

I JORNADAS HYPOGENIC CAVES

17 de Diciembre 2016
Cueva del Puerto, Calasparra

CENTRO DE ESTUDIOS DE LA NATURALEZA EL MAR
CENM-naturaleza

MEMORIA



I Jornadas Hypogenic Caves Murcia

17 de diciembre de 2016
Cueva del Puerto, Calasparra

Organiza:
Centro de Estudios de la Naturaleza y el Mar
CENM-naturaleza
www.cenm.es
cenm@cenm.es

Patrocina:
Federación de Espeleología de la Región de Murcia

Colaboran:
Ayuntamiento de Calasparra
Qalat naturaleza y aventura
Cueva del puerto
Asociación Espeleológica Velezana

Dirección organización:
Andrés Ros
José Luis Llamusí
Andrés Hurtado



I Jornadas Hypogenic Caves Murcia

17 de diciembre de 2016
Cueva del Puerto, Calasparra

Las cuevas hipogénicas tienen su origen en las aguas profundas y acuíferos confinados, estos desde el fondo y con la presión ejercida por las aguas y la acidez que la componen inician un proceso de desgates y corrosión de las rocas (calizas, yesos, y otras rocas solubles), constituyendo numerosos laberintos subterráneos, muchos de ellos de difícil localización, pues son suelen haber elementos externos que lo indiquen, a principios del año 2000 se consideraba que el 10% de las cavidades mundiales serán de origen hipogénico, tras los estudios de numerosos investigadores y sobre todo a partir de la publicación de *"Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and morphogenetic perspective"*. De Alexander Klimchouk en el año 2007, empieza a cambiar la interpretación de muchas cavidades y a reconocer morfologías de tipo hipogénico. Esto hace que se revisen la génesis inicial de muchas cavidades y sobre todo las dudas que existían al respecto, la sospecha se convierte en realidad y muchas cavidades de origen dudoso confirman su origen hipogénico, esto ha creado un considerable aumento de estas cavidades a nivel mundial y también muchas reticencias y dudas entre investigadores pero que cada día se afirman con los nuevos trabajos que van apareciendo.

En la Región de Murcia, las dudas sobre las grandes redes conocidas Sima de la Higuera, Cueva del Puerto, sima Destapada, cueva del Agua, de Lorca y Cartagena, se empiezan a aclarar cuando se aplican los conceptos de Klimchouk, Calaforra, Gazquez, y otros investigadores publicándose un primer acercamiento global a las cuevas hipogénicas en Murcia en el año 2014 "Cuevas Hipogénicas en la Región de Murcia" por el equipo del CENM-naturaleza, donde por primera vez se ordenan y sitúan muchas cavidades murcianas en su espeleogénesis hipogénica, por otro lado los descubrimientos de la cueva de Luchena y la sima de Almendricos por el equipo de González Ramón, abren otra línea coincidente con los trabajos del equipo del CENM-naturaleza. La consideración de la Región de Murcia como un referente mundial de sus cavidades hipogénicas en amplios conceptos; morfologías, redes, espeleotemas ha quedado reconocido en la reciente conferencia mundial PROCEEDINGS OF DEEPKARST 2016: ORIGINS, RESOURCES, AND MANAGEMENT OF HYPOGENE KARST celebrado en Carlsbad, New México, USA 2016 con el trabajo presentado por un equipo de investigadores del CENM-naturaleza y el ECA de Almería "HYPOGENIC MORPHOLOGIES AND SPELEOTHEMS IN CAVES IN THE MURCIA REGION, SOUTHEASTERN SPAIN".

Otras regiones siguen estas pautas de investigación y revisión y aparecen trabajos de revisión y confirmación de estas cavidades, en Baleares, Comunidad Valenciana, Andalucía, Castilla la Mancha, etc. A pesar de ello los accesos a estos trabajos del espeleólogo aún dista mucho y no suele ser fácil el acceso a estas documentaciones, su contribución puede ser muy significativa en todo este conocimiento de las cuevas y su génesis. Recientemente el equipo del CENM-naturaleza ha creado una APP que permite identificar morfologías y espeleotemas característicos de estas cavidades y que se presenta en estas jornadas.

La realización de estas jornadas va dirigida a estos espeleólogos que con sus exploraciones tienen mucho que decir en el contexto de estas cavidades, la invitación está abierta a todos los que deseen venir y esperamos unas jornadas intensas y de un debate amplio y constructivo.

FERM

I Jornadas Hypogenic Caves Murcia

Programa

Sábado día 17 de diciembre:

9:00h. recepción de asistentes

9: 10 h. Inauguración Jornadas, Andrés Hurtado, Presidente de la Federación de Espeleología de la Región de Murcia.

9:20h. Presentación de la *“APP Hypogenic Morphology Caves”*, una aplicación libre para la identificación de las cuevas hipogénicas.

9:50h. Cuevas hipogénicas en el límite suroccidental de Murcia (Luchena, Cabezo de la Jara y Almendricos. Antonio González Ramón.

10:20h. Evidencias de Speleogenesis hipogénicas en la sima del Campillo, Valencia. Andrés Ros, José L. Llamusí.

10:35 h. Nuevas aportaciones sobre cuevas hipogénicas de la Comunidad Valenciana. Policarp Garay.

11:00h. Pausa Café

11:30 h. Visita cueva del Puerto, presentación recorrido geomorfológico *hypogenic indicators*.

13:30h Fin visita cavidad

14:00h. Fin Jornadas

Exposición “Hypogenic Caves” Lugar, Cueva del Puerto, Calasparra

Hypogenic Morphology

APP Una aplicación libre para la identificación de cuevas hipogénicas

Andrés Ros⁽¹⁾, José Llamusí⁽¹⁾, Juan Sánchez⁽¹⁾, Fernando Gázquez⁽²⁾, y José María Calaforra⁽³⁾,

(4) Centro de Estudios Ambientales y del Mar. CENM-naturaleza, Alcántara, 5, Cartagena, Murcia, 30394, España. cenm@cenm.es

(2) Department of Earth Sciences, University of Cambridge, Downing Street, Cambridge, CB2 3EQ, United Kingdom. f.gazquez@ual.es

(3) Departamento de Biología y Geología. Universidad de Almería, Carretera de Sacramento s.n, La Cañada de San Urbano, Almería, 04720, España. jmcalaforra@ual.es

Resumen

Los estudios sobre cavidades generadas por procesos de origen profundo y/o hidrotermal, también conocidas como cuevas hipogénicas, han proliferado notablemente durante los últimos años, hasta el punto de que hoy en día se considera que el 10% de las cavidades a escala mundial fueron generadas por este tipo de mecanismos. La espeleogénesis hipogénica suelen dar lugar a morfologías características, aunque en muchas ocasiones estos elementos pueden quedar enmascarados por otros de origen epigénico más recientes, relacionados con la infiltración de agua superficial. El estudio en detalle de algunas cavidades, hasta la fecha consideradas epigénicas, ha puesto de manifiesto los procesos de origen profundo que las generaron. Este tipo de patrones, ya sean morfológicos (presencia de cúpulas, domos de corrosión, *scallops*, *pendants*, etc...) o espeleotémicos (folias, conos de calcita flotante, nubes de cuevas, etc...) se repiten en cuevas hipogénicas de todo el mundo. En términos generales, la difusión de los conocimientos adquiridos hasta la fecha sobre estas cavidades ha quedado restringida al ámbito de la espeleología científica y apenas han trascendido a espeleólogos y aficionados al medio subterráneo. En este trabajo presentamos una nueva aplicación libre para *smartphone* con sistema operativo Android, ideada como una guía básica y accesible, con vocación didáctica, que recoge los elementos más comunes y característicos que se pueden observar en cavidades hipogénicas. Esta aplicación utiliza la base de datos de morfológicas hipogénicas recopilada durante los últimos veinte años en cavidades la Región de Murcia. Cada "elemento hipogénico" viene acompañado de imágenes y una breve descripción que facilita su identificación de forma sencilla y permite que la base de datos sea ampliada por los usuarios.

Palabras clave: Hipogénica, morfologías, app, Android, Smartphone, espeleogénesis.

Este trabajo es sé presentó en el Congreso de CUEVATUR - 2016

Morfologías hipogénicas:

Las cavidades de origen hipogénico, generadas por procesos de origen profundo y/o hidrotermal han sido hasta tiempos recientes unas desconocidas limitándose muy especialmente al ámbito científico y en sectores muy concretos de investigadores. En estos últimos años los estudios sobre estas cavidades están siendo más conocidos y populares, poniendo de manifiesto numerosas cavidades que se pensaban epigénicas son realmente hipogénicas. La falta de guías o directrices que orienten al los espeleólogos en las características de estas cavidades contribuye a su desconocimiento, solo los estudios precisos de investigadores ofrecen luz sobre estas cavidades.

Si es cierto que la realización de nuevos estudios y publicaciones que van llegando a todo el mundo están ayudando a redescubrir cavidades que no se conocían o se tenían dudas sobre sus orígenes, así ha ocurrido en cueva del Puerto (Murcia) donde recientes el estudio de sus morfologías hipogénicas la caracterizan como un modelo de referencia para las cavidades hipogénicas murcianas(Ros, 2016), sima de la Higuera donde el estudio de sus espeleotemas igualmente son referentes (Gázquez, 2012), los de la cueva de Luchena de (González, 2014) y otras en la región de Murcia han cambiado el significativamente los conceptos sobre sus orígenes, igualmente otras regiones ofrecen un panorama similar, los trabajos en Baleares sobre todo en Vallgornera (Gines, 2014 y Merino , 2010 y 2011) y otras cavidades, en otras regiones como en la comunidad Valenciana donde (Garay, 2013), realiza una síntesis sobre las cavidades hipogénicas en esta región, presentando todo un panorama abierto y por redescubrir en esta región, todos estos trabajos y otros que se irán añadiendo están cambiando significativamente la forma de ver las cavidades Sin embargo el acercamiento más genérico y popular aún es escaso y solo al alcance de trabajos técnicos y en casos complejos, la posibilidad de iniciar publicaciones o herramientas que acerquen el conocimiento de las cuevas hipogénicas a todo el mundo posiblemente ayudará a reencontrar nuevas cavidades.

La aplicación que se presenta se orienta como una herramienta de consulta básica con elementos comunes y repetitivos de morfologías y espeleotemas de origen hipogénico.

La selección de morfologías y espeleotemas hipogénicas se ha basado en los trabajos de (Klimchouk 2007) y (Audra 2009) también hemos considerado las aportaciones este respecto de (Merino 2010, 2011) y otros que se citan en la descripción de la app, pero quizás la opción más relevante ha sido la coincidencias de estas referencias de estos autores con la selección de cavidades murcianas que sobre este aspecto venimos realizando en diversos trabajos de cuevas murcianas (Ros, 2014), (Gázquez, 2016) en donde se incluyen tablas sobre las características hipogénicas de las cavidades en Murcia (tabla 1).

CUEVAS HIPOGENICAS EN LA REGION DE MURCIA												
TABLA DE REDES-MORFOLOGIAS -ESPELEOTEMAS												
Selección de Cavidades		Sima de la Higuera	Sima Destapada	Cueva del Puerto	Cueva del Agua	Sima del Pulpo	Cueva del Pozo	Sima de la Plata	Cueva del Agua-Lorca	Cueva de Luchena	Cueva del Gigante	Sima del Almez
Cavidades tipo												
espeleometría-desarrollo	Recorrido desarrollo metros	5500	3400	4389	3620	4780	1254	373	546	561	610	220
Maze caves	Redes laberínticas	X	X	X				X	X	X	X	
Network maze caves	Redes reticuladas	X	X	X					X			
Spongework maza caves	Redes irregulares	X	X	X	X			X	X	X	X	
	Redes morfología planar	X	X	X	X	X	X	X	X			
	Grandes Salas	X	X	X				X				X
	Salas con ramificaciones ascendentes	X		X				X		X		
	Drenes ascendentes y surgentes		X		X	X?	X?		X			
Anomalia geotérmica	Temperatura aire (T. agua en C. Agua)	21º	29º	20º	30º				21º			
Morfología interior												
Feeders	canales verticales de alimentación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rising wall chanel	canales de pared ascendentes	X	X	X	X	X	X	X?	X	X	X	X
Ceiling chanel	canales de techo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Composed pockets	cúpulas coalescentes	X	X	X	X		X	X	X		X	X
Subdued pockets	pequeñas cúpulas	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Wall pockets	cúpulas en paredes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ceiling pockets	cúpulas en techo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Outles	estructuras de fuga ascendente, descargas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Underdeveloped outles	morfologías sin desarrollar, cerradas sin continuidad	X	X	X	X	X	X				X	X
Successful outles	estructuras que comunican dos niveles	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Dead Ends	galerías ciegas	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Partitions	tabiques de roca	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Bubble trails	canales de disolución sobre paredes	X	X	X								
Collapses	colapsos	X	X	X	X	X		X	X			
Cúpulas ramificadas	pseudogalerías/pseudopozos	X	X	X		X	X					
Boxwork	formas nido de abeja, cajas	X	X	X	X				X		X	
Scallops	formas sección elíptica en paredes y techos, costras	X	X	X	X				X		X	X
Yesos	Presencia de yesos, paredes, ...			X								
Espeleotemas												
Folias	Placas de calcita a modo de gours invertidos	X				X						
Tower coral	pináculos coraloides	X	X									
Coraloids	Corales	X							X?			
Porcon	Palomitas	X	X?									
Raft cones	Conos	X							X			
Double tower cones	Conos dobles	X										
Micro cones	Micro conos 1-10 cm.	X										
Cave raft	Calcita flotante	X	X?	X	X?	X			X			
Moonmilk		X	X?						X			
					X							
Clouds	Nubes	X				X?		X				
Pool fingers	Estalacitas submarinas origen organico	X?			X?							
Conulites	Vasos de chapoteo	X										
Micritized rind	Calcita micritizada	X							X			
Spar	Cristales	X	X						X			
Dogtooth calcite	Dientes de perro	X							X			
Aragonito	Agujas de aragonito		X									
Gypsum flowers	Flores de yeso			X		X						
Gypsum	Presencia de Yeso		X	X		X						

Tabla 1.. Características hipogénicas en cuevas de Murcia

Numerosos autores coinciden con el modelo común descrito por Klimchouk, 2007 (figura 1) denominada "Suite Morfológica de aumento de Flujo" *Morphologic suite of rising flow*, La suite morfológica constituye el patrón básico de cualquier cueva confinada (Audra, 2009): el ascenso de las aguas profundas por grietas o conductos verticales, *feeders*, se extienden lateral y verticalmente,

máster passage, o zona de transición, y por conductos verticales de escape o fuga *Outlet*, estos procesos se repiten en el interior pudiendo configurar una mayor complejidad al sistema creando múltiples ramificaciones laterales. Los mayores laberintos del mundo se basan en este origen. Todo este conjunto de procesos modelan la cavidad, creando unas morfologías comunes para todas estas cavidades, tubos, chimeneas, cúpulas, etc., igualmente también se suceden la formación de espeleotemas de origen hipogénica, conos, folias, nubes “clouds”, spar, etc. estos suelen ser menos abundantes y comunes pues requieren de ciertas condiciones que no se dan en todas las cavidades, el reconocimiento de estos indicadores morfológicos y espeleotemas son imprescindibles para reconocer las cavidades hipogénicas.

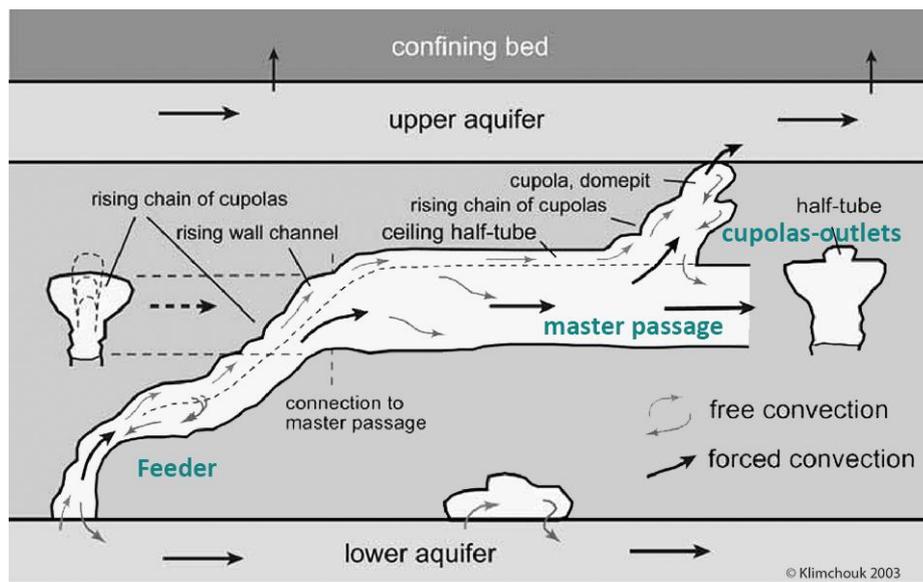


Figura 1. Suite Morfológica de aumento de Flujo” Morphologic suite of rising flow , Klimchou, 2007

App Hypogenic morphology

La app recopila elementos morfológicos comunes para la mayoría de las cavidades hipogénicas, junto a espeleotemas que se desarrollan en ambientes hipogénicos o hidrotermales. Los expuestos en este trabajo se ha simplificado en su número considerando los elementos más habituales y comunes que se suelen encontrar para ello nos basamos en morfologías coincidentes y repetitivos en numerosas cavidades investigadas en la Región de Murcia como hemos indicado anteriormente. Si es cierto que el número de indicadores morfológicos hipogénicos es amplio y diverso y con numerosos variantes, describirlos todos es tarea muy compleja y no se suelen encontrarse en todas las cavidades, de todas ellas hemos podido comprobar que hay unas que se repiten con mayor asiduidad (tabla1).

La selección se ha realizado en una estructura de menú y submenú gráfico, este corresponde a tres grupos (figura 2) siguiendo el criterio de la Suite Morfológica de Ascenso de Flujo (Klimchouk, 2007) estos grupos a la vez los hemos dividido o otros tres subgrupos donde se identifica y describen las morfologías, por ultimo incluimos un grupo de espeleotemas con un subgrupo de descripción de cada uno.

La primera pantalla describe la Suite Morfológica de Ascenso de Flujo resaltando los tres elementos más significativos de esta; los Feeder, la zona de transición Máster Passage y los puntos de descarga o de fuga ascendente Outlets, incluimos un último grupo de espeleotemas.

Menú Feeder; esta pantalla recoge cuatro imágenes de distintos feeders, texto descripción en app; *“Los canales de alimentación o “feeder” permiten la entrada al sistema de flujos ascendentes de agua, generalmente de carácter termal. El agua caliente, menos densa, fluye verticalmente disolviendo la roca caliza. Una vez el agua abandona la cavidad, estos elementos quedan expuestos e modo de pozos verticales”*.

Las imágenes ilustran dos “macro feeder, por sus dimensiones y otras dos imágenes de “micro feeder” “toberas”, de dimensiones mas reducidas utilizando las descripciones que realiza (Merino 2010, 2011) y (Gracia, 2007) para clasificar feeders.

Menú Máster Pasassge o zona de transición; texto en app; *“Engloban el conjunto de conductos principales de la cavidad (máster passages) y sirven a modo de zona de transición entre los niveles profundos del acuífero y los más superficiales. Son típicos de estos ambientes las cúpulas, canales de corrosión, los pilares aislados (partition) y los scallops”*.

Cuatro imágenes con morfologías de la zona de transición “canal de cúpulas en techo” Transitional wall and ceiling features, “partition”, “cúpulas”, y “Scallops” con una breve descripción de todos estos elementos.

Menú Outlets, estas morfologías se describen, texto app; *“Estructuras de fuga ascendente o puntos de descarga, están formados por cúpulas y conductos verticales que partiendo desde el techo de una galería en un nivel determinado, conecta con el siguiente situado sobre ella. En ocasiones, estructuras en techos como cúpulas o tubos ascendentes pueden dar lugar a outlets”*.

Cuatro imágenes con morfologías outlets se describen; un “Outlet”, un conjunto formado por “ceiling pockets-Outlets”, un conjunto formado por un canal en el techo “Ceiling chanel pockets”, y una galería o cúpula ciega “Dead ends”

Menú Espeleotemas, se describe un conjunto de cuatro espeleotemas hipogénicos característicos, texto app; *“Suelen originarse cerca de la superficie del acuífero termal. El CO2 escapa de la disolución permitiendo la formación de espeleotemas. En ocasiones, el hundimiento de finas láminas de calcita formadas sobre la superficie de lagos subterráneos da lugar a acumulaciones a modo de conos. La calcita también se deposita sobre paredes y techos generando formas redondeadas a modo de “nubes” (clouds). Los cristales de calcita (spar) de varios centímetros de longitud, formados bajo el agua, son también frecuentes en cuevas hipogénicas”*.

Se seleccionan los espeleotemas, “Conos”, Nubes, *clouds*”, “Folias” , y cristales de calcita “Spar”.

Conclusiones:

La app Hypogenic Morphology se ha diseñado como una herramienta básica cercana y accesible para el mundo de la espeleología, con estas premisas y partiendo de morfologías comunes y muy repetitivas en las cavidades hipogénicas, se pretende sea una herramienta sencilla y de fácil manejo que permitirá identificar estas cavidades.

Conocer estos elementos típicos de las morfologías hipogénicas que en la mayoría de las veces pueden pasar inadvertidas o poco conocidas por los aficionados, es un punto de inicio para identificar estas cavidades. La aplicación acerca de una forma didáctica gráfica al conocimiento de las cavidades hipogénicas.

La app está diseñada para equipo y terminales con sistema operativo Android y disponible para su descarga en las paginas www.cenm.es, www.cuevashipogenicasdemurcia.es y en portal de descargas de Google Play.

Agradecimientos: nuestro agradecimiento a todo el equipo de CENM-naturaleza, Carlos Munuera, Juan Francisco Plazas, Alba Sánchez, Andrés Hurtado, Roberto Trives, Juan Antonio García, Ana Belén Cáceres, Antonio David Granados, Rita Martínez, Belén López, José L. Carcelén, Antonio Latorre, José Soto, Andrés Marín, José David Lisón, José Florencio, Jesús López, David Bayón, igualmente agradecemos los cometarios y sugerencias en las pruebas de; Manuel Marín, José Liza.

Este proyecto se realiza con la colaboración de la Federación de Espeleología de la Región de Murcia dentro del proyecto Cuevas Hipogénicas de Murcia. www.cuevashipogenicasdemurcia.es

BIBLIOGRAFIA

Audra P, Mocochain L, Bigot J, Nobécourt J.C., 2009 *Morphological indicators of speleogenesis: Hypogenic speleogens*. Hypogene speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins Proceedings of the conference held May 13 through 17, 2009 in Chernivtsi, Ukraine.

Gázquez Sánchez F, Calaforra Chordi J.M., Rull F y Martínez-Frías J, 2012 *Espeleotemas y evidencias de cavernamiento hipogénico de la Sima de la Higuera (Pliego, Murcia)* Congreso Español cuevas Turísticas, Palencia

Garay P. 2013 *Consideraciones sobre el karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano* Bol. de la SEDECK num. 9

Gázquez F, Calaforra J.M. Ros A. Llamusí J.L., Sánchez, J., 2016 *Hypogenic morphologies and speleothems in caves in the Murcia region, south-eastern Spain*, DeepKarts conference 2016, Carlsbad, New Mexico USA.

Ginés J, Fornós J, Ginés A, Merino T, Gràcia F, 2014 *Geologic constraints and speleogenesis of Cova des Pas de Vallgornera, a complex coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean)*, International Journal of Speleology vol. 43, Tampa USA

González A., 2014 *La Cueva de Luchena, un ejemplo de cavidad hipogénica relacionada con descargas de aguas subterráneas en el acuífero Pericay-Luchena (Lorca, Murcia)*. I Congreso Iberoamericano y V Congreso Español sobre Cuevas Turísticas. Arcena- Huelva.

Gracia F., Fornos J., Clamor B., Febrer M., Gamundi P., 2007 *La cova de Sa Gleda I. sector classic de Ponent I, sector Cinc-Cents (Manacor, Mallorca): geomorfología, espeleogénesis, sedimentología i hidrología*. Endins, núm. 31 Mallorca.

Klimchouk A. 2007 *Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and morphogenetic perspective*. Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad.

Merino A, Fornos J., 2010 *Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (Morphologic Suite of Rising Flow) en la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca)*, Endins 34

Merino A, Ginés, J., Fornos J., 2011 *Evidéncies morfològiques de processos hipogènics a cavitats de Mallorca*, Endins 35.

Ros A., Llamusí, J.L., Sánchez J. 2014 *Cuevas hipogénicas en la Región de Murcia (España)*. I Congreso Iberoamericano y V Congreso Español sobre Cuevas Turísticas. Aracena- Huelva.

Ros A., Llamusí, J.L., Sánchez J. 2014 *Cuevas hipogénicas en la Región de Murcia vol. I*. edita CENM-naturaleza, Murcia, <http://cenm.es/Hipogenic/CUEVAS-HIPOGENICAS-MURCIA-I-dscg.pdf>.

Ros A., Llamusí, J.L., Sánchez J. 2016 *Morfologías hipogénicas en la cueva del Puerto (Murcia, España)* revista. Gota a Gota núm. 10 2016. edita Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) Villacarrillo, Jaén. <http://www.cuevashipogenicademurcia.es/BIBLI/040-puerto-gota-a-gota-10.pdf>.

Edición para las I Jornadas Hypogenic Caves Murcia 2016.

CUEVAS HIPOGÉNICAS EN EL LÍMITE SUROCCIDENTAL DE MURCIA (LUCHENA, CABEZO DE LA JARA Y ALMENDRICOS)

Antonio González Ramón, Instituto Geológico y Minero de España. Asociación Espeleológica Velezana

INTRODUCCIÓN

En el límite entre las provincias de Almería y Murcia, pero dentro de la segunda, se localizan tres interesantes cuevas que presentan marcados rasgos de karstificación hipogénica. Se localizan alineadas en dirección N-S en tres distintos dominios geológicos (Fig. 1). Los procesos que las formaron y su edad son diferentes, sin embargo las tres presentan rasgos morfológicos similares debido a que todas ellas fueron formadas por aguas sometidas a presión superior a la atmosférica, que ascendían por las discontinuidades de los carbonatos hacia sus zonas de surgencia y que contenían gases disueltos tales como el gas carbónico (CO₂) o el sulfhídrico (H₂S).

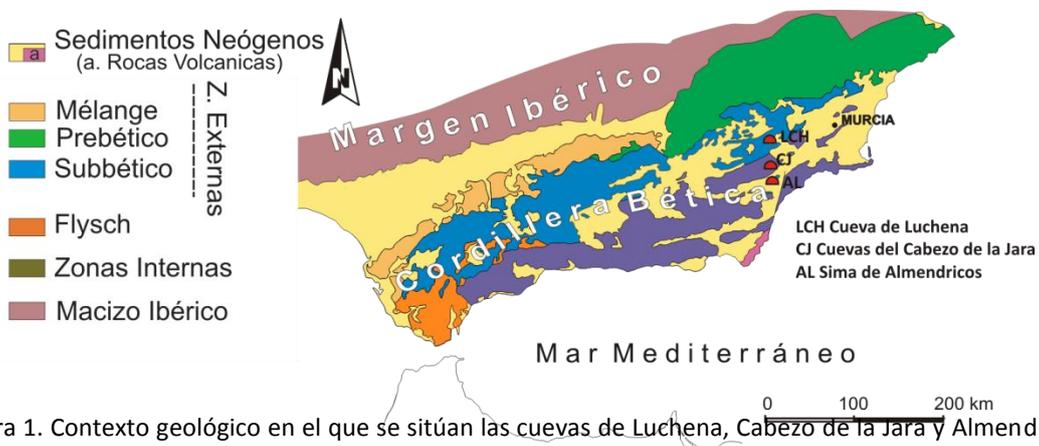


Figura 1. Contexto geológico en el que se sitúan las cuevas de Luchena, Cabezo de la Jara y Almendricos (modificado de González Ramón et al., en prensa).

La Cueva del Luchena es la que se localiza más al N y se formó en carbonatos jurásicos que pertenecen a las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas. Se trata de una cueva situada en un extenso acuífero que aparece en relación con su actual zona de descarga y asociada al encajamiento de un cañón kárstico (González-Ramón *et al.*, 2014 y González-Ramón 2015).

Las cuevas del Cabezo de la Jara y la Sima de Almendricos o Peñas Blancas se encuentran en las Zonas Internas, las primeras en el dominio Alpujárride y la segunda en el Nevado-Filábride. En el caso del Cabezo de la Jara se conocen cuatro cavidades situadas en un pequeño afloramiento (González-Ramón, 2015) que ha quedado como testigo de un acuífero mucho más extenso que fue desmantelado en su mayor parte por los procesos erosivos. Estas cuevas, son por tanto, más antiguas que la Cueva de Luchena.

La Sima de Peñas Blancas (González-Ramón *et al.*, 2016) es hasta ahora el mejor ejemplo conocido en España de espeleogénesis por ácido sulfúrico (Egemier, 1981, Jagnow *et al.*, 2000). En su interior aparecen rellenos de depósitos de yeso de tipología similar a las descritas en Nuevo Méjico (EEUU) (Hill, 1987) y en otras cuevas europeas (Galdenzi y Mauoka, 2003; Audra *et al.*, 2013 entre otros). También aparecen megacristales de yeso similares a los de la Geoda de Pulpí (García-Guinea *et al.*, 2002) si bien, en este caso relleno por completo los huecos de la roca de caja en los que el yeso ha precipitado.

El objetivo de esta publicación es describir estas tres cavidades, poniendo de relieve sus diferencias espeleogénicas y sus principales aspectos morfológicos.

La Cueva de Luchena

La Sierra del Pericay, donde se ubica la cueva, se encuentra en la zona occidental de la provincia de Murcia, cerca del límite con la de Almería y en el término municipal de Lorca (Fig. 1 y 2).

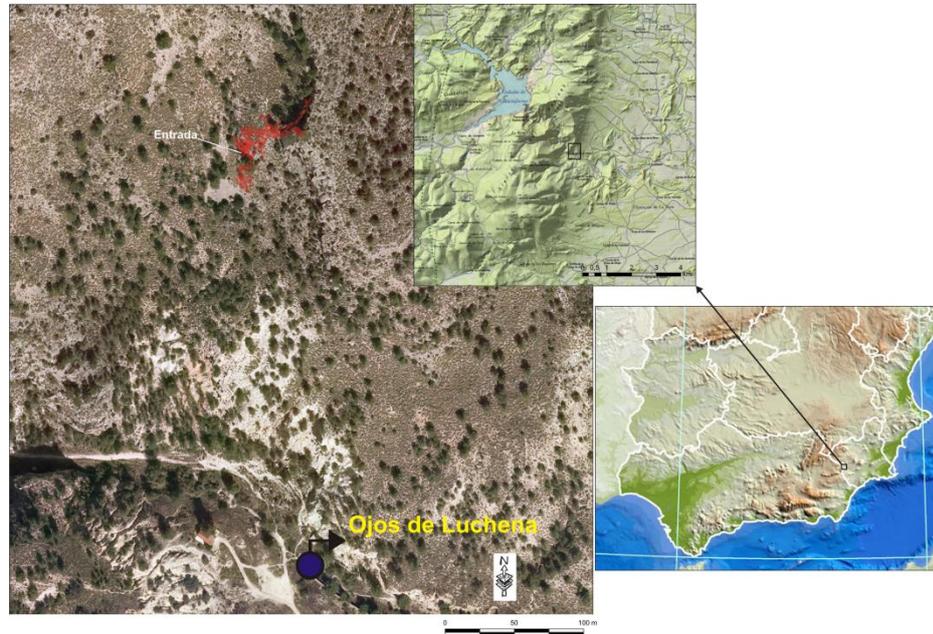


Figura 2. Situación geográfica de la Cueva de Luchena y el manantial Ojos de Luchena, en color rojo aparece la planta de la cavidad proyectada sobre la ortofoto del IGN. Los mapas de situación han sido tomados de IBERPIX.

El río Luchena nace en la confluencia de los ríos Caramel o Alcaide y la Rambla Mayor, discurre hacia el SE hasta su encuentro con el promontorio jurásico, al que corta de parte a parte generando un cañón fluviokarstico. En su salida se localiza el caudaloso manantial de los Ojos de Luchena, que en realidad es una galería de varios cientos de metros de longitud que sigue el cauce del río y cuya salida se encuentra a 575 m s.n.m.

El manantial de los Ojos de Luchena es el principal punto de descarga de un extenso acuífero con una superficie de afloramientos del orden de 100 km². Su caudal medio fue de 212 l/s en el periodo 2008/09-2011/12; el agua es ligeramente termal, con una temperatura variable entre 21 y 24°C, lo que indica que ha circulado a profundidades altas y su surgencia está asociada a flujos verticales ascendentes.

La Cueva de Luchena se sitúa también en esta zona a una cota de 666 m. La entrada a la cueva se abre a 86 m por encima del cauce del río. Se trata de una boca redondeada que ha sido abierta por retroceso erosivo de las laderas (Figs. 3 y 5A). Este hecho es evidente, pues ni siquiera constituye el punto más elevado de la cueva, ya que una parte de sus galerías se desarrollan a cotas superiores. El entorno geológico en el que se ubica está caracterizado por la existencia de una falla, que separa los carbonatos jurásicos de margas y margocalizas cretácicas y terciarias formando una barrera de baja permeabilidad (Fig. 4). Las galerías se adaptan, a grandes rasgos, a las superficies de estratificación, inclinadas hacia el E del orden de 60-70°, si bien se pueden

observar dos niveles con desarrollo de galerías horizontales situados a cotas en torno a 650 m el nivel superior y a 635 m el inferior.

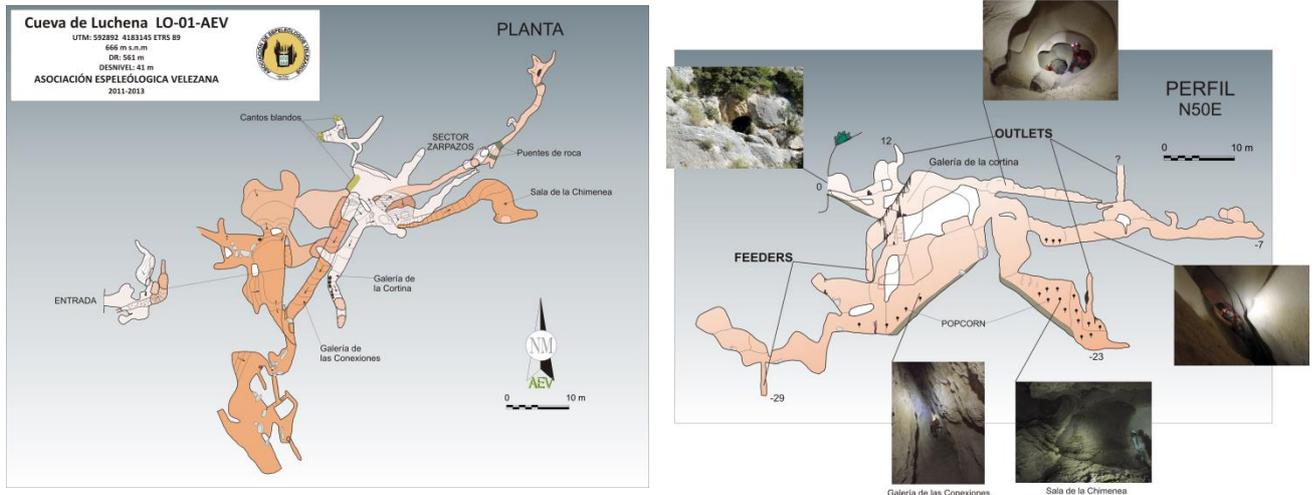


Figura 3. Planta y perfil de la Cueva de Luchena

En la figura 4 se muestra un esquema interpretativo sobre las condiciones hidrogeológicas que favorecieron la formación de la cavidad. Los flujos regionales que circulan por el acuífero adquieren componentes verticales al alcanzar la barrera de baja permeabilidad provocada por la presencia de las margas y margocalizas, que constituye el límite lateral del acuífero. Al iniciar su ascenso hacia la superficie el agua, cargada en CO₂ disuelto, se enfría lo que incrementa su agresividad y favorece la disolución de la roca al penetrar por las fisuras y superficies de estratificación. Las diferencias de densidad provocadas por variables geoquímicas o por contrastes térmicos generan corrientes convectivas (Klimchouk, 2007) que dan lugar a características morfologías de disolución en las paredes, a la génesis de galerías coalescentes y a la presencia de morfologías de techo por acumulación de burbujas de gas o por flujos agresivos ascendentes (Fig. 5C, D, F, G). La agresividad del agua también ha podido estar favorecida por mezclas con agua de infiltración meteórica, más fría y oxigenada, cerca del punto de surgencia.

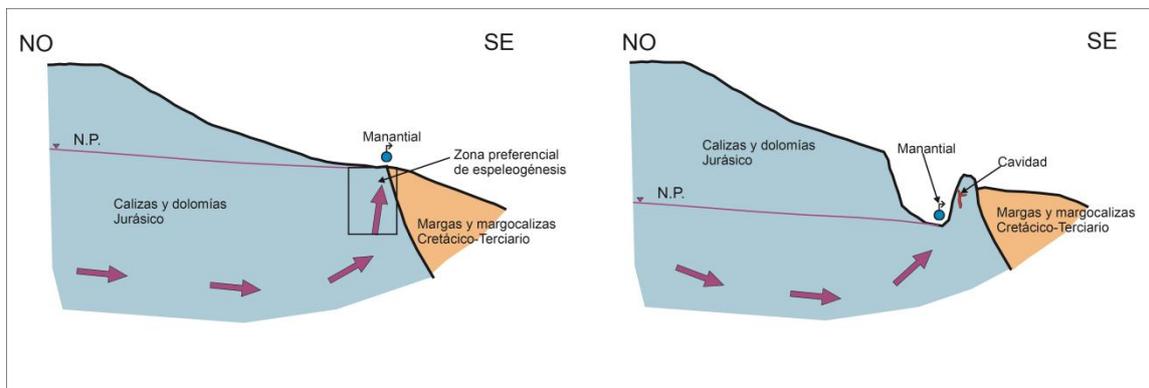


Figura 4. A la izquierda se esquematiza el contexto geológico e hidrogeológico en el que podría haberse generado la cueva de Luchena. El esquema de la derecha muestra la situación actual. Las flechas moradas indican las líneas de flujo regionales asociadas al acuífero Pericay-Luchena.

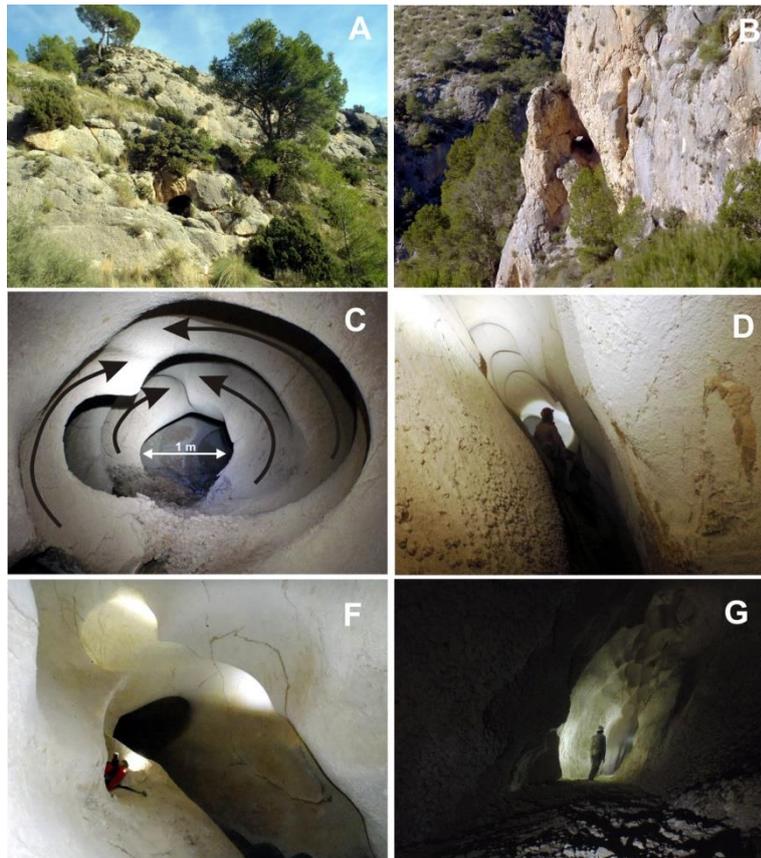


Figura 5. (A) Conducto de entrada a la cavidad. (B) Conducto kárstico de origen hipogénico desmantelado en las paredes del cañón de Luchena. (C) Canal de convección. (D) Cadena de cúpulas ascendentes (rising chain of cupolas). (E) Conductos colalescentes conectados (rising wall channel) y tabiques (partitions) (F) Mega-scallops con paredes recubiertas de popcorn en las galerías inferiores.

Las cuevas del Cabezo de la Jara

El Cabezo de la Jara se sitúa en el límite suroriental de la Comarca de los Vélez con la provincia de Murcia (Figs. 1 y 6). Se trata de un cerro formado por carbonatos de edad Triásico medio-superior del dominio geológico Alpujarride, incluido en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. Su vértice alcanza los 1247 m de cota y en él confluyen los términos de Vélez Rubio, Huércal Overa y Puerto Lumbreras. Se conocen cuatro cavidades principales, dos en el término de Vélez Rubio y las de mayores dimensiones en el de Puerto Lumbreras. Las bocas de entradas a todas ellas están situadas a cotas similares (entre 1087 y 1125 m).

Las cavidades situadas en Puerto Lumbreras se denominan la Cueva del Cabezo de la Jara y la Sima de la Tinaja, sus bocas se encuentran a sólo 40 m de distancia, en una loma de la ladera oriental (Fig. 6). A primera vista se pueden apreciar los signos de disolución de la roca en ambas cavidades, pues las bocas son circulares, con las típicas paredes curvas de las cuevas hipogénicas (Fig. 8A).

La cueva del Cabezo de la Jara presenta un desarrollo total de 450 m con un desnivel de 36 m. La planta se extiende desde el SE hacia el NO y las galerías horizontales se adaptan bien a las juntas de estratificación, lo que sugiere que fueron vías preferenciales de circulación del agua durante la génesis de la cavidad. Las galerías aparecen conectadas por pozos verticales y las chimeneas y simas son numerosas (Fig. 7).

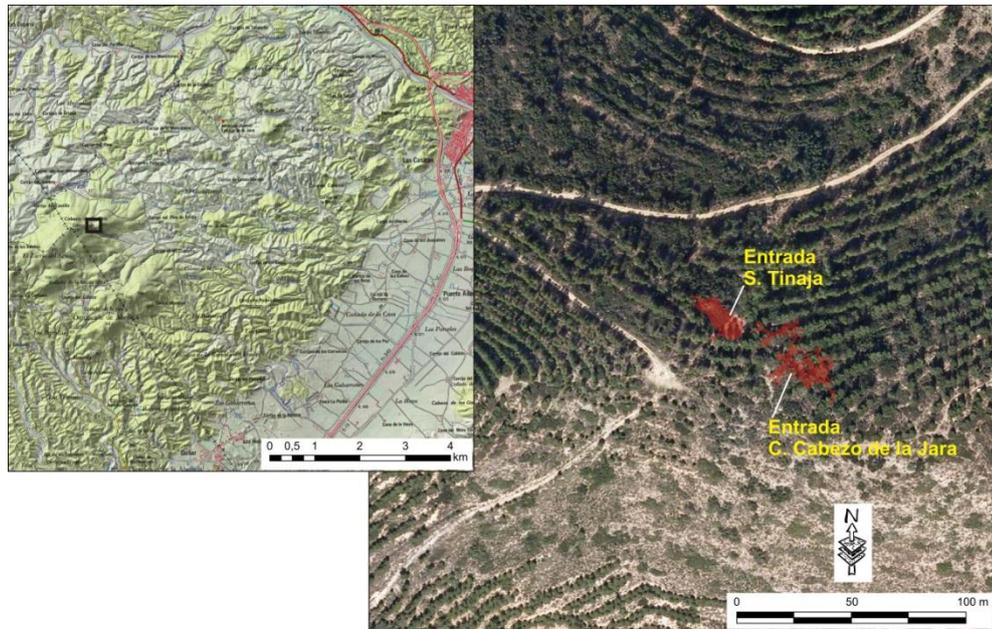


Figura 6. Situación geográfica de la Cueva del Cabezo de la Jara y de la Sima de la Tinaja, en color rojo aparece la planta de las cavidades proyectada sobre la ortofoto del IGN. Los mapas de situación han sido tomados de IBERPIX.

Presenta, a grandes rasgos, tres niveles; el nivel intermedio tiene un trazado laberíntico, que caracteriza muchas cuevas hipogénicas, y paredes en las que la corrosión y la disolución química de la roca es evidente. El perfil topográfico de la cueva muestra la presencia de chimeneas de varios metros de longitud (*outlets*) que se interpretan como zonas de salida del agua ascendente hacia los puntos de surgencia (manantiales) (Figs. 7 y 8A y C), y al menos cuatro simas que serían puntos de entrada del agua agresiva a la cavidad (*feeders*) (Figs. 7 y 8D).

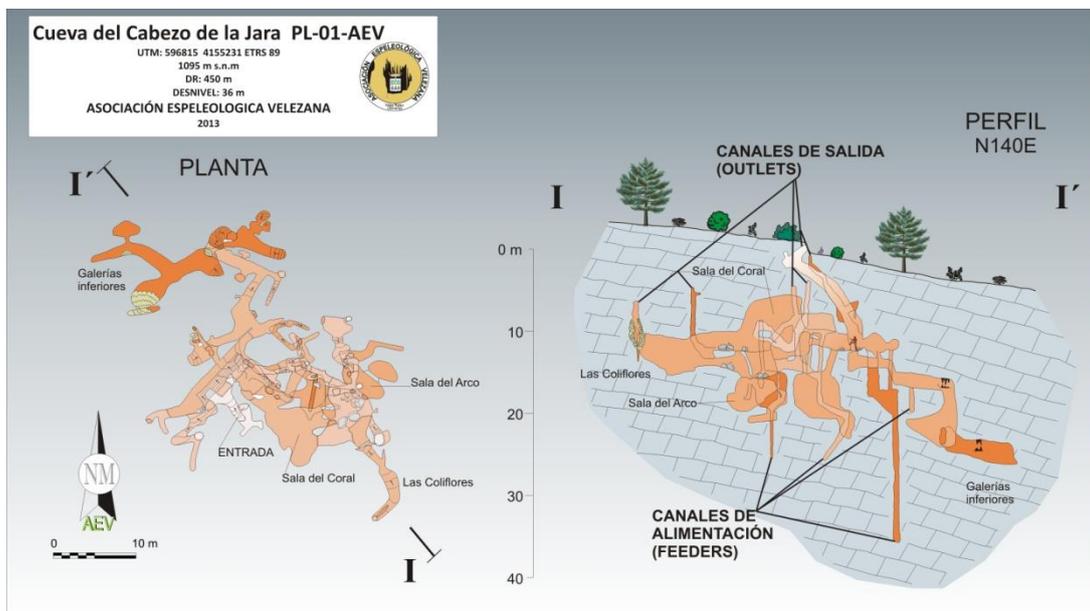


Figura 7. Planta y perfil de la Cueva del Cabezo de la Jara

Sobreimpuesta a esta morfología aparecen formaciones coraloides con aspecto de coliflores que recubren buena parte de las paredes (*popcorn* en la literatura anglosajona). Estas formaciones suelen generarse por capilaridad y evaporación en zonas de rezumes de agua, con la cueva ya

seca o semiseca y con el nivel freático por debajo de la cavidad (Figs 8B, E y F). El rasgo más tardío, que puede cubrir las paredes lisas o recubiertas por coraloides, son las coladas, estalactitas y estalagmitas, que en algunas zonas se observan todavía en plena formación (Fig. 8F).

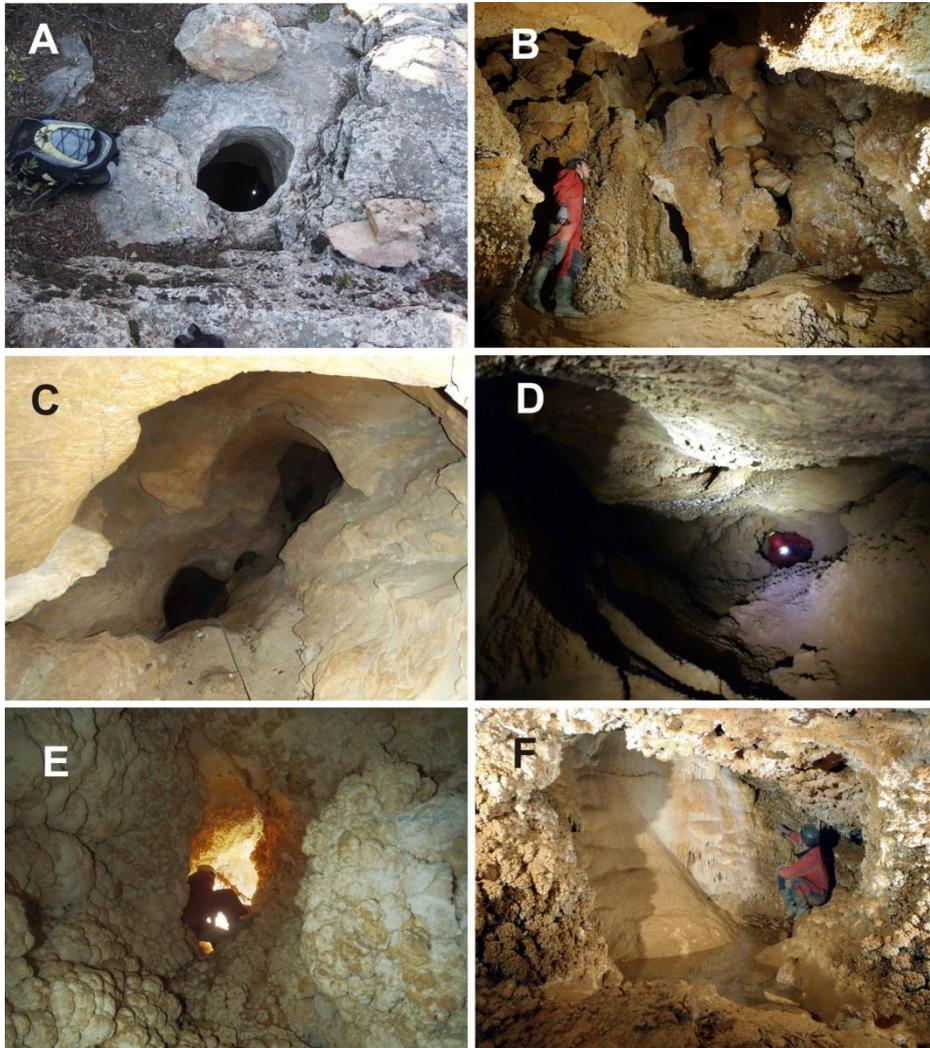


Figura 8. A Boca de entrada a la Sima de la Tinaja con morfología de outlets. B Paredes afectadas por disolución hipogénica en la Sala del Coral. C Pozo de acceso a la Cueva del Cabezo de la Jara que es un doble canal de salida. D Canal de alimentación en la Sala de los Arcos. E Las coliflores, espeleotemas coraloides desarrollados en la base de un canal de alimentación. F Galerías inferiores, coraloides recubiertos por coladas vadasas.

La sima de la Tinaja debe su nombre al parecido de su entrada con la boca de las vasijas de barro utilizadas para guardar aceite, vino o cereal. Se trata de un pequeño pozo, de algo menos de medio metro de diámetro y unos 4,5 m de profundidad, cuyo descenso debe hacerse asegurado con una cuerda. El pozo desemboca en una sala alargada desde el SE hacia el NO de 25 m de longitud y unos 10 m de ancho (González-Ramón, 2015).

Actualmente las cuatro cuevas principales están en torno a 1100 m de altitud, con el nivel freático en el acuífero a unos 250 m de profundidad desde sus bocas. Esto es un claro indicio de la antigüedad de su génesis y de la rápida evolución del terreno en el que están. El Cabezo de la Jara se encuentra en el bloque levantado de la Falla de Alhama, cuya traza está a unos escasos

4 km de distancia. Soler *et al.* (2003) evaluaron un movimiento vertical para este bloque de entre 0,16 y 0,2 mm/año para el Pleistoceno inferior, y aún mayor, de 0,6 mm/año para el Pleistoceno medio. Esto remontaría, como mínimo, hasta el final del Plioceno el momento en que la cavidad se encontraba completamente inundada de agua. Además, para la formación de estas cuevas tienen que existir lentos flujos de aguas ascendentes, que solo pueden generarse con los carbonatos recubiertos por una formación geológica de baja permeabilidad, que posibilita que el agua esté sometida a presión, saturando todo el acuífero, y afloramientos de carbonatos a mayor cota, por donde el acuífero se recargaría. Esta formación de baja permeabilidad tuvo que estar compuesta por filitas grises azuladas, que fueron erosionadas conforme el cerro se fue levantando, y actualmente pueden verse orlando los bordes del afloramiento de carbonatos.

La Sima de Almedricos o Peñas Blancas

Se localiza en la Sierra de Enmedio, en el término municipal de Lorca (Murcia) entre Puerto Lumbreras y Pulpí (Figs. 1 y 9) cerca de la población de Almedricos. La alineación montañosa se extiende desde el SO hacia el NE justo en medio de la denominada Depresión o Cubeta de Pulpí, rodeada de los materiales terciarios y cuaternarios que rellenan esta depresión y separa los corredores de Pulpí, al E, y Puerto Lumbreras, al O. La cavidad se localiza en la cima de un pequeño cerro formado por mármoles dolomíticos, en la zona SO de la sierra a una cota de 493 m.

La entrada es una sima situada junto a una trinchera de mina de 10 m de longitud excavada en dirección N12E (Fig. 10). La cavidad se extiende hacia el S a partir de un pozo de 18 m de profundidad desde donde parte una rampa descendente sobre una amplia galería que sigue una veta de mineral (Fig. 11A). En líneas generales, la cavidad está formada por salas de considerable tamaño, compartimentadas por la presencia de un gran desarrollo de espeleotemas vadosos, y varias galerías horizontales redondeadas con tipologías freáticas parcialmente rellenas de yeso microcristalino. También las salas presentan el aspecto típico redondeado de las cavidades freáticas. Sin embargo, el rasgo más característico es la presencia de numerosos depósitos de yeso que aparecen recubriendo suelos de salas y galerías, aunque también existe yeso en cortezas de reemplazamiento en algunas paredes, como la sima de entrada a la cavidad, o relleno de huecos en forma de megacrístales, como en la Galería de Cristal (Fig. 11C).

La abundante presencia de yesos microcristalinos pone de manifiesto la existencia de procesos espeleogénéticos relacionados con la sustitución del carbonato de la roca de caja, en techos y paredes, por yeso, como consecuencia de la generación de ácido sulfúrico. Esto pudo ocurrir por dos vías diferentes: (1) oxidación de gas sulfhídrico procedente de la disolución de yesos triásicos y posterior reducción del sulfato disuelto; (2) oxidación de sulfuros metálicos. Ambos procesos podrían haber ocurrido puesto que no son excluyentes. La presencia de yeso sedimentario primario en la base de la formación carbonatada hace que el primer proceso no pueda ser descartado. Por otra parte, el estudio en lámina delgada de las mineralizaciones, ha puesto de manifiesto la presencia de oxi-hidróxidos de hierro con huecos en los que hay yeso (González Ramón *et al.*, 2016), lo que apunta a que el segundo proceso es uno de los mecanismos espeleogénéticos formadores de la cavidad.

El crecimiento de la cavidad debió comenzar bajo nivel freático, con el punto de surgencia de agua subterránea en el entorno de la actual entrada, que debía situarse cerca de la línea costera. El levantamiento progresivo de la sierra, la retirada de la línea de costa y los procesos erosivos provocaron descensos en el nivel freático y una mayor recarga de aguas recién infiltradas en la

superficie de la cueva. En medios subaéreos, con aguas oxidantes y liberación de gas sulfhídrico se produciría la oxidación de los sulfuros metálicos y la formación de nuevos minerales (siderita, limonita, hematites...) con la generación de cortezas de yeso.

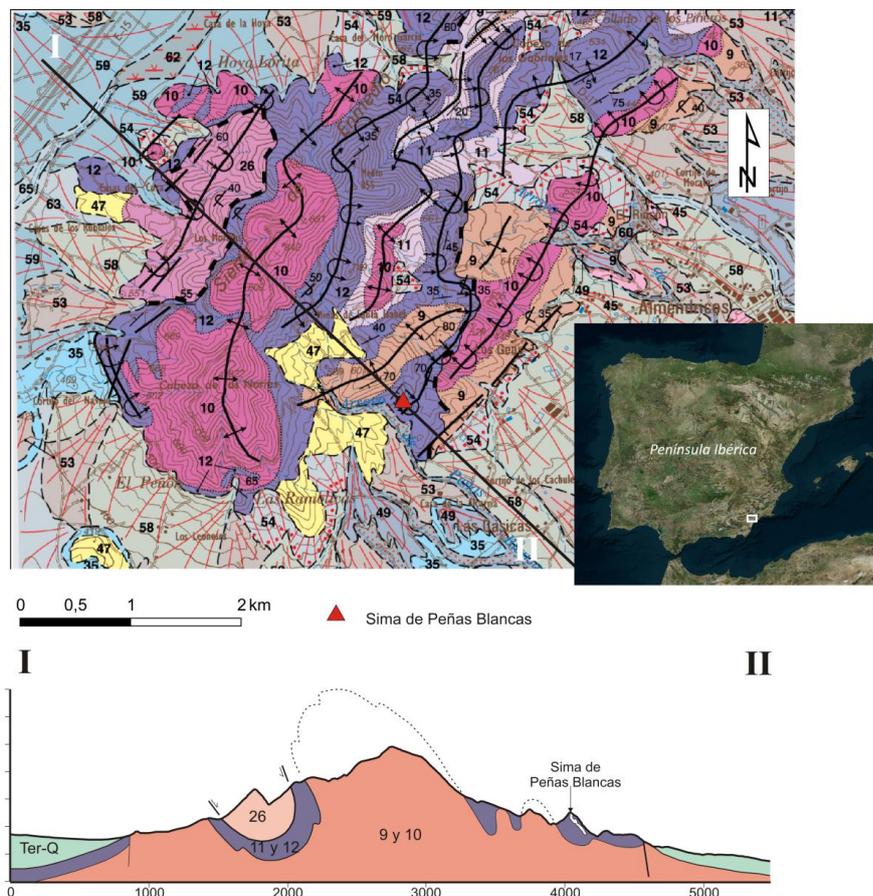


Figura 9. Mapa geológico de la Sierra de Enmedio en la zona donde se encuentra la Sima de Peñas Blancas y corte geológico con situación de la cavidad. Mapa modificado de Booth-Rea y Bardají (2013). 9 y 10 filitas, cuarcitas, metabasitas, yesos y pizarras, Permo-Triás; 11 y 12 dolomías, calizas, pizarras y mármoles, Triásico; 26 cuarcitas, filitas y metaconglomerados, Permo-Triás Maláguide. Imagen de satélite tomada de Bing Maps.

El reemplazamiento del carbonato por el yeso ocupa un mayor volumen, como consecuencia, las cortezas formadas caen al suelo, y pueden englobar cantos de otra naturaleza. Sin embargo las cortezas subacuosa tiene una textura distinta más homogénea, en la que a veces puede preservarse la textura original de los carbonatos; esto es más difícil que ocurra en dolomitas, pues el volumen del yeso es aún mayor que en calizas (Palmer y Palmer, 2000). Los depósitos de yeso generados en la interfaz de mezcla de aguas reducidas con H_2S y aguas meteóricas oxigenadas son usualmente blancos y tienen una estructura microcristalina (Forti *et al.*, 2002). En general se trata de acumulación de depósitos de color blanco con laminaciones planares a escala milimétrica, formados por finos cristales de yeso y de varios metros de espesor (Fig. 11D).

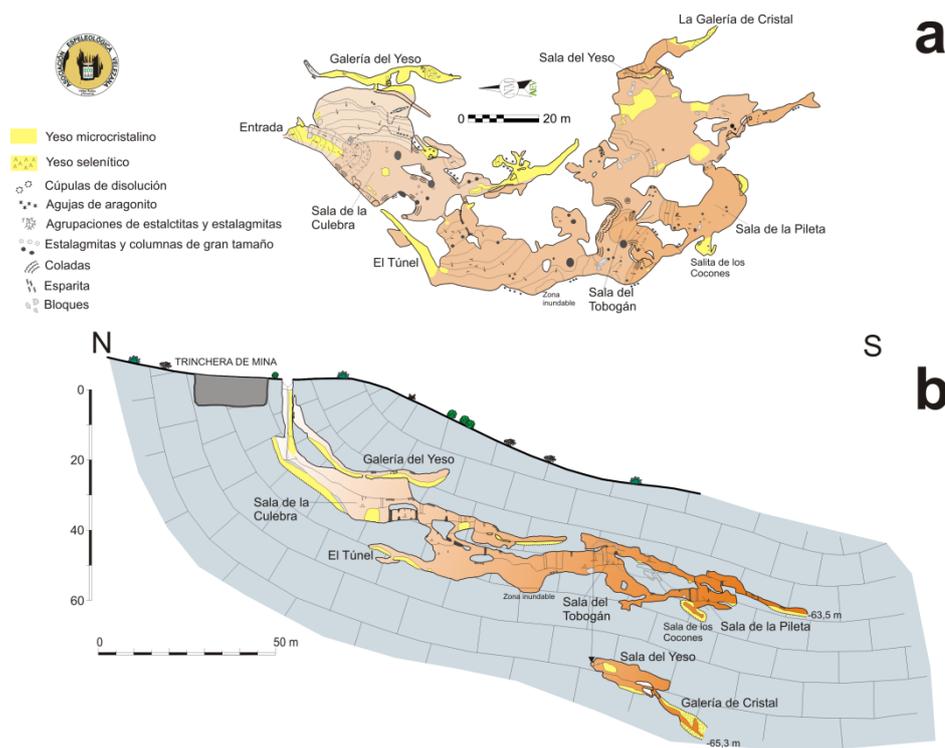


Figura 10. Mapa topográfico de la Sima de Peñas Blanca. (a) Planta y (b) perfil en dirección N-S.

Galdenzi y Maruoka (2003) interpretan los depósitos de yeso de varios metros de espesor como consecuencia del desprendimiento y el flujo fangoso de yesos (glaciares de yesos) microcristalinos generados en paredes y techos de la cavidad como cortezas de reemplazamiento, en zonas expuesta a intensos vapores de H_2S .

Se han localizado también dos zonas en las que aparecen yesos seliníticos. formados por grandes cristales transparentes de gran pureza. La primera, que denominamos “la Bola de Cristal” se localiza cerca de la base de la sima de la entrada en una zona en la que el techo de la cavidad se ha desgajado dejando al descubierto un hueco completamente relleno de megacristales de yeso. La masa de cristales, posteriormente se desprendió y quedó encajada entre el techo y el suelo de la cavidad (Fig. 11E). La segunda se localiza en lo que posiblemente fue uno de los canales de alimentación primarios (feeder) durante la génesis de la cueva, en una de las zonas más profundas. Se trata de la Galería de Cristal y es una zona de difícil acceso. Se observa una transición entre yesos microcristalinos y seleníticos hasta que el hueco de roca quedó completamente relleno de grandes megacristales de gran pureza (Fig. 11C). Posteriormente, se generó una estrecha galería que disolvió parte de estos cristales de tal forma que las paredes de la galería están formadas por estos grandes cristales de yeso transparente.

Las agujas de aragonito son también muy abundantes también en la cavidad y se atribuyen a zonas con rezumes en las que hay una fuerte evaporación. Se producen en zonas enriquecidas en magnesio (dolomías) y en estroncio; la alta temperatura también lo favorece pero no es esencial (Davis, 2012).

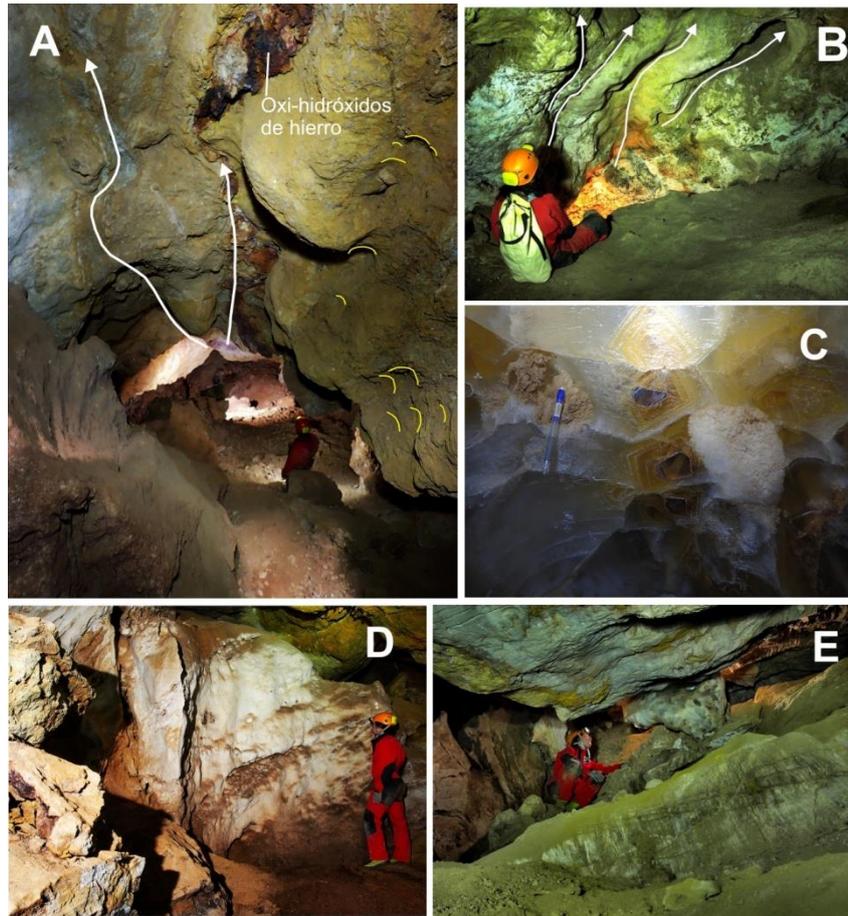


Figura 11. A Rampa de acceso a la Sala de la Culebra, en el techo se observa la veta de mineral y dos canales de techo, en la pared derecha megaescallops. B Canal de alimentación o feeder y marcas de canales de salida en la pared. C Megacrystalos de yeso transparente en la Galería de Cristal. D Depósitos de yeso microcristalino de unos 3 m de espesor en la Sala del Yeso. E Masa de megacrystalos de yeso desprendida que rellenaba un hueco en el techo de la cavidad conocida como la Bola de Cristal.

Referencias

- Audra, P; Gázquez, F.; Rull, F.; Bigot, J.Y; Camus, H. 2013. Hypogene sulfuric acid speleogenesis and rare sulfate minerals (fibroferrite, jarosite subgroup) Baume Galiniere cave (Alpes-de-Haute-Provence, France). *16th International Congress of Speleology. Proceedings* Vol 3: 425-431.
- Davis, G.D. 2012. Helictites and related speleothems. In: White and Culver (Eds.), *Encyclopedia of caves*. Second Edition: 379-383.
- Egemeier, S.J., 1981. Cavern development by thermal waters. *NSS Bull.* 43: 31–51.
- Forti, P; Galdenzi, S.; Sarbu, S.M. 2002. The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects. *Continental Shelf Research*, 22: 2373-2386.
- Galdenzi S, Maruoka T. 2003. Gypsum deposits in the Frasassi Caves, central Italy. *Journal of Cave and Karst Studies* 65(2): 111–125
- García-Guinea, J., Morales, S., Delgado, A., Recio, C. y Calaforra, J.M., 2002. Formation of gigantic gypsum crystals. *Journal of the Geological Society*, 159: 347-350.
- Hill, C.A., 1987. *Geology of Carlsbad cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas*. New Mex. Bureau of Mineral Resources. Mem. 117: 1–150.

- González-Ramón, A. 2015. *Las cuevas de los Vélez y su entorno. Un karst diferente*. Centro de Estudios Velezanos. 144 pp.
- González-Ramón, A., Segura-Herrera, A., Sánchez-Díaz, T. J., Ignatenko, A., Gea-López, R. D., Pérez-Martínez, P., Belmonte-Jiménez, G.; Carra-Vélez, R. 2014. La cueva de Luchena, un ejemplo de cavidad hipogénica relacionada con descargas de aguas subterráneas en el acuífero Pericay-Luchena (Lorca, Murcia). En: J.M. Calaforra y J.J. Durán (Eds.), I Congreso Iberoamericano y V Congreso Español sobre Cuevas Turísticas. Iberoamérica Subterránea. Aracena (Huelva). Asociación de Cuevas Turísticas Españolas: 319-329.
- González-Ramón, A., Fernández-Leiva, C., Segura-Herrero, A., Sánchez-Díaz, T., Ignatenko, A., García-Benzal, V., Pérez Martínez P.; Gea López R.D.; Llamas Sánchez J.; Quesada, I. 2016. Espeleogénesis por ácido sulfúrico en el SE de España. Caracterización preliminar de la sima de Peñas Blancas (Lorca-Murcia). 2016 En: B. Andreo y J. J. Durán (Eds.), El karst y el hombre: las cuevas como Patrimonio Mundial. Nerja (Málaga). Asociación de Cuevas Turísticas Españolas: 267-282.
- González-Ramón, A.; Martos-Rosillo, S.; Ruiz-Constan, A.; Pedrera, A.; Galindo-Zaldivar, J.; Martínez Martos, M. En prensa. Multidisciplinary Hydrogeological Study of a Folded Karst Aquifer Under Intensive Exploitation: The Bedmar-Jódar Aquifer (Southern Spain). EuroKarst 2016, Neuchâtel.
- Jagnow D.H., Hill C.A., Davis D.G., DuChene H. R. Cunningham K. I., Northup D. E., Queen J M. 2000. History of sulfuric acid theory of speleogenesis in the Guadalupe Mountains, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies* 62(2): 54-59.
- Hill, C.A. 1987. Geology of Carlsbad Cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas. New Mexico. *Bureau of Mines and Mineral Resources*, 117.
- Klimchouk, A.B., 2007. *Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective*. Special Paper nº 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, NM, 106 pp. Second edition 2011.
- Palmer A., Palmer, M. 2000. Hydrochemical interpretation of cave patterns in the Guadalupe Mountains, New Mexico. *Journal of Cave and Karst Studies* 62(2), 91-108.
- Soler, R.; Masana, E.; Santanach, P. 2003. Evidencias geomorfológicas y estructurales del levantamiento tectónico reciente debido al movimiento inverso de la terminación sudoccidental de la Falla de Alhama de Murcia (Cordillera Bética Oriental). *Rev. Soc. Geol. España*, 16(2): 123-134.

EVIDENCIAS MORFOLOGICAS DE CARÁCTER HIPOGENICAS EN LA SIMA DEL CAMPILLO, TOUS (VALENCIA).

Andrés Ros Vivancos, José Luis Llamusí Latorre.

Centro de Estudios de la Naturaleza y el Mar cenm@cenm.es

INTRODUCCION

En una reciente visita realizada por un equipo del CENM-naturaleza a la sima del Campillo, Tous-Valencia se pudieron apreciar en una parte de la cavidad, un techo original de antes del colapso actual de la gran sala, estos restos se limitan a un plano horizontal de techo de unos 5 metros de longitud formando un ángulo próximo a los 90º con la pared. En ellos aparecen marcas visibles de canales de burbujas de un posible origen hipogénico.

LA SIMA DEL CAMPILLO

El acceso a la sima se realiza a través de una entrada de hundimiento situada en el techo foto 1, la cavidad presenta una gran bóveda de 225x100 metros y 70 metros de altura, la disposición de la estratigrafía es horizontal foto 2, los estratos han ido colapsando hasta formar la actual sala, los restos de estos bloques caídos se pueden ver en el suelo aunque el volumen de materiales ha ido desapareciendo o enmascarándose con restos caídos de la superficie por la boca de acceso, foto 3, hay numerosos espeleotemas en forma de estalagmitas tipo plato y palmeras, algunos de los ejemplares alcanzan hasta 30 m. de altura, foto 4. La cavidad es muy conocida y visitada frecuentemente por grupos de espeleólogos, existen diversas notas descriptivas sobre sus características técnicas en una reseña del (G.E. Katiuskas, 2012) aparece un plano de la misma. La sima alberga una colonia de murciélagos durante el invierno por lo están restringidas las visitas desde el 15 de Octubre al 15 de Marzo (Federació D'Espeleogia de la Comunitat Valenciana, 2015).



Foto 1. entrada acceso sima Campillo



Foto 2 disposición de la estratigrafía interior y forma actual de la gran bóveda.

La cavidad presenta una única sala de grandes proporciones, actualmente la de mayor volumen de la comunidad valenciana, los estratos de la roca se presentan horizontales, estos han ido colapsando hasta dejar una bóveda en forma de arco de medio punto fotografía 2.

MORFOLOGIAS HIPOGENICAS

Los procesos de colapsos han ido modificando las paredes originales y resulta difícil ver restos de la cavidad inicial, si bien en unos de los extremos de la cavidad (ver plano), hemos podido constatar restos de un antiguo techo original, el tramo existente forma plano en el techo con un ángulo de 90º con respecto a la pared y tiene una longitud de unos 5 metros, la parte frontal se encuentra cortada por el desprendimiento de la continuidad del techo, este frente se encuentra actualmente con algunos espeleotemas fruto de filtraciones provenientes de la superficie fotos 5 y 6.

Los restos de este antiguo techo presentan varios canales de burbujas, alguno de ellos ramificado y trenzado alcanzado unos 5 metros en su recorrido existente, foto 5, estos canales se inician a partir de "feeders laterales" o "toberas", fotos 6 y 7, la profundidad y anchura es de varios centímetros, también se parecían restos de pequeñas cúpulas foto 7. Estos canales son descritos por diversos autores, pueden ser llamados semitubos, una descripción acerca de estos (Klimchouk, 2007) *"interpretados comúnmente como características paragenéticas, son muy típicos de las cuevas hipogénicas que nunca han sido llenadas con sedimentos hasta el nivel del techo, Su relación con los feeders, se suelen iniciar a través de estos canales, sugieren un origen debido a los efectos de la flotabilidad, las burbujas de CO2 recorren un camino ascendente siempre por el mismo lugar creando estos canales. Pueden llegar a crear grandes colgantes en pasajes grandes o salas donde haya múltiples canales. El relieve vertical entre colgantes y los canales adyacentes pueden alcanzar varios metros, y tales colgantes a menudo pueden romperse cuando se drena la cueva y se pierde el apoyo flotante creando grandes salas, este ejemplo se puede ver en cavidades del oeste de Ucrania y en EE. UU en Carlsbad Caven, Nuevo México."*

En sima del Campillo, los canales se encuentran relacionados con *feeders laterales*, a partir de estos se inician los canales formando ramificaciones y formas curvas en los restos que quedan, la altura en la que se encuentra pueden haberse desarrollado a un nivel superior a posibles rellenos anteriores, en esta zona, no se aprecian marcas de restos de niveles ni sedimentos cercanos. Las características de “gran sala”, puede tener como parte de sus orígenes, la pérdida del apoyo flotante y colapsos posteriores, en el suelo existen bloques del techo que pueden tener este origen, aunque actualmente hay una abundante capa de sedimento, proveniente en su mayor parte del exterior a través de la boca de acceso ya que en su forma externa es como un cono.



Foto 3. Bloques en suelo con recubrimiento de espeleotemas, procesos de movimiento.



Foto 4. Espeleotemas en suelo cavidad, algunos han sido medidos con 30 m. de altura

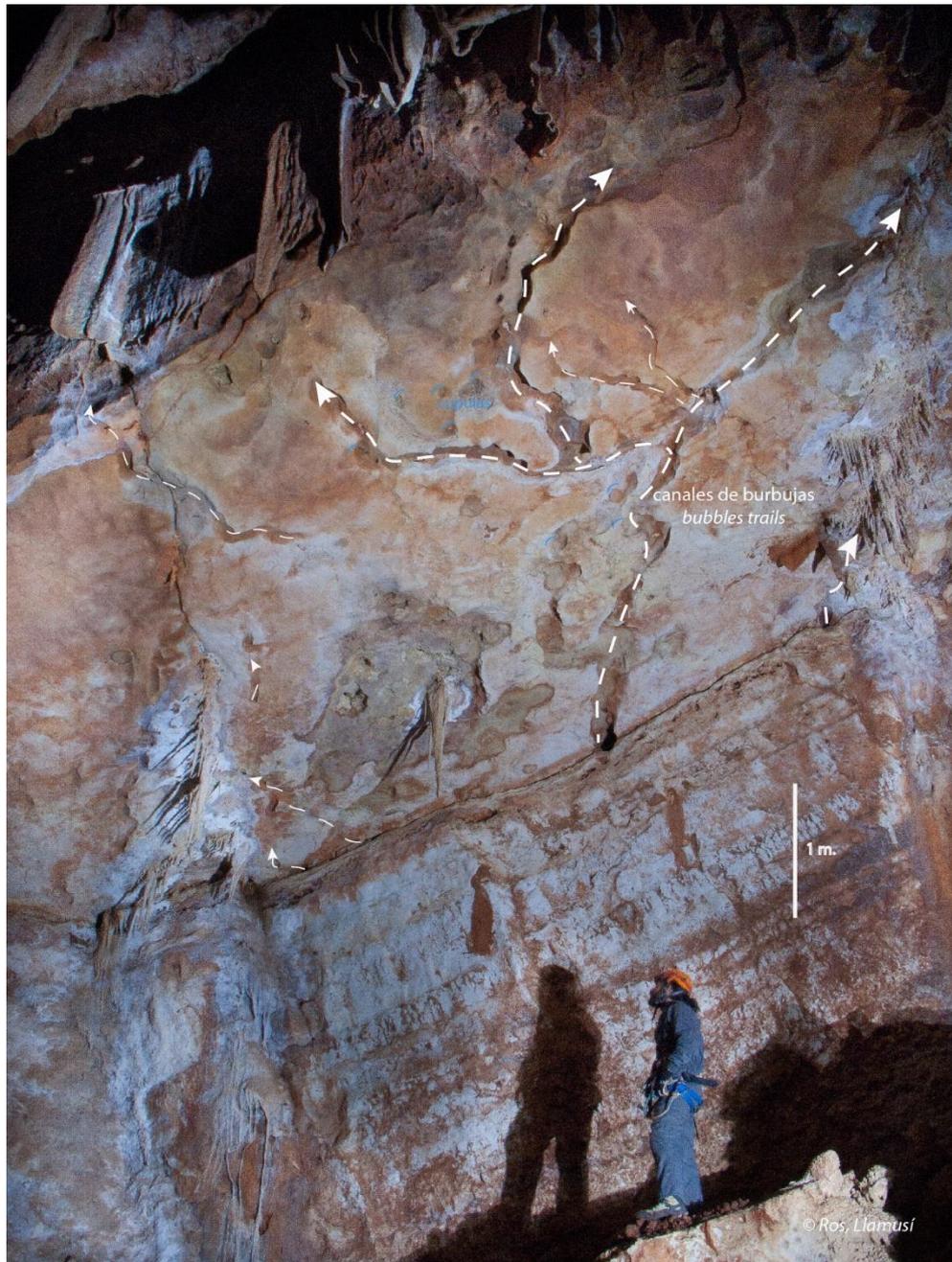


Foto 5. Techo con "canales de burbujas"

La formación de estos canales o "*bubble trails*" es debida a la desgasificación del dióxido de carbono, u otros gases. Durante el ascenso del agua en la zona freática, el agua degrada el CO₂, típicamente a 15-30 m de profundidad al máximo. Las trayectorias de las burbujas producen estos canales, por la corrosión continuada a lo largo de estas rutas inmutables (Audra, 2009).

Los canales de burbujas son características subacuáticas en las cuevas carbonatadas, Audra describe estos procesos en la cueva de Adaouste Francia (Audra, 2009), por lo que es uno de los indicadores de una zona que estuvo totalmente confinada por el agua. Las burbujas de dióxido de carbono no corroen por sí mismas, sino que aumentan localmente la agresividad con otros agentes y el agua adyacente. Están presentes en cuevas carbónicas (grotta Giusti, Italia), en cuevas sulfúricas (grotte

Frasassi, Italia); También se conocen en algunas cuevas inactivas (grotte de l'Adaouste, Francia, Ferenc-hegy barlang, Hungría), (Audra, 2009).

Otros ejemplos notables los encontramos en la cueva de Pas de Vallgornera, lo canales de burbujas son muy frecuentes, aunque los observados suelen ser de menor tamaño, esto puede deberse a una acción menos continuada en el tiempo, quedando estos menos marcados y más pequeños, suelen verse en galerías y a partir de *feeders laterales* (Merino, 2010, 2011), de forma distinta a la sima del Campillo donde el proceso al ser más largos y profundos puede ser debido a una acción más prolongada en el tiempo, recientes investigaciones aún sin finalizar nos ha permitido ver estas burbujas de desgasificación en acción en la Grotte du Chameau, Marruecos.

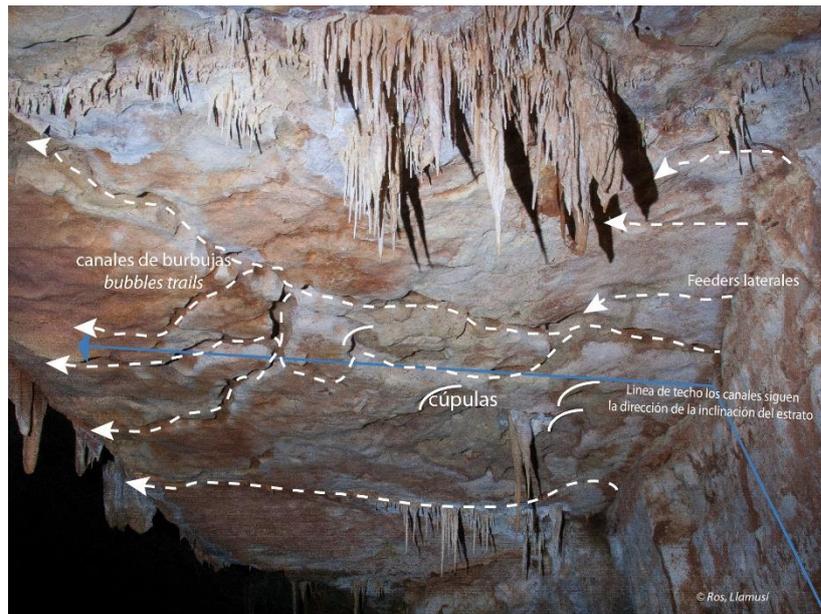


Foto 6. Parte del techo con "canales de burbujas" , "feeders laterales" y pequeñas cúpulas

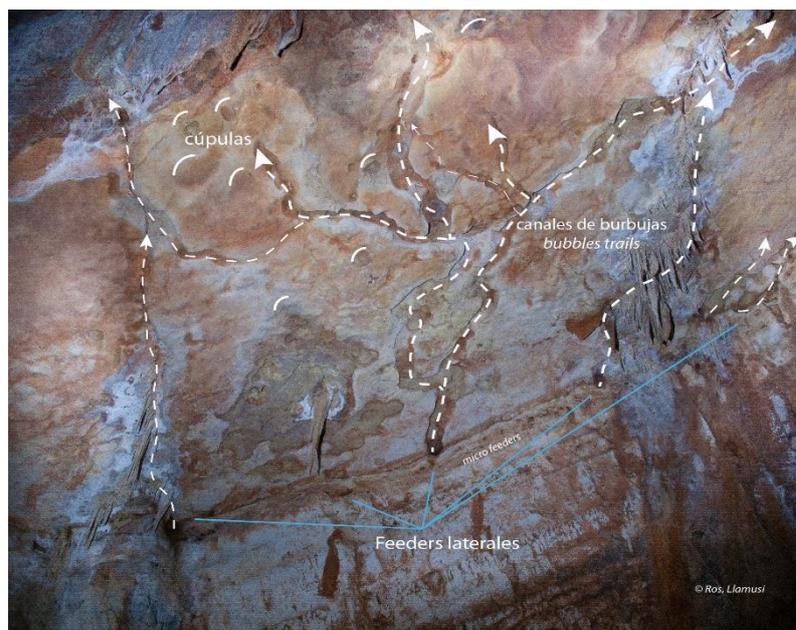
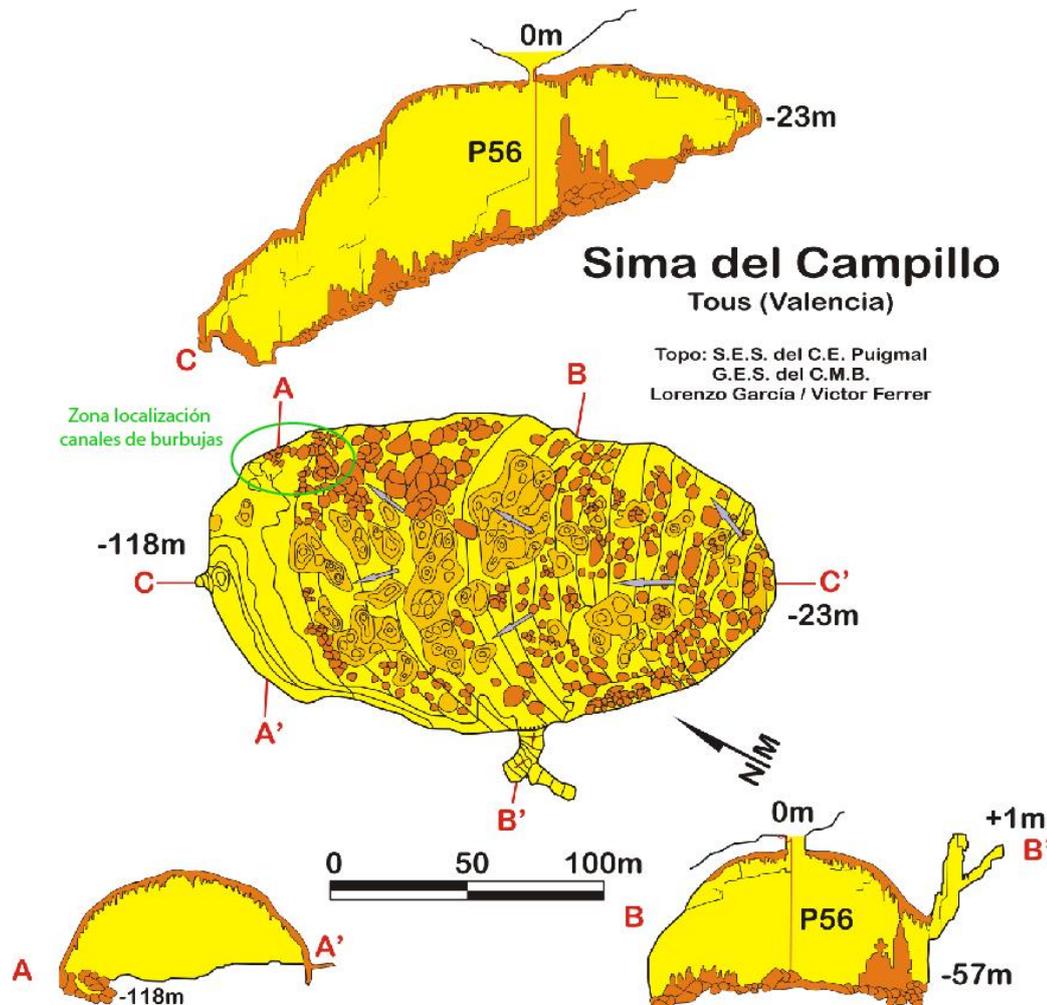


Foto 7. Destalle de "canales de burbujas" , "feeders laterales" y cúpulas

Discusión:

La presencia de estos canales asociados a feeders laterales, junto con pequeñas cúpulas marcan unos indicadores de procesos hipogénicos en la sima del Campillo, (Garay, 2013) atribuye un posible origen hipogénico a esta sima, una revisión más exhaustiva podría dar más detalles sobre morfologías asociadas a estos procesos. Los trabajos sobre las cuevas hipogénicas son relativamente recientes en nuestro país y están permitiendo identificar cavidades hipogénicas que siempre se consideraban como epigénicas, (Garay, 2013) realiza un recorrido por diversas cavidades valencianas identificando la presencia de indicadores hipogénicos, otros ejemplos como en la cueva de Petralona en Grecia un análisis realizado por (Lazadiris, 2009) demuestra como erróneamente se había contemplado esta cavidad como de origen meteórico cuando en realidad se trata de una cavidad hipogénica, otros trabajos llevados en cuevas de Murcia han puesto de manifiesto que la gran mayoría de las cavidades murcianas son de origen hipogénico o hidrotermal (Ros, 2014). Por ello la revisión desde una perspectiva morfológica hipogénica de las cavidades valencianas nos pueden hacer cambiar la espeleogénesis de muchas de estas.



Plano sima del Campillo (Lorenzo García/Víctor Ferrer)

BIBLIOGRAFIA

Audra P, Mocochain L, Bigot J, Nobécourt J.C., 2009 *Morphological indicators of speleogenesis: Hypogenic speleogens*. Hypogene speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins Proceedings of the conference held May 13 through 17, 2009 in Chernivtsi, Ukraine.

https://www.researchgate.net/publication/281994292_Morphological_indicators_of_speleogenesis_Hypogenic_speleogens

Audra Ph., Bigot J.Y., Mocochain, Bigot, J-Y, Nobercourt, J-C. 2009. *The association between bubble trails and folia: a morphological and sedimentary indicator of hypogenic speleogenesis by degassing, example from Adaouste Cave (Provence, France)*, International Journal of Speleology 38 Bologna Italy 38. <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=ijs>

C.E. Katiuskas, 2012, *La sima del Campillo, Tous (Valencia)* <http://clubviana.mejorforo.net/t92-cuevas-y-simas-de-levante-valencia-y-murcia-en-pdf>

Federació D'Espeleologia de la Comunitat Valenciana, 2015 " *Escrito informativo sobre el cierre de la sima del Campillo (Tous)*" nota en Web <http://www.espeleocv.com>.

Garay P. 2013 *Consideraciones sobre el karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano* Bol. de la SEDECK núm. 9

http://www.cuevascastellon.uji.es/articulos/sedeck09_cuevashipogenicas.pdf

Klimchouk A. B. 2007 *Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and morphogenetic perspective*. Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad.

http://www.speleogenesis.info/directory/karstbase/pdf/seka_pdf9378.pdf

Lazaridis G. 2009. *Petralona cave: Morphological analysis and a new perspective on its Speleogenesis*. Hypogene speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins Proceedings of the conference held May 13 through 17, 2009 in Chernivtsi, Ukraine.

https://www.academia.edu/1775869/PETRALONA_CAVE_MORPHOLOGICAL_ANALYSIS_AND_A_NEW_PERSPECTIVE_ON_ITS_SPELEOGENESIS

Merino A, Fornos J., 2010 *Los conjuntos morfológicos de flujo ascendente (Morphologic Suite of Rising Flow) en la cova des Pas de Vallgornera (Llucmajor, Mallorca)*, Endins 34

https://www.researchgate.net/publication/254493194_Los_conjuntos_morfológicos_de_flujo_ascendente_Morphologic_Suite_of_Rising_Flow_en_la_Cova_des_Pas_de_Vallgornera_Llucmajor_Mallorca

Merino A, Ginés, J., Fornos J., 2011 *Evidéncies morfològiques de processos hipogénics a cavitats de Mallorca*, Endins 35. <https://dl.dropboxusercontent.com/u/55074119/Endins/35-165-182.pdf>

Ros A., Llamusi, J.L., Sánchez J. 2014 *Cuevas hipogénicas en la Región de Murcia (España)*. Volumen I, Murcia <http://www.cenm.es/Hipogenic/CUEVAS-HIPOGENICAS-MURCIA-I-dscg.pdf>

© Textos y fotografías; A, Ros y J.L. Llamusi 2016

NUEVAS OBSERVACIONES SOBRE ESPELEOGÉNESIS HIPOGÉNICA EN CAVIDADES DEL PAÍS VALENCIANO

Policarp Garay Martín
D. Geología. Univ. de Valencia

El desarrollo, el funcionamiento y la evolución del karst vienen determinados por los flujos gravitatorios, la cinética kárstica, la estructura geológica, la anisotropía del acuífero y un variable grado de organización del drenaje subterráneo. La espeleogénesis responde a la acción, a menudo combinada, de la fracturación tectónica, la circulación vadosa y la circulación freática. Todo ello tiene cabida en lo que sería la concepción clásica del karst y de los acuíferos carbonatados, entendidos como acuíferos libres o freáticos. Sin embargo, la geomorfología de algunas cuevas no siempre es posible acoplarla y explicarla por medio de este modelo tradicional del karst. Surge entonces la necesidad de buscar modelos alternativos y, aunque hace muchos años que se conocen, es en las últimas dos décadas cuando éstos han aflorado con fuerza en torno al concepto de espeleogénesis hipogénica (Klimchouk *et al.*, 2000 y 2009), lo que ha permitido dar explicación satisfactoria a antiguos problemas hidrogeológicos y a importantes retos en materia de espeleogénesis y de comprensión de grandes sistemas cavernarios.

En el ámbito del País Valenciano, hace escasamente tres años que poníamos de relieve la existencia evidente de unas pocas cuevas de origen hipogénico entre miles de cavidades conocidas y catalogadas (Garay, 2013). Planteábamos la posibilidad de que también hubieran podido intervenir procesos hipogénicos en la formación de otras cavidades cuyas características y emplazamiento no acabábamos de entender. Tal era el caso de la Sima del Campillo, que en esta misma jornada es objeto de estudio con una interesante aportación de los compañeros Andrés Ros y José Luis Llamusí, a quienes agradezco sinceramente su invitación y estímulo para presentar las presentes notas en esta interesante I Jornadas Hypogenic Caves.

No está en nuestro ánimo aportar ahora mismo pruebas irrefutables que demuestren claramente el origen hipogénico de otras cavidades valencianas. Pero sí que pretendemos, al menos, plantear con datos y argumentos geológicos la posibilidad, cada vez más evidente de que fueran procesos hipogénicos los responsables de la formación (al menos en estados iniciales) de ciertas cavidades destacadas del karst valenciano, como es, en esta ocasión, el caso de la Sima Llenca del Serrano (muy cercana a la del Campillo) y el del Avenc de Quatretonda.

Para plantear un posible origen hipogénico partimos de que se cumplen al menos dos requisitos básicos: por una parte la presencia de formas hipogénicas, ya sea de pequeña escala (trazas en las paredes y techos) o de escala mayor (*feeders* y *outlets*, en ocasiones de dimensiones espectaculares), y por otra, la evidencia de una estructura geológica capaz de explicar la pretérita existencia de mecanismos corrosivos intensos y ligados a un acuífero confinado, a pesar de que éste ya no se encuentre funcional.

Sobre esto último debemos insistir, pues aunque hayan sido mecanismos de espeleogénesis hipogénica los responsables de la formación inicial de ciertas cavidades que presentan

morfologías hipogénicas, a menudo nos encontraremos con que estas cavidades se localizan actualmente en zona vadosa (de lo contrario difícilmente podríamos acceder a ellas). Sabemos, de hecho, que las condiciones existentes hace dos millones de años fueron muy distintas de la actual configuración orográfica, geomorfológica e hidrogeológica, como consecuencia de la profunda transformación que, con carácter general, han experimentado los relieves montañosos a lo largo del Cuaternario (Garay, 2004). Así mismo, debemos tener en cuenta la evidencia del notable desarrollo kárstico y espeleológico (cavidades colgadas) que actuó durante el Plioceno en el ámbito valenciano (Garay, 1981, 1986, 1990 y 2000).

Sima de la Llenca del Serrano y otras cavidades próximas al Campillo (Tous)

En un ranking de las mayores salas subterráneas naturales del ámbito valenciano, Josep Fernández Peris (1986) pone de manifiesto que los dos mayores volúmenes son, con gran diferencia, las salas del Campillo (300.000 m³) y la Llenca (50.000 m³). Ambas presentan una morfología de cúpula con planta ovalada y alturas de bóveda de hasta 50 m en el Campillo y unos 40 m en la Llenca. En este ranking hay otra sala mayor que la de la Llenca, la Cueva de Don Juan (60.000 m³), pero se trata de una sala muy irregular, extensa pero con escasa altura de bóveda, y cuyo origen nada tiene que ver con procesos hipogénicos, pues se desarrolla íntegramente en conglomerado calizo afectado por movimientos diferenciales, tubificación, torrencialidad y karstificación.

Tanto Campillo como Llenca del Serrano se localizan en el borde de una peculiar estructura geológica: una cubeta cerrada que en la cartografía geológica queda bien definida por un nivel guía de margas blancuecinas con escasas intercalaciones de bancos calizos, que corresponden a la llamada Formación Margas de Alarcón, con poco más de una decena de metros de potencia (FIGURA 1).

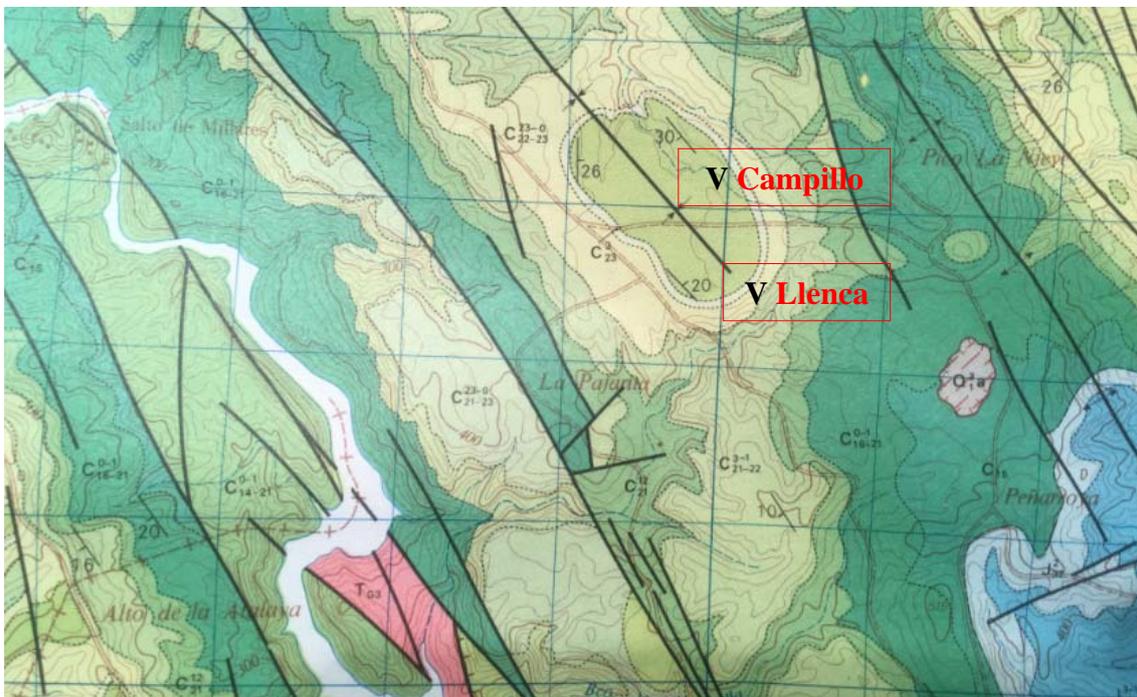


Figura 1.- Extracto del Mapa Geológico de España (IGME, 1981; hoja 746) a E. 1/50.000 con la ubicación de la simas del Campillo (V) y Llenca del Serrano (V). La primera se abre sobre el nivel de margas C₂₃³ y la segunda bajo él.

La cubeta presenta una longitud de 1.500 m, alargada en dirección NW-SE, y una anchura de unos 700 m. La margas buzan entre 25 y 30 grados hacia el interior de la estructura. Por encima de estas margas e desarrollan calizas del Santoniense, y por debajo de ellas la Formación Dolomías de la Ciudad Encantada, formada por unos 40 a 50 m de dolomías oquerosas, más o menos porosas y en ocasiones calizas. Las margas constituyen el nivel confinante bajo el cual debió producirse la karstificación hipogénica. Téngase en cuenta que la cubeta forma parte de una estructura sinclinoria de mucho más desarrollo (se prolonga hacia el oeste más allá de Dos Aguas) y cuyo límite septentrional lo forma un empinado y apretado anticlinal asimétrico (sierra del Caballón) que evidencia la existencia de una antigua estructura confinada capaz de haber generado el potencial termal y corrosivo que, en su momento, se podría haber liberado en el extremos SE de la estructura, dando así origen a la interna karstificación hipogénica que podemos observar en el lugar donde ahora se localizan las simas del Campillo, la Llenca del Serrano y todavía algún otro fenómeno, como podría ser el caso de una sima recientemente descubierta en este sector por la Unión de Espeleólogos: un rosario de tubos verticales coalescentes y alineados a lo largo de una fractura subvertical (comunicación personal de Silvino Vila y Ricardo Giménez).

En la FIGURA 2 mostramos dos de las topografías más conocidas (internet, *passim*) de la Sima Llenca del Serrano. Ambas muestran la morfología de tubos verticales claramente de tipo feeder/outlet desarrollados en torno a la gran sala.

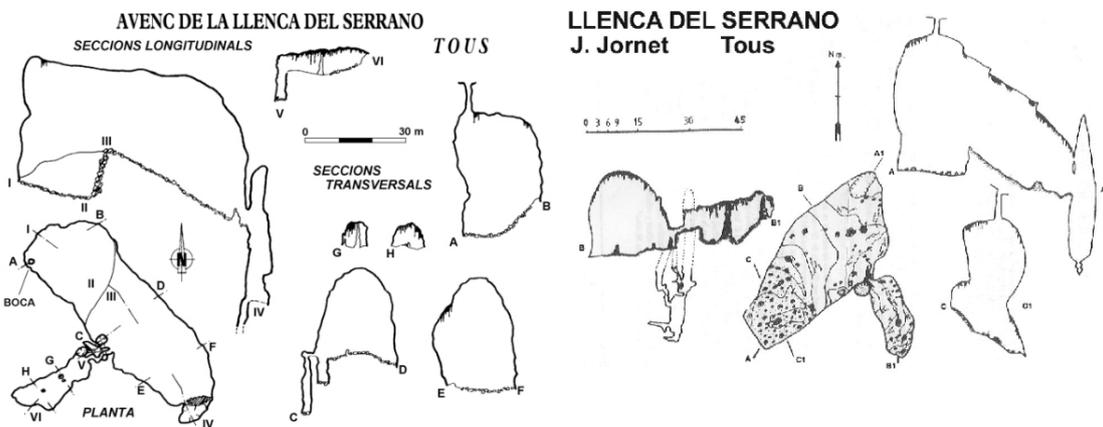


Figura 2.- Dos topografías de la Sima Llenca del Serrano, cuyos detalles “hipogénicos” se complementan y refuerzan. Así, el gran pozo del fondo (extremo SE de la gran sala) es representado en una de ellas con una morfología ligeramente rosariforme, mientras que la otra destaca su *feeder* de fondo.

Insistiendo en la presencia y entidad del nivel guía de margas blanquecinas que facilita la observación de la cubeta estructural del Campillo mostramos en la siguiente fotografía (FIGURA 3) el interior de la sala, en cuyo techo se aprecian techos planos de estratificación (debido al desprendimiento de bloques) y bajo ello los niveles de margas con calizas bien estratificadas que habrían favorecido este proceso clástico, modificando así la morfología original “hipogénica” de la sala (protosala) antes de evolucionar.

Al igual que en la Sima del Campillo, los importantes procesos clásticos y los posteriores litogénicos serían claramente la evolución de la caverna hipogénica.



Figura 3.- Fotografía de la gran sala de la Sima Llenca del Sererano, vista desde su extremo SE. Fotografía tomada de internet (ver referencia al final del artículo).

Avenc de Quatretonda

El caso del Avenc de Quatretonda ya nos llamó fuertemente la atención hace bastantes años su peculiar morfología, así como ciertas marcas de corriente (a modo de grandes *scallops*) y supuestas trayectorias de flujo ascendente en las paredes del primer pozo. Intentamos encontrar sentido a aquellas marcas pero lo sorprendente era que parecían indicar un flujo lento pero ascendente. Tal afirmación resultaba en aquella época algo antagónico; en

cualquier caso era algo “muy duro de digerir”. Y sin embargo, la misma boca del pozo de entrada presentaba un cierre en cúpula que demostraba que aquella no era una boca absorbente o de tipo sumidero sino, aparentemente, una cúpula cerrada y parcialmente rota por la erosión de la ladera. A pesar de todo, tuvimos la osadía de publicar en un modesto artículo parte de aquellas observaciones (Garay, 1979-a). Indicábamos que la boca de la sima se abría en materiales calcáreos y especialmente en margas sabulosas, del Senoniense, buzando “ligeramente” hacia el Norte y formando parte del flanco sur de un suave sinclinal. A -45 m, estas margas arenosas daban paso a una potente unidad caliza en la que se desarrollaba el resto de la sima. En la parte más profunda de la sima (Sala de la Conquista) estas calizas presentaban intercalaciones silíceas y nódulos de sílex. En aquel trabajo aportábamos también una topografía que reducía notablemente la profundidad hasta entonces atribuida a la cavidad: -185 m indicaba el Catálogo de Donat (1967), cota aproximadamente coincidente con una topografía existente en los archivos de la SES del Centro Excursionista de Valencia. Con la nueva medición pasábamos ahora a -171 m. Se exploró, además, por primera vez y a conciencia, el tubo paralelo al del pozo de acceso, desplazándonos por la pared mediante sucesivos péndulos que nos permitieron finalmente descender hasta la Sala de los Murciélagos de forma directa, sin tocar la Sala del Gos. Se comprobó de esta manera que no había más tubos paralelos (este era el objetivo de nuestra exploración) en aquel primer tramo de la sima. Recuerdo que participaron en aquellas travesías parietales mis compañeros Jesús Songel, Ricardo Giménez y Juanjo Palmero, entre otros.

Las tres topografías mostradas (FIGURA 4) se complementan, en cierto sentido, puesto que ofrecen otras tantas interpretaciones de diferentes autores y épocas. La primera es la que realizaron en 1953 los espeleólogos de Alcoy, dirigidos por Gonzalo Pla Salvador.



Figura 4.- Topografías del Avenc de Quatretonda: Pla (1954), Bartolomé (1957) y Jornet *et al.* (1981).

En aquella primera exploración y topografía se dio como máxima profundidad alcanzada la de -201 m (Pla, 1953). La segunda topografía, de Juan Bartolomé, atribuía a la sima una cota de -213 m (Soler Carnicer, 1957). La tercera, realizada por Enrique Ros, Pepe Jornet y R. Martínez, en 1982, reduce la cota hasta -168,5 m. Los 2,5 m de diferencia respecto de los -171 m medidos un par de años antes (Garay, 1979-a) se debe a que ésta incluyó el desnivel positivo de la cúpula parcial existente sobre el pozo de entrada. En todo caso, lo que muestran estas topografías (especialmente las más antiguas) es toda una serie de grandes *outlets* o tubos paralelos y verticales interconectados.

También en este caso observamos que la cavidad se desarrolla verticalmente en un sector donde se produce el contacto entre una formación de caliza, en este caso de edad Campaniense (tramo verde claro: C₂₅ de la FIGURA 5) y sobre ella otra formación de carácter confinante (tramo de color amarillo: C₂₅³⁻¹) constituida por areniscas y margas.

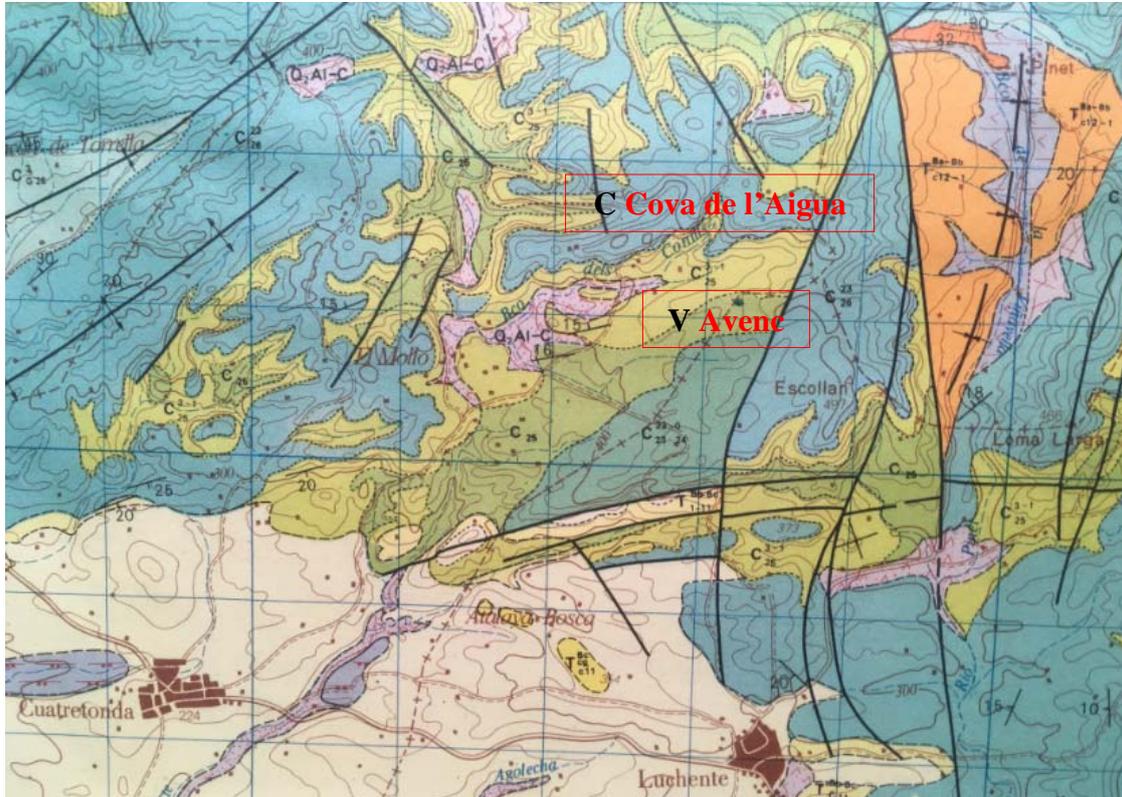


Figura 5.- Extracto del Mapa Geológico de España (IGME, 1981; hoja 795) a E. 1/50.000, con la ubicación del Avenc de Cuatretonda (V) y de la Cova de l'Aigua (C).

De nuevo nos encontramos –al igual que en el caso del Campillo- en el extremo de un sinclinal, esta vez de dirección WSW-ENE, y en su flanco meridional, lo que nos permite comprender la posibilidad de una de ascenso de aguas de tipo termal en el pasado. El tramo que entendemos confinante sería realmente un acuitardo según Pulido-Bosch (1979), es decir, una capa semiconfinante que forma parte de la por él denominada Formación Creu. Sin embargo, nos consta que en este sector de la llamada Serra Grossa, el tramo incluye también niveles francos de margas. Sea acuitardo o acuícludo, lo cierto es que sirve también de capa impermeable a un potente paquete de calizas de Orbitoides (tramo C₂₆²³ del mapa geológico adjunto) en el que se desarrolla un acuífero colgado que está drenado por la Cova de l'Aigua (Garay, 1979-b), una pequeña galería, surgencia seminundada, en la que topografiamos más de 300 m de recorrido hasta alcanzar un sifón terminal.

Referencias citadas

Donat Zopo, J. (1967). Catálogo Espeleológico de la Provincia de Valencia. Memorias del IGME, tomo LXVII. 186 p.+fotos y planos Madrid.

Fernández Peris, J. (1986). Grandes Cavidades Valencianas. *Idoubeda*, 1: 8-10. Club Universidad Politécnica de Valencia.

Garay, P. (1981) Incidencia de la cueva de la Pedriza y otras cavidades próximas en el conocimiento paleokárstico de la sierra del Negrete y sectores adyacentes. *Lapiaz*, ...

Garay, P. (1979-a). El Avenc de Quatretonda (Quatretonda, Valencia). *Guaita*, 3: 20-22. CEV.

Garay, P. (1979-b). La Cova de l'Aigua (Quatretonda). *Lapiaz*, 3-4: 109-112. CRVE.

Garay, P. (1981). Incidencia de la Cueva de la Pedriza y otras cavidades próximas en el conocimiento paleokárstico de la Sierra del Negrete y sectores adyacentes (prov. de Valencia). *Lapiaz*, 8: 3-6. F.V.E. Valencia.

Garay, P. (1986). Cavidades relictas y paleokarst del Plioceno en el área de Millares-Tous. 9º Cong. Intern. Espeleología, t. 1: 303-306. Barcelona.

Garay, P. (2004). Relieves kársticos en España: una evolución geomorfológica compleja. *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 12: 27-47. IGME.

Garay P. (2013). Consideraciones sobre karst y cuevas hipogénicas, con referencias al ámbito valenciano. *Bol. de la SEDECK*, 9: 16-29. XXIV Jornadas. Teulada.

Klimchouk AB, Ford DC, Palmer AN y Dreybrodt W (2000). *Speleogenesis: evolution of karst aquifers*. Nat. Spel. Soc., 527 p. Huntsville.

Klimchouk AB y Ford DC (2009). Hypogene Speleogenesis and karst hydrogeology of Artesian Basins. Ukrainian Inst. of Spel.. Special paper, 280 p. Simferopol.

Pla Salvador, G. (1953). El Avenc de Cuatretonda. *Speleon*, año IV, núm. 3-4. Oviedo.

Pulido Bosch, A. (1979). Contribución al conocimiento de la Hidrogeología del Prebético Nororiental. Memoria del IGME, t. 95. 410 p.

Soler Carnicer, J. (1957). "213 metros: Récord regional de profundidad en el Avenc de Cuatretonda". Diario *Las Provincias*, del 5/12/57.

La fotografía de la figura 3 ha sido tomada de la siguiente dirección de internet:
http://humaventura.loading.net/wordpress/wp-content/uploads/2011/03/DSC_0082.jpg