

1

Sobre la espeleogénesis de las cavidades de Boca de Jaruco. Mayabeque-Cuba. Primeros resultados de las campañas de 2019-2020

Remarks on the speleogenesis of the Boca de Jaruco caves. Mayabeque-Cuba. Results of the 2019-2020 field works

Vladimir Otero Collazo †⁽¹⁾, Antonio González Ramón⁽²⁾, Leslie Molerio León⁽³⁾⁽⁴⁾, Oriol Chavez Bonora⁽⁴⁾, Marian Alonso Martínez⁽⁵⁾

1 Grupo Ciro Berrios, Sociedad Espeleológica de Cuba.

2 Instituto Geológico y Minero de España-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Urb. Alcázar del Genil, 4 Edf. Zulema bajo, 18006 Granada, Spain, antonio.gonzalez@igme.es. Asociación Espeleológica Velezana, C/ Levante, 1, Vélez Rubio-Almería, España.

3 Inversiones Gamma, S.A. Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba. especialistaprincipal@gmail.com

4 Grupo Martel, Sociedad Espeleológica de Cuba

5 Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia. Bilbao- Bizkaia, España. alonso.mariam@gmail.com

Resumen

Junto a la desembocadura del río Jaruco, unos 30 km al E de La Habana (Cuba), se desarrollan tres superficies de aplanamiento marinas formadas en calizas arrecifales (Mioceno medio-Pleistoceno superior). En esta zona se han explorado 18 cavidades concentradas en 3 km². Cinco de ellas han sido topografiadas recientemente y estudiadas desde diferentes puntos de vista; tan solo en tres se alcanza el nivel freático. Los datos de la cota del agua y de su contenido en sales muestran la influencia marina, que se detecta hasta 1,5 km tierra adentro. El estudio de la morfología de las cavidades y de los rellenos sedimentarios y espeleotémicos que se observan, permite elaborar una hipótesis sobre su génesis y posterior evolución, ligada a las modificaciones de la línea costera y a la formación de superficies de aplanamiento marinas. Se observa un primer episodio de generación de huecos bajo nivel freático relacionado con mezclas de aguas de diferentes salinidades, un posible levantamiento tectónico que deja esos huecos en condiciones vadosas y un segundo episodio de generación de huecos a mayor profundidad acompañado de un intenso proceso de corrosión en condiciones subaéreas, con un relleno de arcillas de disolución residuales (*terra rossa*). Posteriormente se produjeron derrumbes generalizados de techos y finalmente una o varias generaciones de crecimientos de espeleotemas en las galerías superiores.

Abstract

Close to the mouth of the Jaruco River, almost 30 km East of La Habana, Cuba, three marine planation surfaces built of reefal limestone (Middle Miocene to Upper Pleistocene) are developed. Eighteen caves concentrated in a 3 km² territory have been explored. Five of them have been recently resurveyed and studied. Three of them reach the local water table whose altitude and mineralization shows the seawater influence almost 1.5 km inland. Cave morphology, sediments and speleothems sustain a hypothesis of an origin and evolution linked to the modifications of the coastal line and to the formation of the marine planation surfaces. The evolutionary scheme comprises a first episode of void development below the water table related with the mixing of different mineralization waters, a possible neotectonic uplift that dewatered those voids followed by a second episode of void development at a lower depth together with an intense corrosional process accompanied by a residual *terra rossa* sediments filling of the voids. Subsequently, a large breakdown process took place and one or several speleothem generations are recorded in the upper cave levels.

Palabras clave: calizas arrecifales, mezclas de aguas, morfologías corrosivas, superficies de aplanamiento, topografía 3D.

Key words: 3D surveyed caves, corrosives morphologies, mix waters, planation surfaces, reefal limestone.

INTRODUCCIÓN

En la costa norte de la isla, entre La Habana y Matanzas, se localiza una serie de llanuras costeras formadas en plataformas de calizas arrecifales (Fig. 1) donde existen numerosas cuevas con rasgos característicos (cavidades kársticas litorales, incluyendo tipologías flank margin, cuevas de abrasión marina, surgencias costeras en cavidades, cuevas mixtas epigénicas-hipogénicas) (Molerio León, 2013; De Waele et al., 2018).

Boca de Jaruco es una de estas zonas (Fig. 2), donde distintas generaciones de espeleólogos cubanos han ido localizando, explorando y documentando un buen número de cavidades en las que se observan

esas morfologías corrosivas. Actualmente se conocen 18 cavidades, concentradas en una superficie de tan solo 3 km² (Otero Collazo & Zaldivar Chateloin, 1986). Las campañas cubano-españolas realizadas en los años 2019 y 2020 han tenido como objetivo principal estudiar estas morfologías, proponer los posibles mecanismos que dieron lugar a este conjunto de cavidades tan particulares y cómo evolucionaron en el tiempo.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Las cuevas estudiadas se encuentran entre el estuario del río Jaruco (Boca de Jaruco) y la ensenada de los Roncos. La zona está compuesta esencialmente por calizas

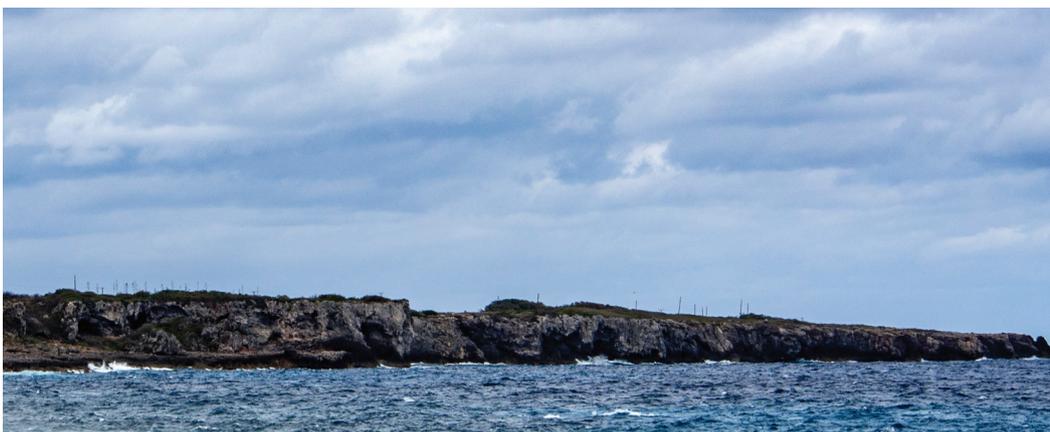


Figura 1. Plataformas costeras formadas por carbonatos de las formaciones Güines, Vedado y Jaimanitas en el entorno de Boca de Jaruco.

Figure 1. Marine planation surface carved in carbonates of the Güines, Vedado and Jaimanitas formations in Boca de Jaruco.



Figura 2. Localización del área de estudio.

Figure 2. Location of the study area.

arrecifales masivas del Mioceno Medio (Formación Güines) que buzcan ligeramente hacia el norte (Acebedo González, 1967) y tienen un espesor de 50-60 m y por calizas

arenosas algo margosas de la Formación Cojimar de edad Mioceno inferior y medio. Sobre la primera, y recubriéndola parcialmente, se encuentra otra formación

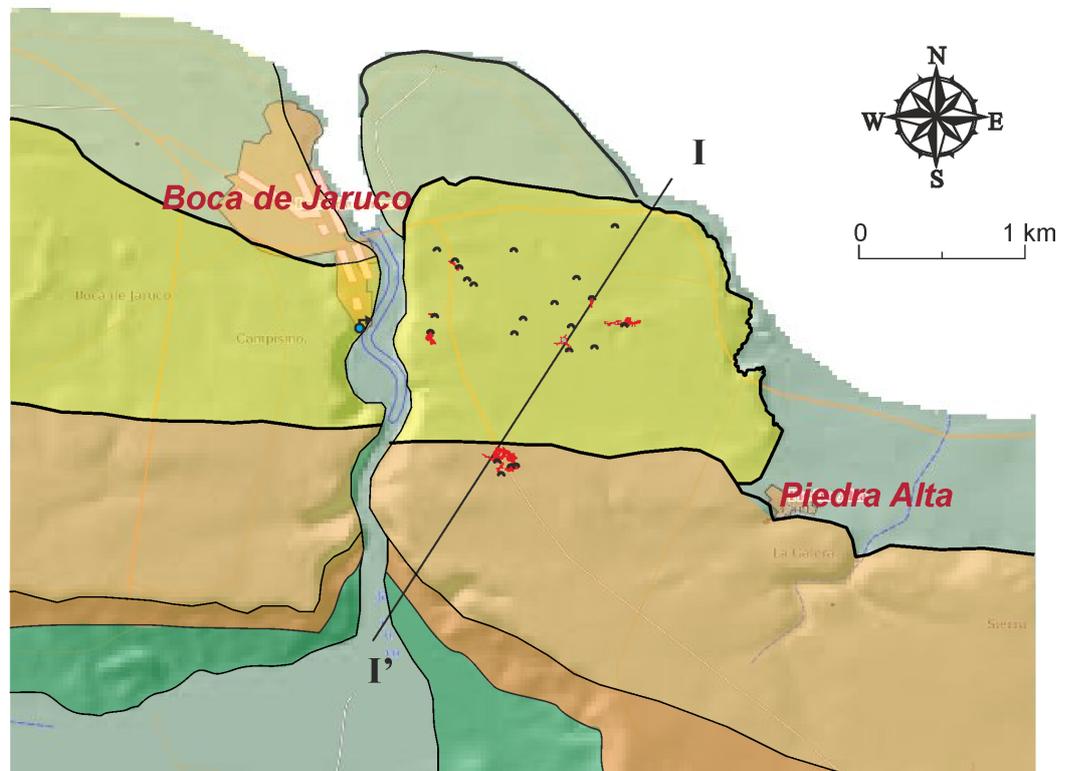


Figura 3. Mapa geológico del karst de Boca de Jaruco. La línea negra corresponde a la traza del corte de la Fig. 13.

Figure 3. Geological map of the Boca de Jaruco karst. The black line corresponds to the trace of the section in Fig. 13.

- | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| Arcillas, arenas y margas Cretácico superior | Calizas arrecifales Mioceno medio | Calizas arrecifales Pleistoceno |
| Margas y calizas organógenas Mioceno inferior y medio | Calizas arrecifales Plioceno | Materiales aluviales recientes |
| Cueva | Redes kársticas topografiadas | Manantial |



Figura 4. Entrada a la cueva de Don Martín, cuya boca se abre en el fondo de una amplia dolina de hundimiento de paredes verticales.

Figure 4. Entrance to the Don Martín Cave, open at the bottom of a wide sinkhole with vertical walls.

arrecifal del Plioceno – Pleistoceno inferior y de escaso espesor (Formación Vedado). Además existe otra formación pleistocena más moderna, también arrecifal, que aparece ligada a la línea de costas y que se superpone a todas las anteriores (Formación Jaimanitas). Finalmente, el sustrato general está formado por los materiales flyschoides del Cretácico superior de la Formación Vía Blanca (De Albear e Iturralde Vinent, 1978) (Figs. 3 y 13).

El elemento geomorfológico que define la

zona son las Llanuras Costeras, cuya anchura varía entre 1 y 3 km (Ducloz, 1963; Iturralde Vinent, 1985). En la zona se reconocen tres superficies principales por encima del nivel del mar (S1, S2 y S3 en Fig. 5) aunque posiblemente subdivididas en otras menores.

El exokarst se caracteriza por la presencia de un denso lapiaz en “diente de perro”, generado bajo cobertura edáfica (biokarst pits según la clasificación de Lundberg, 2013), aunque actualmente expuesto en muchas zonas, lo que dificulta enormemente

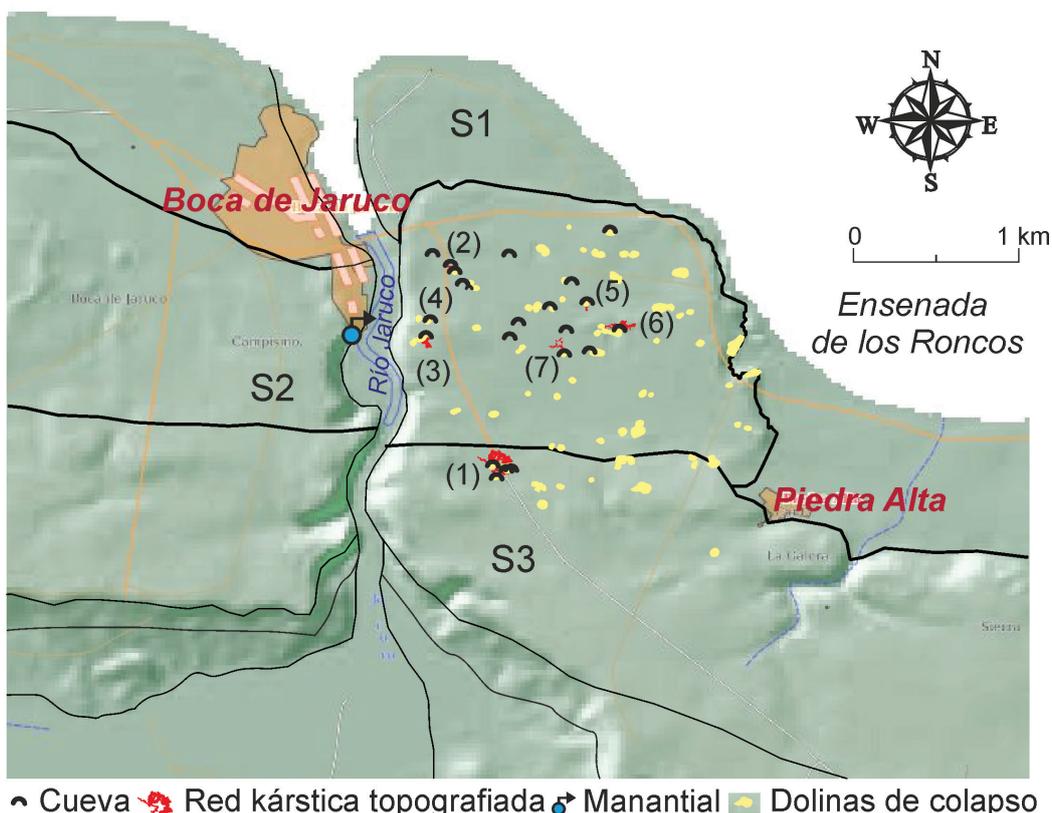


Figura 5. Relación entre dolinas, cuevas y superficies de aplanamiento marinas (S1, S2 and S3). (1) Cinco Cuevas, (2) Cueva de la H, (3) Don Martín, (4) Las Muelas, (5) Aura, (6) Vaho, (7) El Cable.

Figure 5. Relationship between sinkholes, caves and marine erosion surfaces (S1, S2 and S3). (1) Cinco Cuevas, (2) Cueva de la H, (3) Don Martín, (4) Las Muelas, (5) Aura, (6) Vaho, (7) El Cable.



Figura 6. Labores de topografía en la Cueva de la H.

Figure 6. Surveying tasks in the Cueva de la H.

caminar por su superficie. Otro rasgo característico son las dolinas de hundimiento que se reconocen fácilmente por ser los puntos donde se concentra el arbolado de mayor porte. Las bocas de la mayoría de las

cavidades se abren precisamente en estas dolinas (Magaz García, 2017) (Figs. 4 y 5).



Figura 7. Sala principal de la Cueva del Vaho.

Figure 7. Main chamber in the Cueva del Vaho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado una cartografía precisa en cinco de las cuevas más importantes, que ha incluido un modelo tridimensional en cada una de ellas. Las topografías se han realizado con un medidor de Leica Disto X310 modificado, que permite medir en un solo disparo distancia, dirección e inclinación. Los datos obtenidos han sido tratados con el software Therion, que ofrece muchas posibilidades, entre ellas una observación de los conductos topografiados en 3D.

La mayor parte del trabajo topográfico ha sido realizado en Cinco Cuevas, con diferencia, la de mayor desarrollo del conjunto de cuevas de la zona (Fig. 5). También se ha trabajado en la cueva de la H (Fig. 6), Don Martín, Las Muelas y el Aura. Asimismo, se visitaron otras cavidades, como el Vaho (Fig. 7) y El Cable, con el objetivo de realizar en ellas distintas observaciones y tomas de muestras de agua.

Solo tres de las cuevas conocidas alcanzan el nivel freático del acuífero, la ya citada Cinco Cuevas, El Cable y El Aura. Las tres se alinean

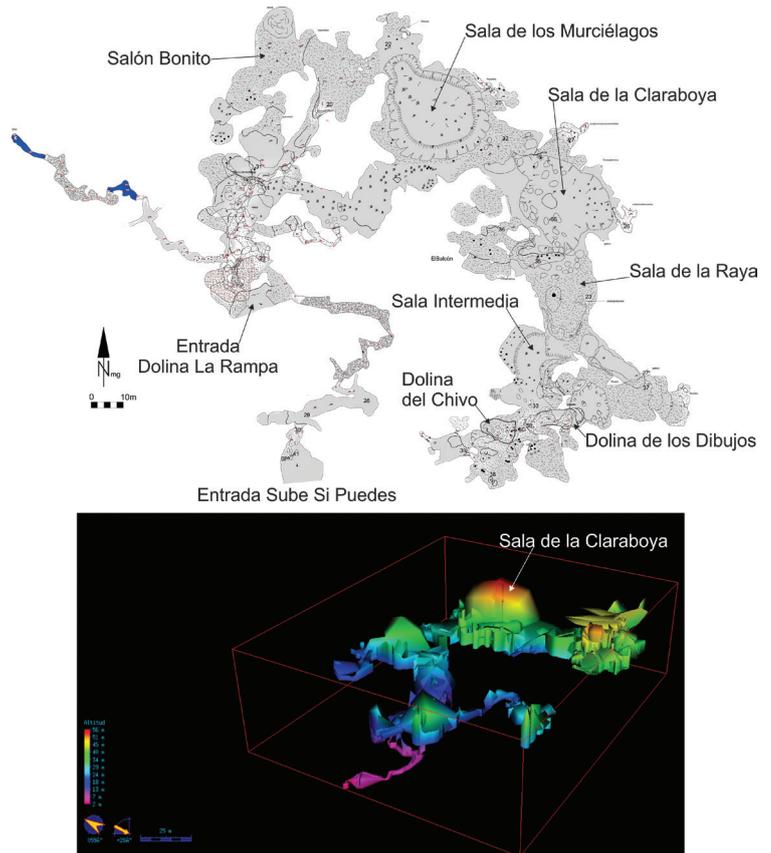


Figure 8. Mapa topográfico y modelo tridimensional de Cinco Cuevas.

Figure 8. Topographic map and three-dimensional model of Cinco Cuevas.

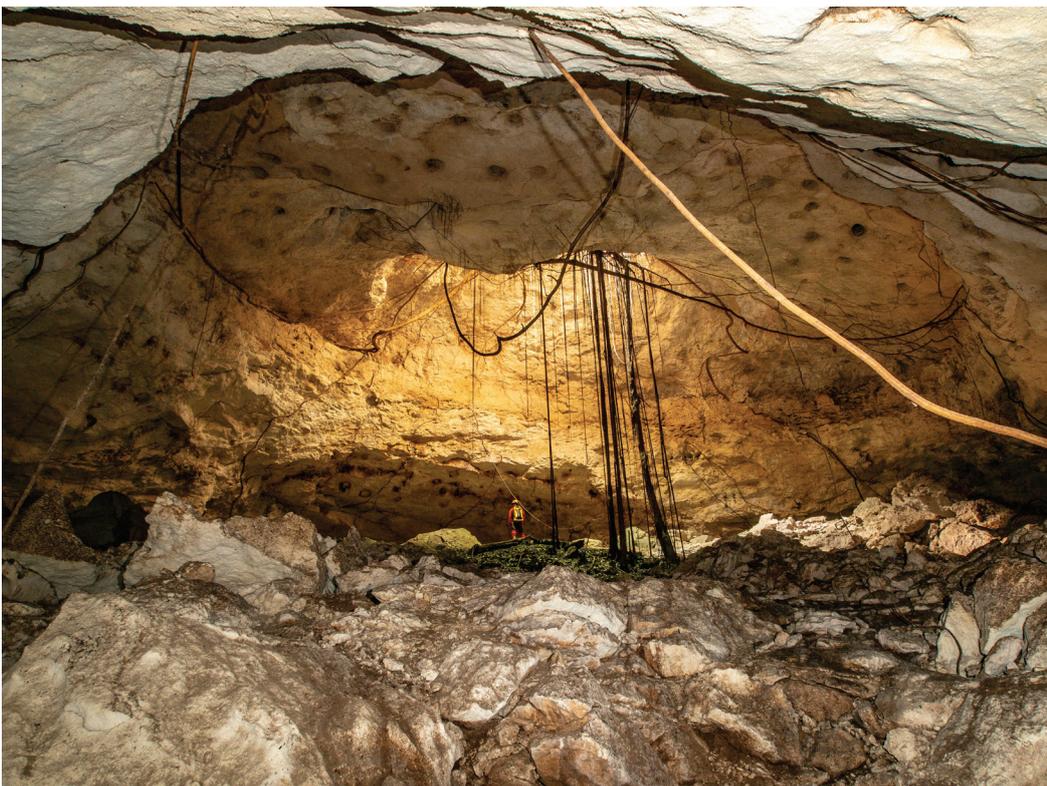


Figura 9. Sala de la Claraboya en Cinco Cuevas. En el techo se observan pequeñas cúpulas que sirven como posaderos de murciélagos y en el suelo aparece un enorme relleno de bloques consecuencia del colapso de la parte superior de la sala.

Figure 9. Sala de la Claraboya in Cinco Cuevas. On the ceiling there are small cupolas that serve as perches for bats and on the floor there is a huge filling of blocks as a result of the collapse of the upper part of the chamber.

Figura 10.
a) Pavimento espeleotémico roto intencionadamente para facilitar la extracción de guano y *terra rossa* que el espeleotema está recubriendo. b) Niveles detríticos de arenas finas a techo de la secuencia arcillosa fosilizada por una costra espeleotémica.



Figure 10.
a) Speleothem pavement intentionally broken to facilitate the extraction of guano and *terra rossa*. b) Detrital levels of fine sands at the top of the clay sequence fossilized by a crust.

en una dirección SO-NE, con una mayor cercanía a la línea de costa desde Cinco Cuevas hacia el Aura. Esta alineación no tiene relación con fracturas ni con directrices tectónicas. En estas zonas se realizaron medidas in situ de la conductividad eléctrica del agua (EC), de su temperatura (T^a) y de su pH.

RESULTADOS

El mapa completo de Cinco Cuevas muestra una distribución de conductos sin relación aparente con la fracturación (Fig. 8). Se observa una complejidad de galerías superpuestas con trazados laberínticos, fuertemente modificados por estructuras de colapsos, que han generado espaciosas salas como la Sala de la Claraboya (Fig. 9) o la Sala de los Murciélagos. La extracción de guano,

en su mayor parte mezclado con arcillas rojas de decalcificación (*terra rossa*), ha sido de gran importancia. En muchas de las salas se observan las labores mineras con taludes verticales que han vaciado la mayor parte del relleno. Estos taludes permiten estudiar la estratigrafía (Fig. 10).

Se han levantado varios cortes estratigráficos en diferentes lugares. Del estudio preliminar de estos cortes se deduce una secuencia que comienza con un relleno de entre 1 y 5 m de *terra rossa*, generalmente mezclada con guano. En algunos cortes se observan delgadas secuencias detríticas formadas por arenas muy finas con marcas de corriente en la parte superior del relleno. El conjunto aparece fosilizado por colapsos en muchos sitios. Donde no ha habido colapsos aparece

Figura 11.
Morfologías corrosivas en las paredes de la zona más profunda de Cinco Cuevas. En a) se observa un lapiaz subterráneo en las paredes y *solution pockets*, b) en la parte inferior un nivel lavado que estuvo en otro tiempo de relleno de *terra rossa*, y por encima de él destaca un nivel corroído con *solution pockets* y en la parte superior un nivel de cúpulas de corrosión subaéreas.

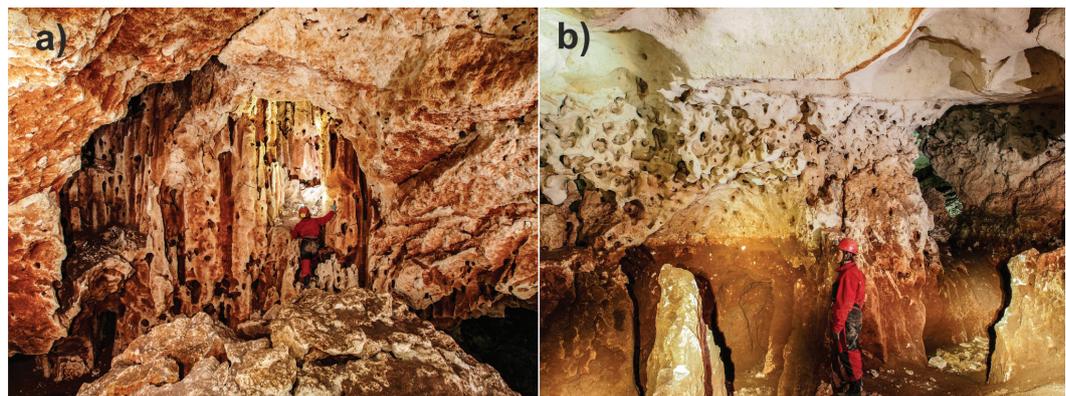


Figure 11. Corrosive morphologies in the walls of the deepest part of Cinco Cuevas. In a) lapies assemblage and solution pockets is observed in the walls, b) in the lower part a washed level that was filled by *terra rossa* is observed, over this washed level, a corroded level with solution pockets gradually transforms upwards into a cluster of subaerial corrosion cupolas.

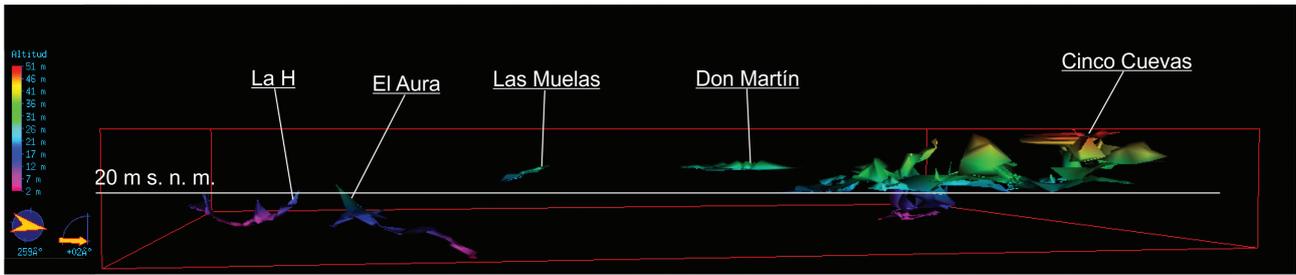


Figura 12. Modelo 3D del conjunto de cavidades de topografía. La cota 20 m marca el nivel que diferencia dos zonas principales de cavernamiento, posiblemente de distintas edades. La escala horizontal ha sido modificada para poder comparar las cotas de las diferentes cavidades.

Figure 12. 3D model of the set of surveyed caves. The 20 m elevation delimits the level that differentiates two main cave areas, possibly of different ages. The horizontal scale has been modified for comparison of the dimensions of the different caves.

recubierto por costras de carbonatos sobre las que crecen estalagmitas y columnas. El crecimiento espeleotémico también se observa sobre los bloques colapsados, pero nunca debajo de estos.

El conjunto de espeleotemas tiene un gran desarrollo en los niveles superiores de la cueva. Se trata de una o varias generaciones que, en general, no están en crecimiento actualmente. Los espeleotemas activos de edad reciente son escasos y de poco desarrollo.

Donde las paredes y techos no han sido modificados por colapsos ni por recubrimientos de espeleotemas se observan morfologías de disolución, congruentes con procesos de condensación-corrosión en presencia de CO₂ en la atmósfera de la cueva (Fig. 11). Interpretamos que estos procesos debieron ser muy activos en un momento determinado de la historia geológica de la cavidad y podrían ser los responsables del relleno de *terra rossa*, que es especialmente importante en la zona superior de la cavidad.

En Cinco Cuevas se observan dos niveles de cavernamiento principales bien diferenciados, aunque pueden distinguirse algunos más de menor importancia. El nivel más elevado se caracteriza por un mayor desarrollo de galerías laberínticas, grandes salas con

enormes estructuras de colapsos y secuencias de rellenos de *terra rossa* recubiertas por espeleotemas. El nivel inferior aparece a partir de 20 m s.n.m (Fig. 6). En esta zona no hay rellenos espeleotémicos y las paredes solo están modificadas por morfologías corrosivas similares a las descritas por Palmer (1991).

Los principales datos físico-químicos obtenidos a partir de las muestras recogidas en las tres cuevas que alcanzan la zona saturada del acuífero se exponen en la tabla I. Los valores de CE ponen de manifiesto un claro incremento en el contenido de sales en el agua con la cercanía a la costa, este incremento está relacionado con el contenido en cloruros, lo que permite caracterizar la zona de mezclas entre el agua dulce de infiltración autogénica y el agua de mar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Tras estas observaciones se propone, de forma preliminar, la siguiente evolución espeleogenética del conjunto de cavidades, que puede resumirse en cinco etapas:

1) Un primer episodio de generación de huecos en un medio saturado posiblemente ocurrido durante el Pleistoceno inferior o finales del Plioceno. Este episodio debió ocurrir con una parte del afloramiento emergido (S3). Esto favoreció la mezcla de

Cavidad	Distancia a la costa (m)	Temp. (°C)	CE (μS/cm)	pH	Cl ⁻ (mg/l)
Cinco Cuevas	1800	24	686	7,92	79,6
El Cable	1005	27,8	973	7,08	109
El Aura	690	25,8	7640	7,6	2142

Tabla I. Principales características físico-químicas de las muestras de agua tomadas en las cuevas que alcanzan el nivel freático.

Table I. Main physico-chemical characteristics of the water sampled in the caves that reach the water table.

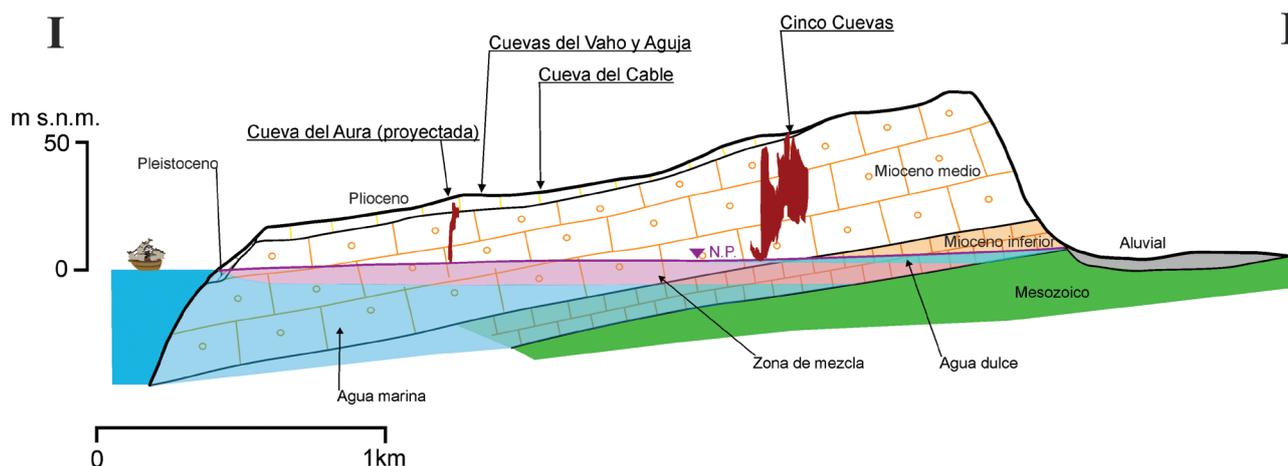


Figure 13. Corte hidrogeológico de la zona estudiada con ubicación de alguna de las cavidades y los distintos tipos de aguas que aparecen en el acuífero deducido de las medidas de EC realizadas (Tabla I). El trazado del corte puede observarse en el mapa de la Fig. 3.

Figure 13. Schematic hydrogeological section of the study area with location of some of the caves and the different types of waters that appear in the aquifer deduced from the EC measurements carried out (Table I). The trace of the section can be seen on the map in Fig. 3.

agua dulce-salada que generó la protocueva. 2) Un descenso en el nivel freático (¿levantamiento tectónico?) que deja los huecos generados anteriormente, al menos parcialmente, fuera del agua. 3) Nueva generación de huecos en medio saturado por debajo de la cota 20 m, acompañado por un intenso proceso de corrosión subaéreo, que probablemente originó un importante relleno de arcillas de disolución residuales (*terra rossa*) en la zona superior de la cueva y morfologías en paredes y techos causadas por condensación-corrosión. 4) Derrumbes generalizados que agrandan los huecos con la formación de las grandes salas de Cinco Cuevas que contribuyen a la apertura o ensanchamiento de las comunicaciones con el exterior. 5) Finalmente, se observan fases especialmente húmedas que generan un gran crecimiento espeleotémico en las zonas más elevadas de la cueva y que recubren tanto los bloques colapsados como los rellenos de *terra rossa*.

En todos estos procesos, la generación inicial de huecos ha tenido que producirse en la zona de mezcla de agua dulce y agua salada (zona de interfase). A partir de los datos físico-químicos obtenidos en la campaña de 2020, se sabe que la interfase actualmente puede adentrarse tierra adentro más de 1,5 km (Fig. 13). Tras el descenso en el nivel piezométrico, los huecos formados por disolución química en la zona freática son agrandados en medio

subaéreo (¿durante los periodos fríos?) por condensación-corrosión. El residuo de estos procesos generaría los rellenos de arcillas de decalcificación. El progresivo crecimiento de los huecos desequilibra algunas zonas de la cavidad con colapsos de los techos. Durante las etapas cálidas y húmedas del Pleistoceno medio y superior debió producirse el relleno espeleotémico que recubre tanto los colapsos como los rellenos de *terra rossa*. En una etapa final se produciría la ruptura de espeleotemas, posiblemente por asentamiento del suelo debido a hundimientos en los niveles inferiores, sin descartar la contribución que la sismicidad ha podido tener, tal y como apunta Molerio León (2018).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco de la colaboración entre los grupos de espeleología Ciro Berrios y Martel de la Sociedad Espeleológica Cubana, la Sociedad de Ciencias Espeleológicas Alfonso Antxia y la Asociación Espeleológica Velezana, con la colaboración de Inversiones Gamma S.A. y el Instituto Geológico y Minero de España. Agradecemos a Ángel Gínes y a otro revisor anónimo sus correcciones y sugerencias que han contribuido a la mejora del artículo.

REFERENCIAS

- Acevedo González, M. (1967). Estudio espeleológico de la cueva el Vaho o Bao. Boca de Jaruco. Habana. Rev. Serie Ciencias Biológicas. Fasc. 1. Vol. 1, nº 5. J.
- De Albear, J.f. & Iturralde Vinent, M. (1978). Estratigrafía de la provincia de La Habana. En: Contribución a la geología de las provincias de La Habana y ciudad de La Habana, 12-54. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba.
- De Waele, J., D'Angeli, I. M., Bontognali, T., Tuccimei, P., Scholz, D., Jochum, K.P., Columbu, A., Bernasconi, S.M., Fornos, J.J., Grau González, E.R., & Tisato, N. (2018). Speleothems in a north Cuban cave register sea level changes and Pleistocene uplift rates. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(11), 2313-2326.
- Ducloz C. (1963). Etude géomorphologique de la région de Matanzas, Cuba. *Archives des Sciences Genève*, 16, 351-422.
- Iturralde Vinent, M. (1985). Algunos aspectos geomorfológicos del territorio de las provincias de La Habana. En: Contribución a la geología de las provincias de La Habana y ciudad de La Habana, 5-11. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba.
- Lundberg, J. (2013). Microsculpturing of solutional rocky landforms. in: Shroder, J. (Ed.-in-chief) and Frumkin, A. (Vol. Ed.), *Treatise in Geomorphology* (6). Elsevier, Academic Press, Amsterdam, pp. 121-138.
- Magaz García, A.R. (2017). *Geomorfología de Cuba*. Amazon Books, Kindleley editions. 377 p.
- Molerio León, L.F. (2013). Evidencias de carsificación y cavernamiento mixto epi-hipogénico en la Cobertura Neotóctona de la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas. *Mapping Latino*, 2.
- Molerio León, L.F. (2018). Cronostratigrafía relativa de eventos paleosísmicos en el tercio inferior del Río Jaruco, Cuba occidental. *Gota a Gota*, 15, 93-96.
- Otero Collazo, V., Zaldivar Chateloin B. (1986). Notas preliminares geoespeleológicas de Boca de Jaruco. 2da Jornada Científica Provincial. Ciudad de La Habana.
- Palmer, A. (1991). Origin and morphology of limestone caves. *Geol. Soc. Am. Bulletin* 103(1), 1-21.