluviosidad, régimen de temperaturas, etc.), del entorno (costero, continental, etc.) y del tipo litológico sobre el que se desarrollan.

Se pueden distinguir tres fases de crecimiento: una fase biogénica en la que predomina la precipitación de sílice biogénica en forma de oolitos y clastos, agregados con una matriz porosa; una fase de redisolución en la que se produce la masificación de la matriz por colmatación de poros y la formación de una pátina; una tercera fase freática de gota en la que desarrollan cristales de yeso.

BIBLIOGRAFÍA

- Bennett P. C. (1991) - Quartz dissolution in organic-rich aqueous system. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 1781-1797.
- Ehrlich H. L. (1996) - *Geomicrobiology*. 3rd edition. New York: Marcel Dekker, Inc. 719 pp.
- Fernández Verdía M.A. (2000) - *Estudio de la génesis de espeleotemas silíceos en granitoides en climas áridos (Salt River, Kelleberrin, Western Australia)*. Tesis de Licenciatura. Universidade da Coruña 81 pp. (inédita).

- Fernández Verdía M. A., Sanjurjo Sánchez J. y Vidal Romani J. R. (2000) - Genesis de espeleotemas de ópalo en sistemas cársticos desarrollados en rocas ácidas. *Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 25, 353-356
- García-Ruiz J. M. & Minguez F. (1982) - Condiciones de formación del primer precipitado en la técnica de gel de sílice. *Estudios Geológicos* 38: 3-14.
- Krumbein W.E. & Werner D. (1983) - *Microbial Geochemistry*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 330 pp.
- Roqué C. & Pallí L. (1996) - Formas graníticas asociadas a megalitos en el nordeste de Cataluña. *Geogaceta* 20 (5): 1.104-1.106
- Sanjurjo Sánchez J. (2000) - *Estudio comparado de la génesis de espeleotemas silíceos en granitoides en climas semiáridos y templado húmedos*. Tesis de Licenciatura. Universidade da Coruña 72 pp. (inédita)
- Vidal Romani J.R. y Twidale C.R. (1998) - *Formas y Paisajes Graníticos*. Monografías N° 55. A Coruña: Universidade Da Coruña. Servicio de publicaciones. 411 pp.
- Vidal Romani J.R., Twidale C.R., Bourne J. & Campbell E.M. (1998) - Espeleotemas y formas constructivas en granitoides. *Investigaciones recientes en la Geomorfología española*. 777-782 pp.
- Willems L., Compere P. & Sponholz B. (1998) - Study of siliceous karst genesis in Eastern Niger: *microscopy and X-ray microanalysis of speleothems*. *Zeitschrift für Geomorphologie* 42 (2), 129-142.

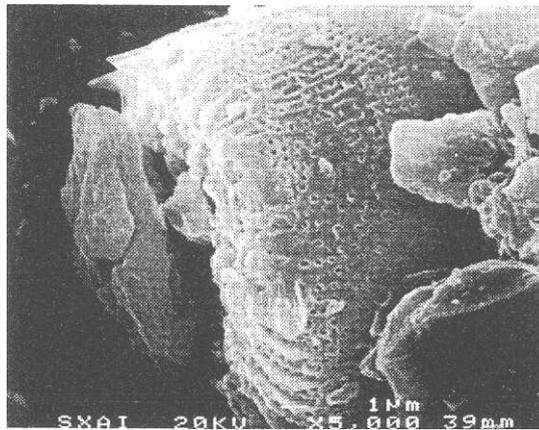


Foto 1. Detalle de una diatomea parcialmente recubierta de ópalo a (muestra de Girona).

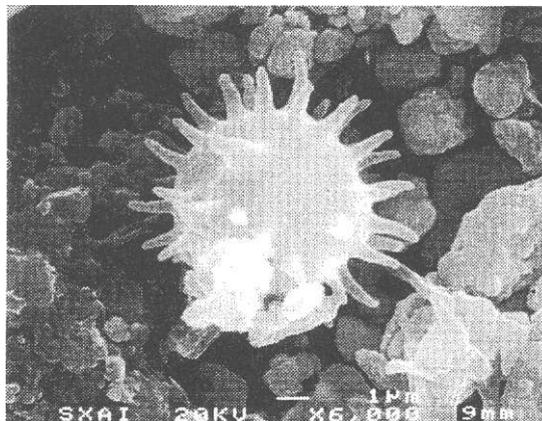


Foto 2. Micrografía de un dinocisto de dinoflagelado (muestra de Girona).

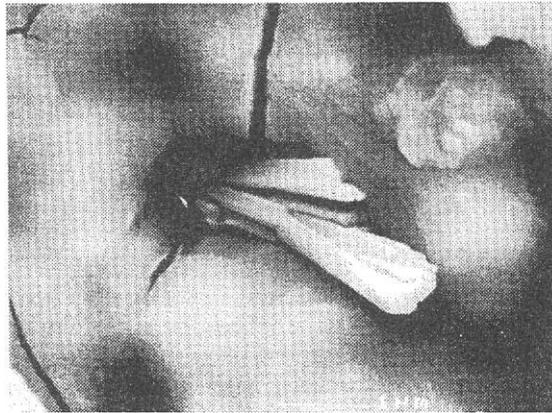


Foto 3. Cristales de yeso aciculares alojados en el punto de salida de un poro interno (muestra de Galicia).

ESTUDIO COMPARADO DE LA GÉNESIS DE ESPELEOTEMAS SILÍCEOS EN GRANITOIDES

J. Sanjurjo (1) ; M. Fernández Verdía (1) ; C. Roque (2) ; Ll. Pallí (2) & J.R. Vidal Romani (1)
 (1) Instituto Universitario de Geología Isidro Parga Pondal, Coruña 15071
 (2) Unitat de Geologia. Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona. 17071 Girona

Los procesos de disolución y precipitación en rocas plutónicas o sedimentarias ácidas presentan características cualitativamente similares a los desarrollados en rocas solubles (carbonatos, sulfatos, etc.) (Williams, 1998). En el caso de las primeras los depósitos resultantes se deben a la circulación de agua a través del sistema fisural de la roca (Vidal Romani & Twidale, 1998); este flujo de agua determina la movilización de los elementos de la roca (Si, Al, Ca, etc.) (Vidal Romani et al., 1998). Si se dan las condiciones adecuadas, flujo superficial lento, se puede producir la precipitación de algunos de estos elementos en aquellos puntos donde la tensión superficial supera el efecto de la gravedad, originándose los espeleotemas (fig. 1.a). Su formación es un proceso relativamente rápido, al menos 3.000 años, (Roqué & Pallí, 1996).



Fig. 1.a



Fig. 1.b

La alteración de granitoides está fundamentalmente limitada por la gran resistencia del cuarzo al ataque físico y químico del agua, (ya que mica y feldespatos son fácilmente degradables), lo que se explica por la baja solubilidad del SiO₂. La producción de compuestos metabólicos (principalmente ácidos orgánicos) por la actividad de distintos microorganismos (bacterias, hongos, líquenes) aceleran, sin embargo, esta degradación (Bennett, 1991; Ehrlich, 1996; Krumbain, 1983), y transforman el cuarzo cristalino en sílice amorfo (pódoc) diez veces más soluble que el cuarzo.

En este trabajo se han estudiado espeleotemas estalactíticos de dos zonas litológicas y climáticamente diferentes. La primera de ellas corresponde a un área granodiorítica situada al noroeste de la Península Ibérica (en la provincia de A Coruña), en donde domina un clima templado húmedo con una precipitación anual media de 1600 mm. La otra está situada en el Nordeste de la Península, y su clima es semárido (con una precipitación anual media de 650 mm) existiendo un sustrato litológico variado formado por granitoides (granodiorita, tonalitos, monzogranito, etc.) (fig. 1.b). El objetivo principal de este trabajo es definir un mecanismo de crecimiento de espeleotemas estalactíticos en granitoides, y determinar la influencia de los factores climáticos y litológicos en su formación.

Se pueden distinguir dos tipos de depósitos de disolución/precipitación químico-biológica (Vidal Romani & Twidale, 1998):

- Epseleotemas cilíndricos: asociados a puntos de goteo del agua del sistema fisural. Dentro de este tipo de espeleotemas se pueden diferenciar dos subtipos:
 - a.1. Estalactitos se forman en la parte alta de las fisuras de la roca en el punto límite de atracción del agua por tensión superficial.
 - a.2. Fajas estalagmíticas o espeleotemas onigravitatorios: definidas como crecimientos onigravitatorios a partir de agua que circula por la base de las cavidades. Su desarrollo es escaso.
- b. Espeleotemas en capas o laminas: se producen como consecuencia de un flujo laminar de agua sobre la roca. Son los denominados flowstone o coladas, dripstone, gour-dams y rimstone o rebordes.

Los análisis elementales realizados sobre el cuerpo de los espeleotemas es principalmente Si en todas las muestras estudiadas independientemente de su procedencia (fig.2). En proporciones muy bajas se encuentran otros elementos como Al, P, K, Fe, etc. según su movilidad geoquímica y su presencia en la roca base del espeleotema. Los análisis elementales realizados en zonas opicales del espeleotema reflejan en todos los casos un predominio de S y Ca sobre otros elementos como el Si.

Las observaciones al SEM ponen de manifiesto una morfología idéntica en todas las muestras estudiadas.



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11

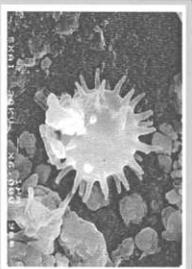
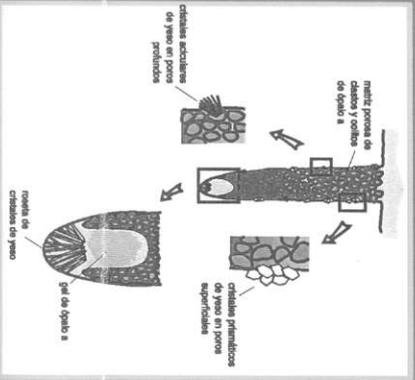


Fig. 12

La circulación intersticial del agua durante la fase biogénica permite, en una tercera etapa, la concentración por evaporación del gel de sílice durante la interrupción de los aportes de agua. Este gel actúa, durante los estadios finales, como sustrato poroso permitiendo el crecimiento de minerales de baja energía de cristalización (yeso, carbonato, sulfato, etc.) cuyo crecimiento es similar al de los triquitos o whiskers, (García Ruiz & Minguetz, 1982) formados a partir de compuestos químicos disueltos en concentraciones muy bajas en el fluido intersticial y con un posible origen ligado a procesos biogénicos. La morfología de estas cristalizaciones del tipo frédico de goteo (Sanjurjo Sánchez 2000; Fernández Verdía 2000), está determinada por el espacio del que disponen para crecer, siempre subordinado a las dimensiones de la gota donde se desarrollan, dando lugar a diferentes tipos de maclos, [penachos y rosetas o crestas (Sanjurjo Sánchez 2000; Fernández Verdía 2000) (fig. 13). Por ello, se forman cristales aciculares en fisuras y poros estrechos (fig. 14) y cristales prismáticos bien desarrollados en poros abiertos (fig. 15). En el extremo terminal del espeleotema se desarrolla el tipo de cristalización frédica más característico dispuesto como una asociación radial de cristales planares que dan lugar a una morfología en coliflor (fig. 16) (Fernández Verdía et al., 2000).



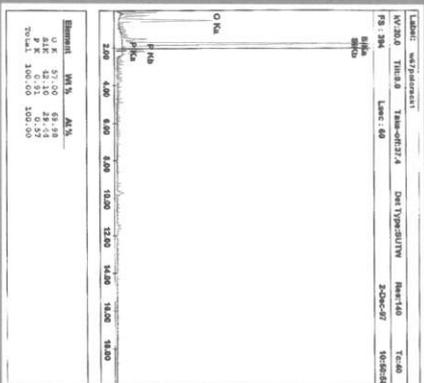


Fig. 2

En la primera etapa (fase biogénica) la textura del espeleotema es porosa, brechoide (clastos de ópalo a) (fig. 3) o conglomérica (oolitos de ópalo a) (fig. 4), los primeros formados por rotura mecánica al deshidratarse el gel de sílice y los segundos causados por precipitación directa de sílice amorfa debido, presumiblemente, a la acción de microorganismos (bacterias y hongos) (fig. 5 y 6).



Fig. 3

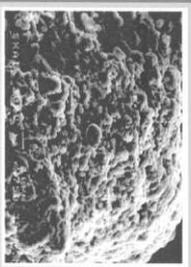


Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6

En la segunda etapa (fase de redisolución), la elevada solubilidad del ópalo biogénico puede producir la formación de películas externas que recubren el espeleotema (patinos) (fig. 7), además de una progresiva colmatación del sistema poroso que acaba siendo totalmente rellenado transformándose (fig. 8), al menos en los extremos finales del espeleotema, en una masa compacta donde puede llegar a desarrollarse una estructura rítmica de acreción concéntrica o en capas equivalente a la de los espeleotemas calcáreos (fig. 9). [Sanjurjo Sánchez, 2000; Fernández Verdía, 2000; Fernández Verdía et al., 2000]. La riqueza de sílice en el medio y la existencia de agua permite una existencia fugaz de diferentes microorganismos (hongos, diatomeas, bacterias, etc.) (fig. 10, 11 y 12) directamente controlada por las reservas de agua procedente de la lluvia, interrumpiéndose la actividad biológica en ausencia de ésta, lo que conduce a una precipitación masiva del ópalo que provoca la muerte de estos microorganismos por enterramiento y fosilización [Sanjurjo Sánchez, 2000; Fernández Verdía, 2000; Fernández Verdía et al., 2000].



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15



Fig. 16

CONCLUSIONES:

La génesis de los espeleotemas de ópalo-a en granitoides está ligada a la circulación del agua a través del sistema de discontinuidades secundarias de la roca. La formación de este tipo de depósitos es un proceso independiente del clima [pluviosidad, régimen de temperaturas, etc.], del entorno (costero, continental, etc.) y del tipo litológico sobre el que se desarrollan. Se pueden distinguir tres etapas de crecimiento: una fase biogénica en la que predomina la precipitación de sílice biogénica en forma de oolitos y clastos, agregados con una matriz porosa; una fase de redisolución en la que se produce la masificación de la matriz por colmatación de poros y la formación de una patina; una tercera fase freática de goteo en la que desarrollan cristales de yeso.

BIBLIOGRAFÍA.

Bennett P. C. (1991) - Quartz dissolution in organic-rich aqueous system. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 1781-1797.

Ehrlich H. L. (1996) - *Geomicrobiology*. 3rd edition. New York: Marcel Dekker, Inc. 719 pp.

Fernández Verdía M.A. (2000) - Estudio de la génesis de espeleotemas silíceos en granitoides en climas áridos (Salt River, Kelleberrin, Western Australia). Tesis de Licenciatura. Universidad da Coruña 81 pp. [inédita].

Fernández Verdía M. A., Sanjurjo Sánchez J. y Vidal Romani J. R. (2000) - Génesis de espeleotemas de ópalo en sistemas cársticos desarrollados en rocas ácidas. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe* 25, 353-356

García-Ruiz J. M. & Minguez F. (1982) - Condiciones de formación del primer precipitado en la técnica de gel de sílice. *Estudios Geológicos* 38: 3-14.

Krumbein W.E. & Werner D. (1983) - *Microbial Geochemistry*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 330 pp.

Roqué C. & Palli L. (1996) - Formas graníticas asociadas a megafallos en el nordeste de Cataluña. *Geogaceta* 20 (5): 1.104-1.106

Sanjurjo Sánchez J. (2000) - Estudio comparado de la génesis de espeleotemas silíceos en granitoides en climas semiáridos y templado húmedos. Tesis de Licenciatura. Universidad da Coruña 72 pp. [inédita]

Vidal Romani J.R. y Twiddle C.R. (1998) - Formas y Paisajes Graníticos. *Monografías No 55*. A Coruña: Universidade da Coruña. Servicio de publicaciones. 411 pp.

Vidal Romani J.R., Twiddle C.R., Bourne J. & Campbell E.M. (1998) - Espeleotemas y formas constructivas en granitoides. *Investigaciones recientes en la Geomorfología española*. 777-782 pp.

Williams L., Compe P. & Sponholz B. (1998) - Study of siliceous karst genesis in Eastern Niger: microscopy and X-ray microanalists of speleothems. *Zeitschrift für Geomorphologie* 42 (2), 129-142.