



This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Manuscrito recibido: Mayo 29, 2024

Revisión recibida: Noviembre 30, 2024

Aceptado: Diciembre 2, 2024

Caracterización geológica y espeleológica de la meseta de Paramillo, Ábrego, Norte de Santander, Colombia

Geological and speleological characterization of the Meseta de Paramillo, Ábrego, Norte de Santander, Colombia

Erika Sofía **Torres-Trujillo** ✉, Juan Manuel **Moreno-Murillo** ✉

Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia

Resumen

Al oriente del municipio de Ábrego, departamento de Norte de Santander, aflora la Formación Tibú-Mercedes en la meseta de Paramillo, que corresponde a rocas calcáreas de rango estratigráfico Aptiano donde se han desarrollado una red de cavidades y morfologías cársticas ocasionadas por la disolución y meteorización de la roca calcárea. Se identifican y se describen cuevas, sumideros, lapiaz, dolinas y simas en la meseta de Paramillo y se realiza los mapas espeleológicos de la geomorfología exocárstica y endocárstica del área de estudio. Adicionalmente se interpreta la morfología, desarrollo, ornamentación y petrografía de las cavidades.

Los resultados evidencian la presencia de 17 dolinas, cuatro cuevas y otros elementos cársticos, con implicaciones significativas para la comprensión de la espeleogénesis en la región. El presente trabajo contribuye al conocimiento de los sistemas subterráneos y de la investigación espeleológica en el país y describe por primera vez el desarrollo de un ambiente cárstico en el municipio de Ábrego, Norte de Santander, Colombia.

Palabras clave: Formación Tibú-Mercedes, Sistema cárstico, Espeleometría, cartografía espeleológica, exocárstico, endocárstico

Abstract

To the east of the municipality of Ábrego in the department of Norte de Santander, the Tibú - Mercedes Formation emerge in the meseta de Paramillo, defined as Aptian stratigraphic range limestone rocks where a network of cavities and associated forms have developed due to the dissolution and weathering of the limestone rock. Caves, sinkholes, lapiaz, dolines and peaks of the Paramillo Plateau are identified and described; and speleological base maps of exocarstic and endocarstic geomorphology are made.

The results show the presence of 17 sinkholes, four caves, and other karst features, with significant implications for understanding speleogenesis in the region. This work contributes to the knowledge of underground systems and speleological research in the country, and describes for the first time the development of a karst environment in the municipality of Ábrego, Norte de Santander, Colombia.

Keywords: Tibú-Mercedes Formation, Karst system, speleometry, speleological cartography, exocarstic, endocarstic.

Citación: Torres-Trujillo, E.S., Moreno-Murillo, J.M. (2024). Caracterización geológica y espeleológica de la meseta de Paramillo, Ábrego, Norte de Santander, Colombia. Boletín Geológico, 51(2), Número especial de Espeleología. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.51.2.2024.744>

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia se ha descrito un gran número de cuevas, entendidas como las formas generadas bajo la superficie de la tierra de origen natural (Núñez Jiménez, et al., 1988); siendo estudiadas principalmente en los departamentos de Antioquia, Santander, Huila, Tolima y Boyacá. En el departamento de Norte de Santander solo se tiene un registro de estudio de cuevas realizado por Carreño & Ghneim, (2001); y específicamente en el municipio de Ábrego no se cuenta con registros oficiales ni estudios publicados desde el punto de vista espeleológico. Sin embargo, algunos habitantes conocedores de la vereda afirman la existencia de cavidades lo que motivó a realizar la caracterización en la zona.

El presente trabajo reporta y describe por primera vez el desarrollo de un ambiente cárstico (cavidades, sumideros, dolinas, lapiaz y sima) dentro del municipio de Ábrego, Norte de Santander. La Figura 1 muestra la zona de estudio que se encuentra al oriente del municipio de Ábrego en la vereda Paramillo y corresponde a un polígono con un área aproximada de 12 Km² sobre la meseta de Paramillo. Es una altiplanicie extensa relativamente plana que presenta elevaciones de 1800 a 2300 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m) ubicada sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental de Colombia, y está constituida por rocas sedimentarias cretácicas.

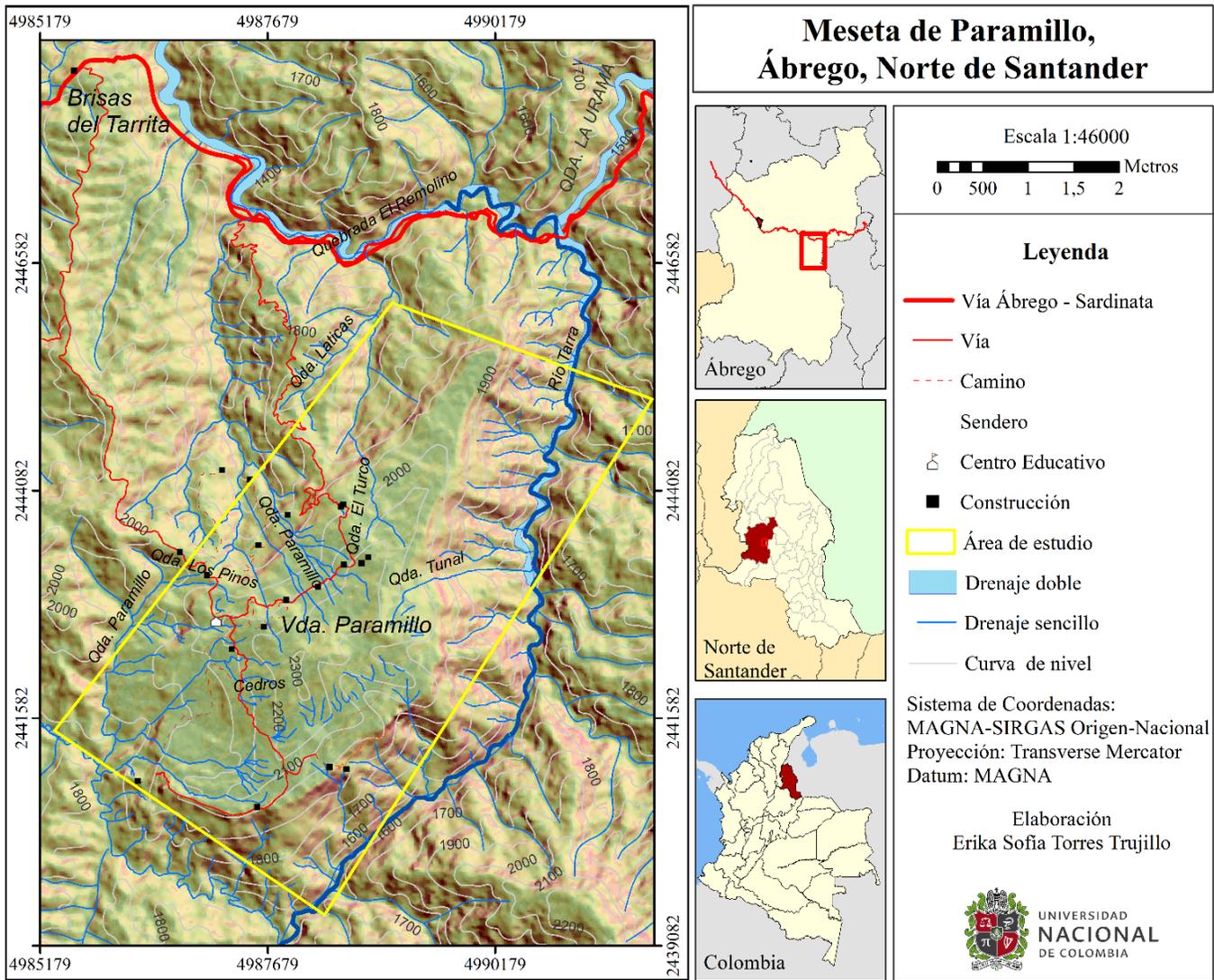


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio en la meseta de Paramillo, Municipio de Ábrego, Norte de Santander.

Botero y Sarmiento (1947) identifican la presencia de rocas calcáreas en la meseta de Paramillo cuando realizaban el reconocimiento geológico de la carretera Ocaña – Sardinata (Botero & Sarmiento, 1947). Arias y Vargas (1978) reconocen en la meseta de Paramillo que las rocas calcáreas reportadas por Botero & Sarmiento (1947) pertenecen a la Formación Tibú – Mercedes.

Mediante estudios realizados de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa elaborados por el Servicio Geológico Colombiano, se obtiene el mapa geomorfológico aplicado donde en el área de estudio se define la presencia de un escarpe cárstico (Kec) y una mesa cárstica (Kmc) debido a la presencia de la Formación Tibú-Mercedes, que por ser rocas calcáreas presentan procesos de disección y disolución (Servicio Geológico Colombiano, 2015a).

En este estudio se indica que es normal la presencia de dolinas y cualquier rasgo geomorfológico generado por carstificación debido a la presencia de rocas calcáreas (Servicio Geológico Colombiano, 2015b) pero no se identifica ni detalla la morfología cárstica. Actualmente, se cuentan con registros hablados por habitantes de la vereda que afirman la existencia de cavidades en la región, pero no se tienen estudios espeleológicos realizados de la zona.

2. MARCO GEOLÓGICO

La geología regional de la meseta de Paramillo consta de una sucesión sedimentaria del Cretácico inferior la cual sobreyace al sur y occidente sobre rocas metamórficas definidas como Formación Silgará, y al norte y oriente en una unidad ígnea intrusiva de granodiorita biotítica (Arias & Vargas Higuera, 1978) como se observa en la Figura 2.

La sucesión sedimentaria comprende parte de la cuenca sedimentaria del Catatumbo y está representada por las formaciones de Río Negro y Tibú – Mercedes, las cuales por sus características litológicas y estratigráficas se clasifican dentro de la nomenclatura de la Cuenca de Maracaibo según Arias y Vargas (1978).

En el área de estudio, son de especial importancia las formaciones Tibú – Mercedes debido a su contenido calcáreo, donde se desarrollan las cavidades y morfología cárstica.

La Formación Tibú se define litológicamente como intercalaciones de calizas gris fosilífera densa, con unas pocas capas de lutita y arenisca de grano fino, de rango estratigráfico del Aptiano superior al Albiano inferior en base a fósiles como amonoideos y bivalvos (Botero & Sarmiento, 1947; Royo y Gómez, 1947a, 1947b; Arias & Vargas Higuera, 1978; Sánchez & Martínez, 1991). La Formación Tibú sobreyace a la Formación Rionegro y su contacto se considera concordante (Arias & Vargas Higuera, 1978, p. 22). Por otra parte, la Formación Mercedes consiste en

intercalaciones de calizas gris fosilífera densa más arenosa, capas de lutita oscura y areniscas grises de grano fino a medio, glauconíticas y algunas calcáreas de rango estratigráfico del Aptiano Superior al Albiano inferior. (Botero & Sarmiento, 1947; Royo y Gómez, 1947a, 1947b; Arias & Vargas Higuera, 1978; Sánchez & Martínez, 1991).

La lutita gris oscura en la base de la Formación Mercedes representa un contacto neto pero conforme con la Formación Tibú. (Arias & Vargas Higuera, 1978, p. 23). Ward et al. en 1973 cartografiaron las formaciones Tibú y Mercedes como una sola unidad en el departamento de Santander debido a la afinidad litológica que no permite diferenciarlas fácilmente (Ward et al., 1973; Servicio Geológico Colombiano, 2015b), por lo tanto, se cartografiaban como una sola unidad litoestratigráfica en el área de estudio. Actualmente forman parte del Grupo Uribante junto con la Formación Aguardiente, esta última no aflora en el área de estudio.

El ambiente de depósito se considera un ambiente netamente marino sobre una plataforma amplia, de aguas tranquilas por la presencia de equinoideos y amonitas, y de pendiente muy suave donde se desarrolló una franja de facies contiguas y contemporáneas (Notestein et al., 1944; Fabré et al., 1985; Sánchez & Martínez, 1991).

Estructuralmente, en la sucesión sedimentaria de la meseta de Paramillo se evidencia una flexión de tipo sinclinal, asimétrica, con *plunge* hacia el norte, y los estratos están orientados en dirección preferencial SW-NE. El flanco oriental presenta buzamientos suaves ($<10^\circ$) y el flanco occidental buzamientos más pronunciados ($>20^\circ$) y se encuentra fallado, trazo que corta las rocas de las formaciones Rionegro y Tibú – Mercedes (Fig. 2).

La falla que corta el flanco oeste se denomina Falla de Paramillo que corresponde a una falla normal, de alto ángulo y presenta una fractura de 13 km de longitud aproximadamente con una dirección NE, y es en gran parte la responsable de la preservación de las rocas sedimentarias cretácicas en la meseta de Paramillo debido que el bloque oriental está hundido (Arias & Vargas Higuera, 1978, p. 31).

El trazo de la falla en el norte del área de estudio pone en contacto las rocas metamórficas con las rocas sedimentarias. Localmente, se evidencia la presencia de pliegues y fracturas con rumbo preferencial NE.

3. MÉTODO

La metodología se llevó a cabo en tres etapas: una etapa de precampo, de campo y poscampo. La etapa de precampo consistió en la revisión de información bibliográfica y geológica del área de estudio e interpretación de fotografías aéreas.

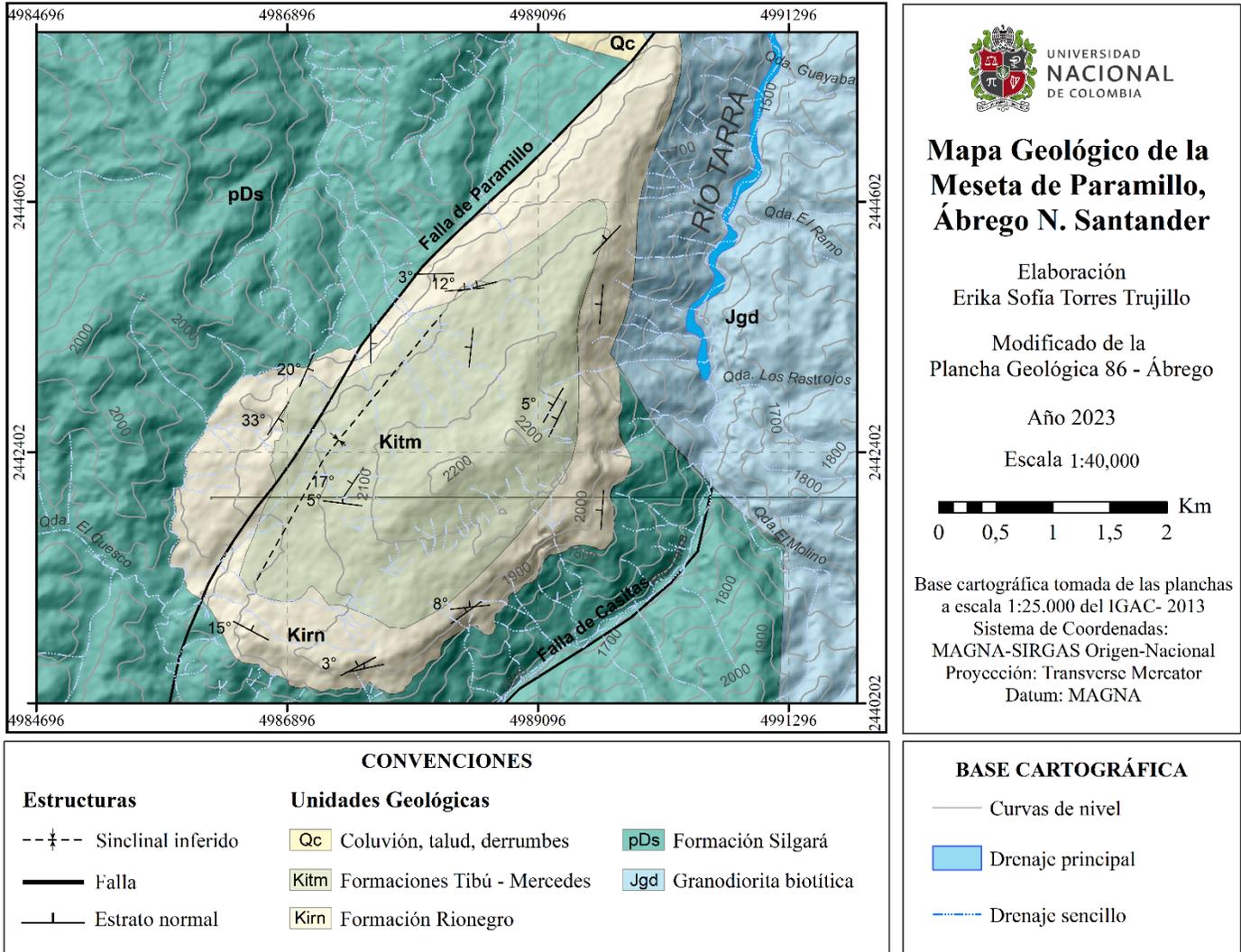


Fig. 2. Geología regional de la zona de estudio en la meseta de Paramillo donde se destaca la Formación Tibú - Mercedes en la cual se desarrolla el sistema cárstico. Fuente: modificado de Vargas y Arias (1981).

La etapa de campo se llevó a cabo en tres visitas, durante los meses de enero, abril y agosto de 2023.

Se realizó el levantamiento espeleológico en un grupo de 5 personas de las cuevas conocidas por los habitantes de la vereda, en las cuales se toma datos importantes para la realización de la espeleometría basado en el método de Valdivieso & Manco, (2018) y Valdivieso-Bohórquez (2022); en el que a partir de un bastón de Jacob, brújula y distanciómetro se median las diferencias de altura, distancia y rumbo entre estaciones que se definían dentro de las cavidades, datos indispensables para elaborar la cartografía detallada de estas.

Además, se tomó muestras de roca de la litología al interior de las cavidades, se realizó la exploración geológica y espeleológica en el área de estudio donde se toman datos como rumbo y buzamiento de los estratos y de diaclasas, se recorren los drenajes

y se identifican y georreferencian geoformas exocársticas para representarlas en un mapa espeleológico, se realiza la recolección de material fósil y un registro fotográfico detallado del área de estudio.

La etapa poscampo comprendió el análisis y procesamiento de la información recolectada en campo. Se correlaciona los datos de diaclasas, rumbo y buzamiento de los estratos y la caracterización de la litología, representando estos datos en un mapa a escala 1:40.000 del área de estudio definida.

Seguidamente, el análisis del ambiente cárstico se basó en la literatura de Llopis (1970) donde se realizó la descripción de la morfología exocárstica del área de estudio y se representó en un mapa a escala 1:16.000, posteriormente se realiza la descripción de la morfología endocárstica y se representa en una cartografía espeleológica detallada de cada una de las cavidades en escala menor que 1:5000.

Se consigna la información de manera sistemática de cada cavidad en una ficha descriptiva denominada “Ficha espeleológica” siguiendo el modelo presentado en Mendoza-Parada et al., (2006) de la Asociación Espeleológica Colombiana, Espeleocol.

Luego, se realizó una fase de laboratorio donde se elaboraron cinco secciones delgadas a partir de cortes que se realizaron en las muestras de rocas recolectadas del interior de cada cueva y fueron elaboradas en el laboratorio de técnicas petrográficas, y analizadas en microscopios electrónicos en el laboratorio de *MicrofluidSpectral*, ambos pertenecientes al departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Posteriormente, se realizó la identificación de los fósiles recolectados y el análisis e interpretación de resultados.

4. RESULTADOS

La meseta de Paramillo espeleológicamente se caracteriza por presentar cuatro cavidades: cueva de Los Murciélagos, cueva de

Los Cedros, cueva de La Capilla y cueva de la Chácara, y un desarrollo de morfología exocárstica como dolinas, sumideros, valles ciegos, lapiaz y una sima. A continuación, se describe la morfología exocárstica seguida de la morfología endocárstica y se representa en mapa espeleológicos.

4.1 Componente Espeleológico

4.1.1 Morfología Exocárstica

La Figura 3 muestra las geoformas exocársticas mapeadas a escala 1:15.000 en la meseta de Paramillo. Se identificó formas cerradas como dolinas, valles ciegos y lapiaz donde la absorción del agua se realiza lentamente (goteo); y formas abiertas como 1 sima y sumideros en la que el agua puede penetrar en masa (flujo abundante) (Llopis, 1970, p.77).

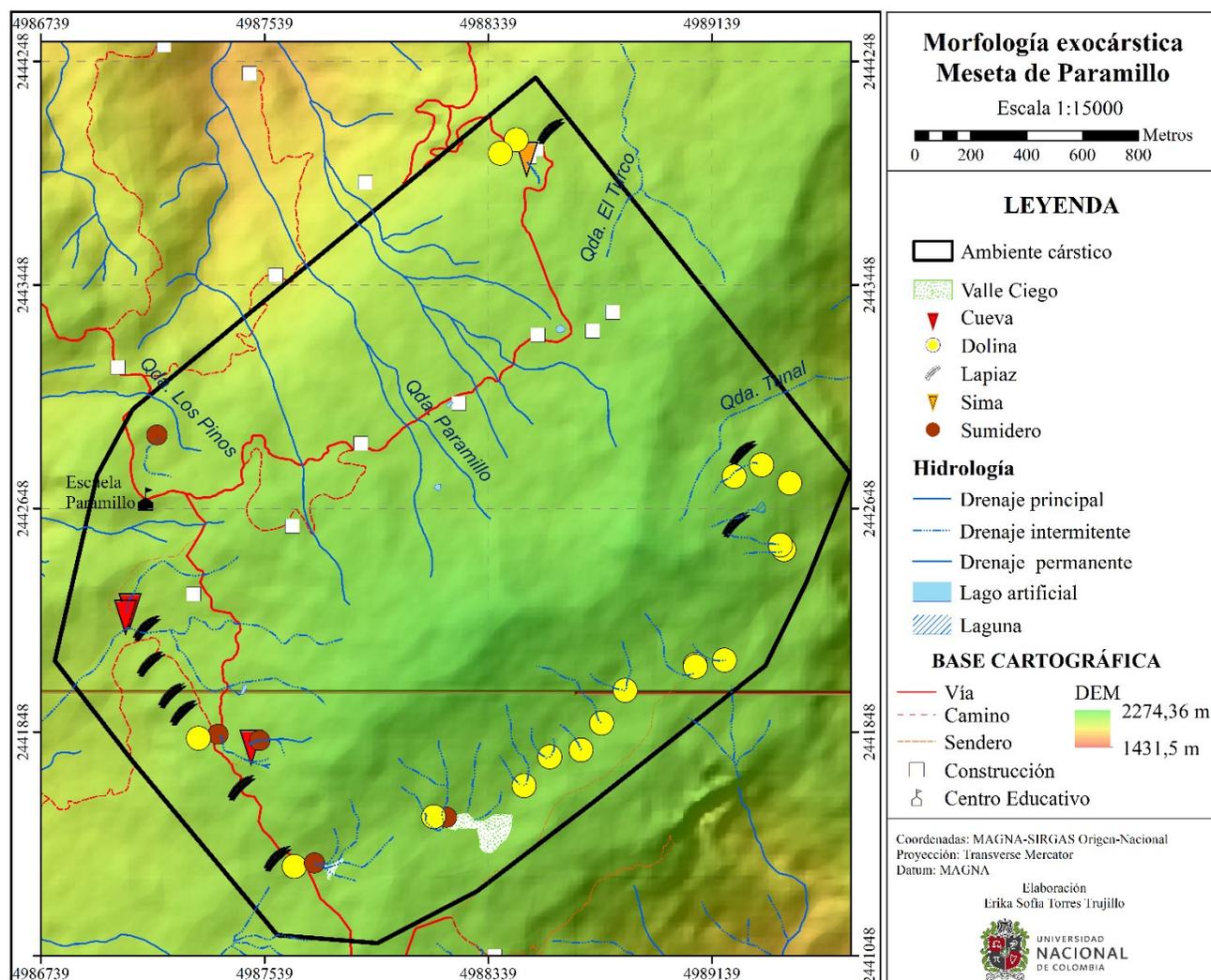


Fig. 2. Morfología exocárstica de la meseta de Paramillo sobre un modelo de elevación digital. Se ubican las cuevas, dolinas, lapiaz, sima y sumideros cartografiados.

Dolinas. Se identificaron 17 geofomas de dolinas en el área de estudio, clasificadas como dolinas pequeñas de acuerdo a sus dimensiones que varían de 4 a 13 metros de diámetro; algunas presentan forma isótropa o circular y otras presentan forma elíptica. Dos de las dolinas están cubiertas de agua constituyendo una dolina de artesa y algunas dolinas presentan pastizales debido a la lenta absorción del agua que permite el crecimiento de vegetación, tal como se observa en la Figura 14a y 14b respectivamente. Las profundidades registradas en las dolinas varían de 80 cm a 2 metros y se desarrollan en rocas calcáreas de la Formación Tibú – Mercedes.

Lapiaz. Se identificaron dos tipos de lapiaz en la zona de campo; el tipo *Kluftkarren* que son formas de hasta 4 m de profundidad y hasta 4 m de anchura dispuesta en una superficie libre y cubierta, que se ha desarrollado a lo largo de diaclasas y fracturas (Mendoza-Parada et al., 2009).

La Figura 5a y 5b muestra lapiaz tipo *Kluftkarren* observado en el área, de 80 cm a 3 m de altura desarrollados a lo largo de drenajes que exhiben formas suavizadas. Este lapiaz está en estratos masivos de roca calcárea de la Formación Tibú – Mercedes y debido a que están fuertemente excavados, se desarrollaron por un volumen de agua circulante alto a través de diaclasas (Travassos, 2019).

También se identifican lapiaz que son disectados por agua de precipitación y escorrentía, evidenciando formas filosas a angulosas y alturas de 2 a 6 metros lo que indica un mayor proceso de meteorización y disolución, como se observa en la Figura 5c y 5d.

El segundo tipo corresponde a *Rillenkarren* que son formas que se manifiestan a través de canales poco profundos y están separados por crestas agudas y cortantes, en espacios de unos pocos centímetros (2-5cm) (Mendoza-Parada et al., 2009). En el área de estudio se presentan en la roca expuesta en la superficie como en la Figura 5e y en roca dentro de las cavidades, y fueron producidas por disolución controlada por gotas de lluvia y el goteo constante de agua.

Valles ciegos y sumideros. Se identifican 2 morfologías de valles ciegos al suroriente del área de estudio donde en ambos valles el agua desaparece en un sumidero de origen cárstico. Los valles ciegos presentan un flujo activo de agua derivado de la escorrentía de las laderas y tienen una longitud de 100 y 230 m, aproximadamente. Las cinco morfologías de sumideros encontrados son de origen cárstico; un sumidero se encuentra inactivo y cuatro de ellos presentan un flujo de agua activo el cual se infiltra rápidamente en el subsuelo por un espacio en forma de embudo a causa de la disolución de las rocas calcáreas.

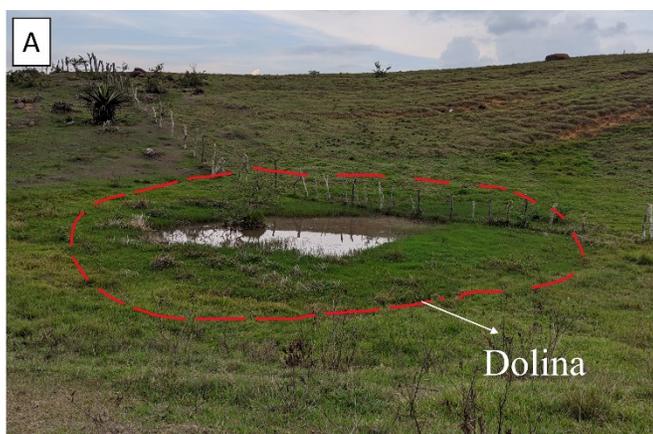


Fig. 4. Dolinas del área de estudio A) Dolina en forma de artesa cubierta de agua con forma circular B) Dolina con forma elíptica. Fotografías: Los autores

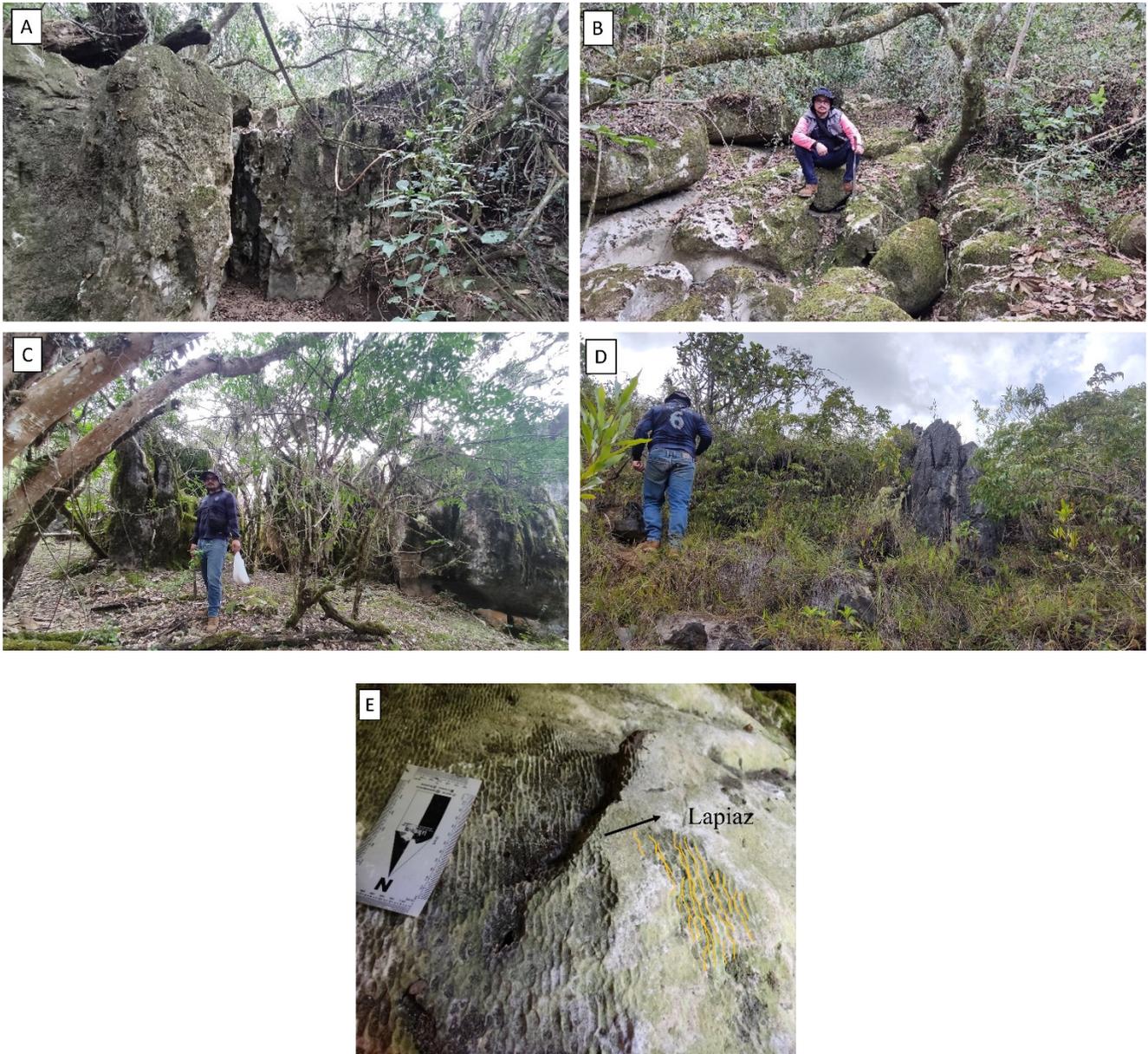


Fig. 5. A y B) Lapiaz tipo Kluftkarren. con formas suavizadas desarrollados a lo largo del drenaje. C y D) Lapiaz tipo Kluftkarren con formas angulosas desarrollado por precipitación. E) Lapiaz tipo Rillenkarrren alineado en roca calcárea masiva por gotas de lluvia. Fotografías: Los autores.

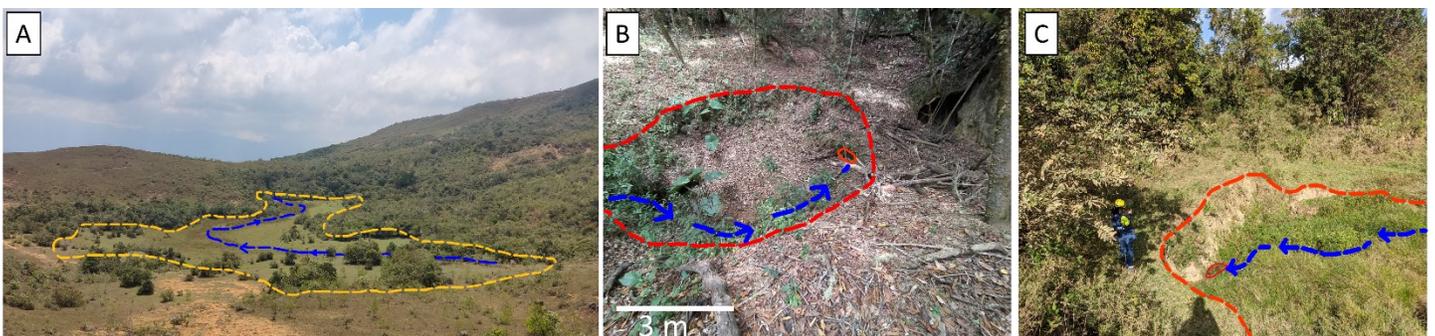


Fig. 6. A) Valle ciego con flujo de agua activo. B) y C) Sumideros de origen cárstico con flujo de agua activo. Fotografías: Los autores.

4.1.2 Morfología Endocárstica

La Tabla 1 presenta las características de las geoformas endocársticas encontradas en la meseta de Paramillo que corresponden a 3 cuevas y una sima; y la Figura 7 muestra la ubicación geográfica de las cavidades en el área de estudio. Aunque la sima es una forma exocárstica, se explica en el componente endocárstica debido a que presenta un desarrollo a nivel subterráneo.

Sima. Cueva de los Murciélagos. La Cueva de los Murciélagos corresponde a una sima de profundidad de 48 metros aproximadamente y su nombre es dado por los campesinos de la vereda debido a la gran cantidad de murciélagos que la habitan. Se ubica al NW del área de estudio y presenta un diámetro mayor de 13,5 metros y un diámetro menor de 7 metros. Como se observa en la Figura 8B y en el mapa de la Figura 9 presenta una forma lenticular que funciona como una única entrada.

Tabla 1. Resumen de las características de las cavidades en la meseta de Paramillo

Tipo	Nombre	Coordenadas			Funcionamiento	
		X	Y	Z		
1	Sima	Los Murciélagos	8.017193	-73.10463	1975 msnm	Activa
2	Cueva	La Chácara	8.002505	-73.117796	1972 msnm	Inactiva
3	Cueva	La Capilla	8.002574	-73.117502	1976 msnm	Ocasional
4	Cueva	Los Cedros	7.99815	-73.11357	2050 msnm	Activa

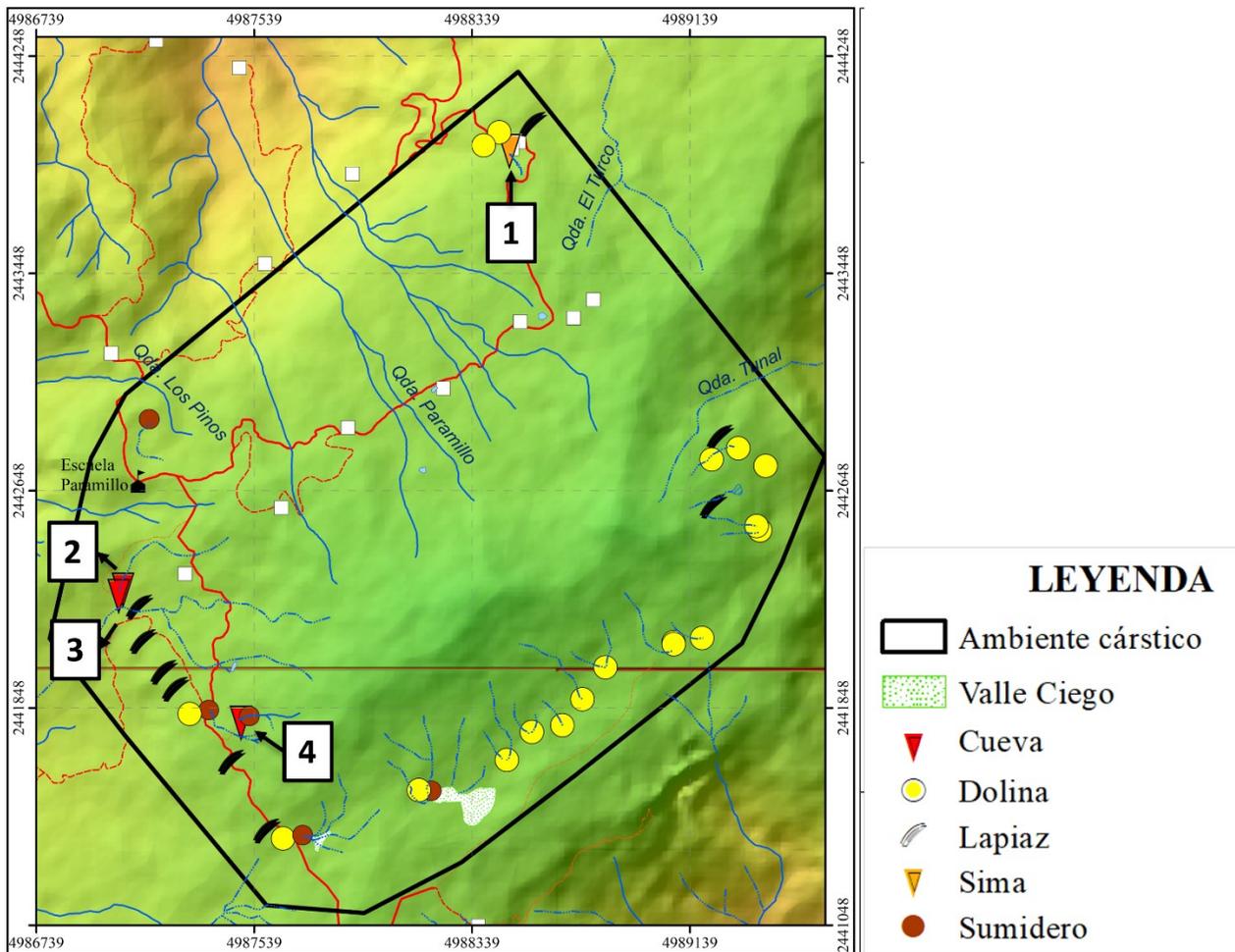


Fig. 7. Ubicación de las cuevas y sima en el área de estudio. 1. Sima Los Murciélagos, 2. Cueva La Chácara, 3. Cueva La Capilla, 4. Cueva Los Cedros.



Figura 8. Cueva de los Murciélagos A) Saliente de la sima donde se puede observar el fondo B) Vista del fondo de la sima. C) Vista panorámica de la forma de la entrada de la sima D) Estratos calcáreos masivos de la cueva. Fotografías: Los autores.

Presenta un flujo bajo pero constante de agua que desemboca en la sima lo que contribuye a la erosión y disolución de la roca. Sus paredes son verticales en la parte alta constituidas por roca calcárea masiva y se observa el depósito de sedimentos de lodo y arcilla en parte del fondo. No se evidencia desarrollo de espeleotemas ni formas de precipitación.

Se considera una sima de hundimiento o dolina de desplome debido a la forma vertical de la cavidad, por lo que se presume se formó por el colapso de la bóveda de un salón subterráneo pre-existente (Gilli, 2015). Presenta tramos que continúan, pero no se pudieron medir porque su ingreso se puede realizar solo con equipo de progresión vertical; por lo que el nivel de desarrollo y complejidad de la cavidad puede variar. Además, continua en proceso de formación por disolución porque su funcionamiento está activo debido al afluyente que drena en ella. A 70 metros al NW de la sima se encuentra una dolina que coincide con la dirección de las diaclasas medidas. De esta manera, la dolina y la sima podrían estar alineados en un patrón estructural.

Cueva La Capilla. Se ubica al SW del área de estudio en el curso de un drenaje. Esta cavidad debe su nombre a la forma de la entrada que asemeja una puerta de iglesia según los habitantes de la vereda y la cual reconocen con este nombre. Presenta una sola entrada que exhibe una forma elipsoidal lenticular vertical originada por la disolución a lo largo de planos estructurales de rocas calcáreas masivas de la Formación Tibú – Mercedes (Llopis, 1970; Travassos, 2019). Se considera la cavidad como un sistema seco debido a un canal de flujo de agua inactivo que antes drenaba hacia la cueva, y de funcionamiento ocasional debido a la presencia de coladas en el techo, donde el aporte de material se produce únicamente por la precipitación de agua lluvia.

La vista de perfil de la Figura 11 muestra que la morfología de la caverna exhibe una forma compuesta claviforme, es decir en forma de clavo, lo que correspondería a una cavidad superior excavada a presión con forma circular o elipsoidal y una cavidad inferior lenticular, excavada por erosión fluvial sobre una diaclasa vertical (Llopis, 1970; Travassos, 2019). La erosión a presión hidrostática se refleja en las estructuras de tipo lapiaz que se observan en la entrada de la cueva y en las que en la Figura 10b

se resaltan algunas con líneas amarillas; y la erosión fluvial se refleja en la cantidad de sedimentos que se encuentran en la entrada de la cueva. La erosión generada por un antiguo cauce generó un desarrollo vertical de la cueva y una profundización de la misma, registrando una máxima profundidad medida de aproximadamente 94 metros, por lo que se puede ingresar solo con equipo de progresión vertical. Se define como una cueva pequeña y se considera que tiene un nivel de complejidad interior simple (Valdivieso-Bohórquez, 2022).

Cueva La Chácara. Esta cueva se ubica al SW del área de estudio y debe su nombre a la forma longitudinal de la cavidad que los habitantes asocian como una cortada de un machete y en su forma coloquial denominan chácara. Presenta dos entradas y paredes verticales, el techo colapsado y una profundidad de 16 metros. Esta cueva se formó a lo largo del cauce de una quebrada debido a la presencia de un depósito de sedimentos y a las formas de erosión presentes en los estratos masivos de roca calcárea donde se desarrolla. Actualmente no presenta un flujo de agua por lo que se considera un sistema seco e inactivo y no se evidencia

el desarrollo de espeleotemas. De acuerdo a su morfología en forma de canal como se aprecia en la Figura 12b, indica un proceso de erosión por excavación fluvial efectuada sobre una diaclasa (Travassos, 2019), la cual por su ubicación está asociada en un patrón estructural con el trazo de la falla de Paramillo.

Presenta un desarrollo de 13 metros por lo que es una cueva pequeña y un coeficiente de verticalidad de 0.478; por lo que su valor < 1 indican que la cueva es horizontal. Se considera que tiene un nivel de complejidad interior simple, pero debido a que presenta tramos que continúan, el nivel de complejidad y tamaño pueden variar. Estos parámetros son medidos según Valdivieso-Bohórquez (2022).

De acuerdo con la ubicación en el terreno y a la morfología representada en el mapa de la Figura 11, se presume que la cueva La Chácara y la cueva La Capilla están conectadas, debido a su proximidad (25 metros en distancia) y a la dirección de una visual lanzada sobre un tramo que coincide con la ubicación de La Capilla en sentido NE.

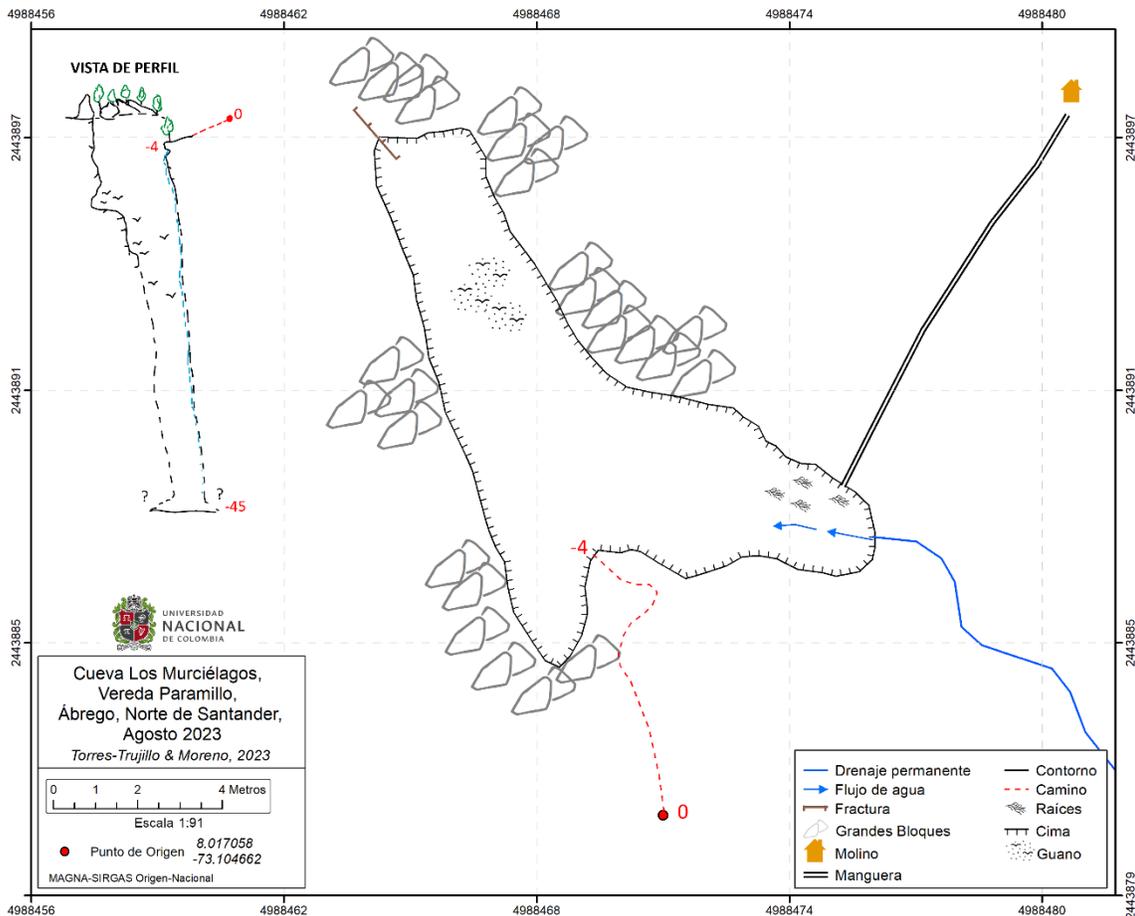


Fig. 9. Mapa espeleológico de la Cueva de Los Murciélagos.



Fig. 10. A) Entrada de la cueva La Capilla. B) Diaclasas y formas de lapiaz a la izquierda de la entrada de la cueva. Fotografías: Los autores.

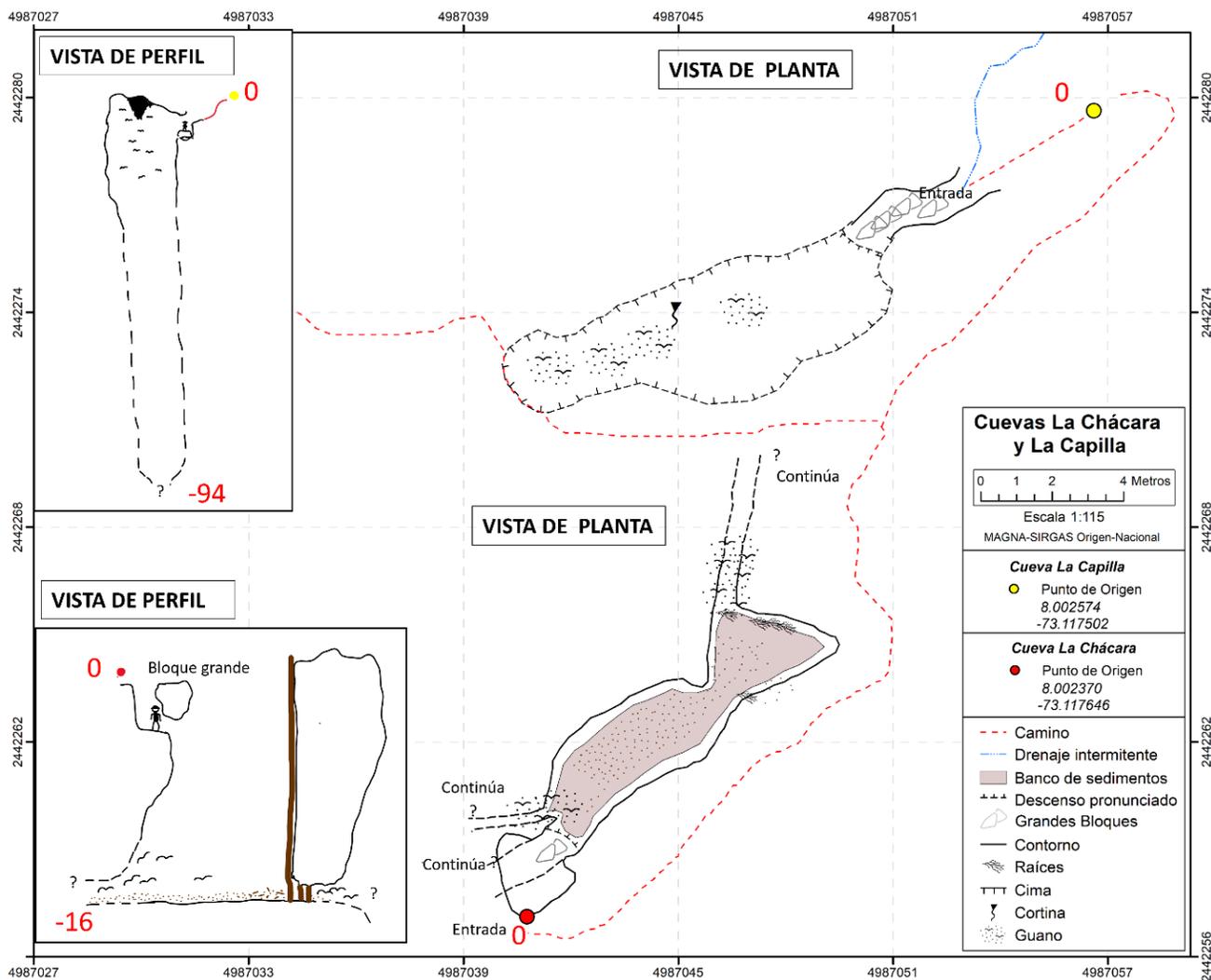


Fig. 11. Mapa espeleológico de las cuevas la Capilla y la Chácara. Arriba: Cueva la Capilla. Abajo: Cueva la Chácara. Nótese la poca distancia entre las cuevas.



Fig. 12. A) Vista panorámica de la parte interna de la cueva de La Chácara B) Vista panorámica desde el exterior de la cueva. Nótese el espesor de la roca calcárea masiva y los sedimentos en el fondo. Fotografías: Los autores.

Cueva Los Cedros. La Cueva de los Cedros debe su nombre a los árboles de gran altura de esta especie que se encuentran sobre la entrada de la Cueva. En la Figura 14 se muestra la única entrada a la cueva, a la que se accede descendiendo 2.5 m por una raíz de 15 cm de espesor aproximadamente. La entrada de la cueva presenta una forma circular y estrellada debido a la disolución por el agua entre los planos de estratificación de la Formación Tibú – Mercedes (Llopis, 1970; Travassos, 2019), lo que ha generado la pérdida de cohesión entre los estratos y la caída de grandes bloques; presentes en la entrada y en varios sectores de la cueva.

Esta cavidad se ubica a lo largo de la quebrada del mismo nombre y se considera parcialmente activa debido a una bocatomía improvisada, por la cual los habitantes llevan agua a sus fincas mediante mangueras, lo que restringe el caudal de agua que entra a la cueva. Además, la presencia de un sumidero, ubicado 2 metros más abajo de la bocatomía, también disminuye el caudal y hace que el agua percole en la roca, continuando los procesos de disolución, pero a mayor profundidad.

La cueva tiene un desarrollo de 112 metros por lo que se clasifica como cueva pequeña y presenta un desnivel de -48 m en la vertical. Presenta un coeficiente de verticalidad de 0.571; el valor < 1 indica que la cueva es horizontal a subhorizontal. Para explicar mejor su desarrollo se ha dividido en tres secciones como se aprecia en la Figura 13.

Sección 1. Presenta un desarrollo longitudinal de 29 metros y está compuesta por la entrada de la cueva y el salón de los bivalvos. La entrada corresponde a una bóveda con altura de 7 metros y ancho de 6 metros. El techo está parcialmente colapsado debido a la gran cantidad de bloques caídos que se observa de forma angular y tabular con un tamaño de 50 cm a 2 metros como se aprecian en la Figura 14b. Se tiene en la entrada de la cueva el desarrollo de espeleotemas parietales como coladas y la presencia de *gours*; lo que indica que ha habido una disminución en la circulación del agua generando una decadencia hídrica y facilitando la depositación de arcillas de descalcificación para formar los *gours* de acuerdo con Llopis, (1970).

El salón de los bivalvos se denomina así, debido a la presencia de fósiles de bivalvo de gran tamaño (15 cm de longitud) del género *Cucullaea* (?) en el techo de la cueva. El salón presenta una altura de 2 metros y un ancho que va de 6 metros a 10 metros. Se observan formas cenitales de estalactitas de corta longitud entre 5 a 20 cm de largo de forma cilíndrica y con formas excéntricas, es decir, que no presentan un eje vertical (Travassos, 2019). Algunas presentan gotitas de agua lo que indica que continúan en desarrollo y otras han cesado su crecimiento. También hay espeleotemas pavimentarias, como estalagmitas de 10 a 20 cm de longitud, algunas de las cuales cesaron su crecimiento debido a la precipitación de material arcilloso que tapa el conducto de las es-

talactitas y, por lo tanto, detiene la precipitación de material cal- cáreo necesario para que las estalagmitas se formen.

En la primera sección de la cueva de Los Cedros se observan espeleotemas parietales, como cortezas de carbonato de calcio con formas oolíticas y botrioidales, columnas y coladas de gran tamaño (3.50 metros de longitud). Esto indica un alto volumen de precipitación y de disponibilidad de carbonato de calcio. Se identificaron estructuras denominadas como “popcorn”, principal- mente en estalactitas y coladas lo que indica presencia de corrien- tes de aire dentro de la cueva (Llopis, 1970; Travassos, 2019).

Sección 2. Se compone por una galería de 50 metros de lon- gitud con sección rectangular y alargada, con una altura promedio de 1 metro y un ancho de 3 a 7 metros, en la que la mayoría del recorrido se debe realizar agachado en posición de cuclillas. Este tramo presenta una dificultad alta debido a la posición en la que

debe recorrerse y a la disposición de una gran cantidad de bloques caídos con formas angulares y tabulares, los cuales corresponden a los estratos que se han desplomado del techo de la cueva por la pérdida de cohesión de los planos de estratificación.

En la galería se ha desarrollado una chimenea de 4 metros de altura que no presenta conexión con el exterior. En esta chimenea se observa el desarrollo de formas de precipitación parietales de coladas y cortinas. A lo largo de la galería se observa estalactitas de tamaños entre 5 a 10 cm y también se evidencian algunas es- talactitas que han llegado al estadio final de evolución formando columnas (Travassos, 2019). De igual manera, se observan cola- das parietales de aproximadamente 1 metro en la vertical, Figura 15b. Respecto a la precipitación de material, se observa junto al carbonato de calcio el depósito de material arcilloso, así como de óxidos de hierro debido a la coloración rojiza en las estructuras.

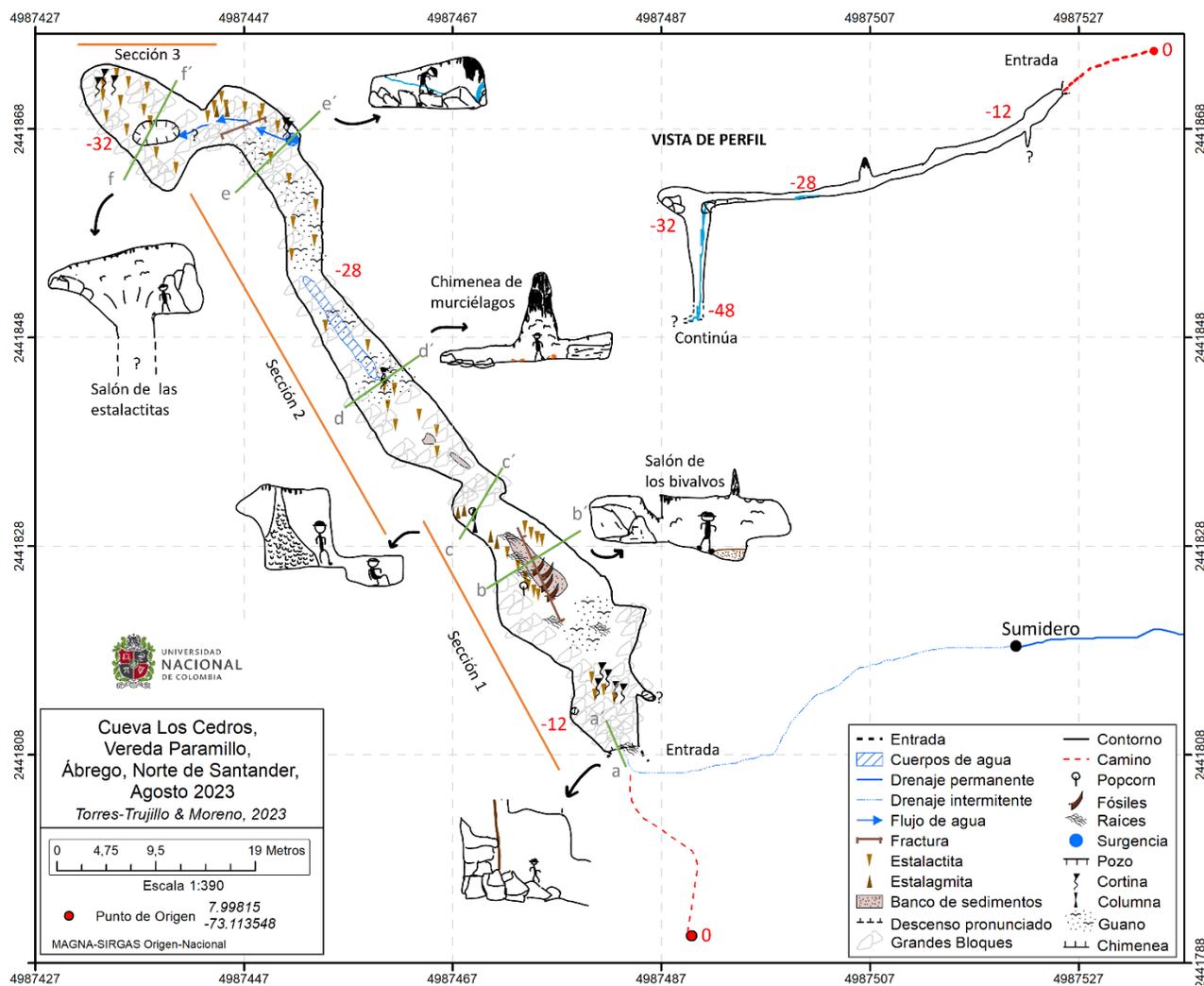


Fig. 13. Mapa espeleológico de la cueva Los Cedros.

En cuanto a los espeleotemas pavimentarios, se encuentran pocas estalagmitas de pequeño tamaño, entre 10 a 20 cm de altura, lo que sugiere que el proceso de infiltración del agua es lento o las estructuras podrían haberse formado reciente-mente. Además, se observan precipitaciones de carbonato de calcio, lo que indica que estas estalagmitas continúan en desarrollo, a diferencia de las observadas en el salón de los bivalvos.

Al final de la galería se encuentra una surgencia lateral de agua, como se observa en la Figura 15c, que emerge entre los planos de estratificación de la roca y ha generado la excavación de un pequeño cauce dentro de la cavidad y la formación de un pozo de gran profundidad (18 -20 metros). Debido a la presencia de este flujo de agua, la cueva continúa en desarrollo y se considera un sistema vivo.

La presencia de un pozo de diámetro de 35 cm y 6 m de profundidad al inicio de la cueva, indica que el agua está realizando procesos de erosión por debajo del primer nivel de la cavidad. Por lo tanto, se presume que el flujo de agua corresponde al que se infiltra mediante el sumidero cerca de la bocatoma y está realizando

procesos de disolución, erosión y corrosión a través de los planos de estratificación de las rocas hasta surgir nuevamente 29 metros bajo la superficie, siguiendo la vertical.

Sección 3. Se compone por un segundo salón de la cueva ubicado al final del trayecto y se denomina salón de las estalactitas, debido a la presencia de estas estructuras en el techo que se forman a lo largo de diaclasas, Figura 16. Presenta una longitud de 16 metros y un ancho de 7 metros; a este punto de la cueva se ha descendido 32 metros en la vertical. Se observa el desarrollo de espeleotemas parietales como coladas y una gran disposición de bloques caídos con tamaños de 1 a 2 metros. El desarrollo de la cueva continúa mediante un pozo de 18 a 20 metros de profundidad por lo que es necesario un equipo de progresión vertical. Dentro del pozo se tiene un desnivel total de 48 metros en la vertical.

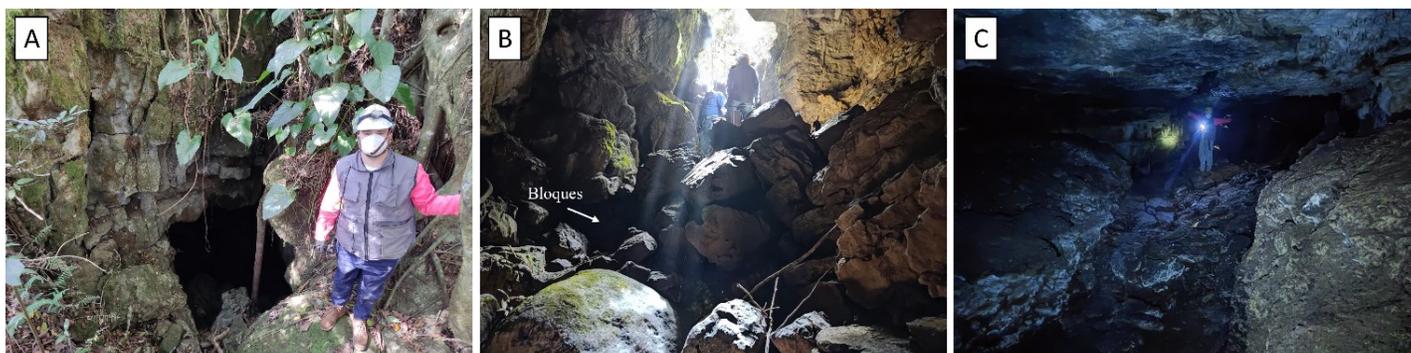


Fig. 14. A) Vista de la entrada de la cueva desde el exterior B) Vista de la entrada de la cueva desde el interior. C) Salón de los bivalvos. Fotografías: Los autores.

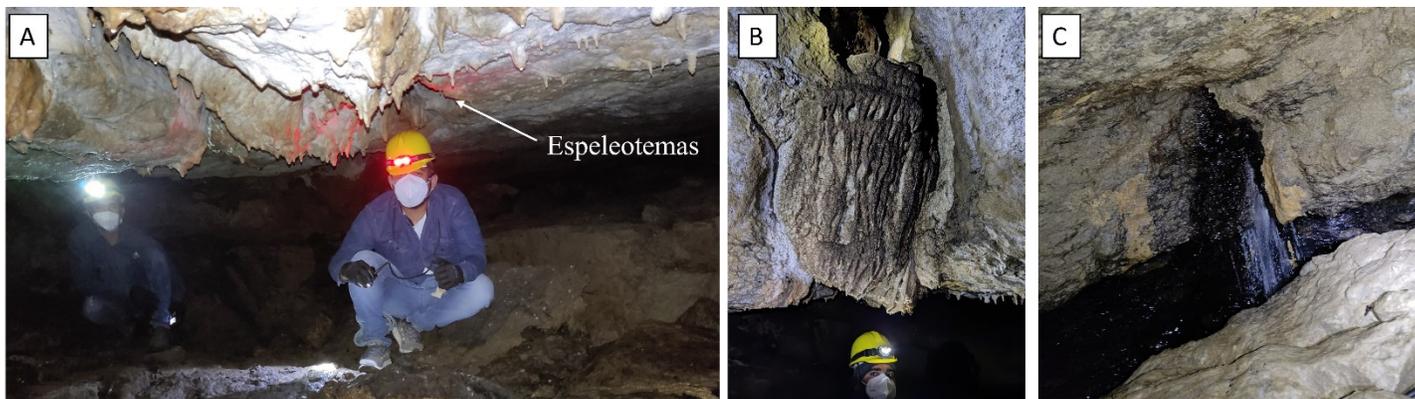


Fig. 15. A) Forma en la que debe recorrerse la cueva. En el techo se evidencia el desarrollo de espeleotemas. B) Cortinas parietal con depósito de óxidos de hierro. C) Surgencia de agua entre los planos de estratificación. Fotografías: Los autores.

Según la morfología, estructuras de precipitación y erosión presentes en la cueva, se considera una cavidad de actividad intermitente y goteo abundante que se desarrolla de forma escalonada descendente (Llopis, 1970; Travassos, 2019). Ha sido originada por procesos de erosión, procesos graviclásticos y de reconstrucción, siendo la cueva que presenta una ornamentación mejor desarrollada del área de estudio. A diferencia de las cuevas anteriores, las formas de erosión y formas graviclásticas se ha dado principalmente por los planos de estratificación de los estratos, que presentan un espesor entre 1 a 2 metros de intercalaciones de lodolitas, areniscas y especialmente roca calcárea. Las formas de reconstrucción se han dado principalmente por diferentes grupos de diaclasas presentes en el techo de la cavidad que favorecen el goteo y la precipitación de carbonato. Se evidencia a lo largo de la cueva una morfología de cauce y depósitos de agua, que indican que el agua generó procesos de erosión y disolución. Se considera que la cueva tiene un nivel de complejidad interior moderada.

4.2 Componente Geológico

4.2.1 Paleontología

En el área de estudio, en las rocas de la Formación Tibú-Mercedes se encontró abundante material fosilífero. En los segmentos calcáreos compuestas de estratos masivos y muy gruesos (1 a 6 metros) de *wackstone* y *packstone*, de color gris, predomina restos de fragmentos de bivalvos, equinodermos y gastrópodos, Figura 17 a y b. Los segmentos lodosos compuestos de lodolitas calcáreas, en estratos con laminación ondulada, de color negro a marrón; incluye moldes internos y externos y abundantes fragmentos de bivalvos, gastrópodos, pellets fecales y en menor proporción anélidos. Esta fauna fósil refleja condiciones ambientales de facies someras

En estratos muy delgados de lodolitas, con abundante materia orgánica y restos carbonosos, con laminación plano-paralela, se reporta la presencia de bivalvos y amonoides aplastados, Figura 18. Los amonoides presentan una ornamentación de costillas primarias rectilíneas, no se observa costillas secundarias, hay un interespacio entre las costillas, presentan ombligo y el desarrollo de la concha es evoluta. Por la morfología que exhiben se clasifican como *Colombiceras* debido al parecido con este grupo, el cual arroja un rango estratigráfico del Aptiano.

4.2.2 Análisis petrográfico

Se realizaron 5 secciones delgadas a partir de muestras tomadas al interior de las cuevas con el fin de determinar en qué tipo de litología se desarrollan, analizar la diagénesis y la presencia de fauna fósil.

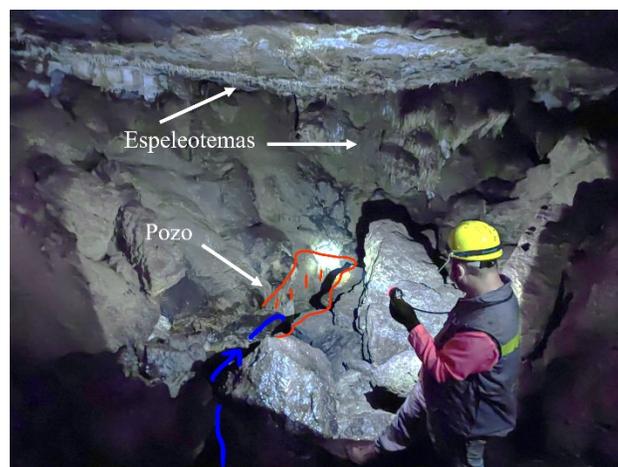


Fig. 16. Salón de las estalactitas. Fotografías: Los autores.

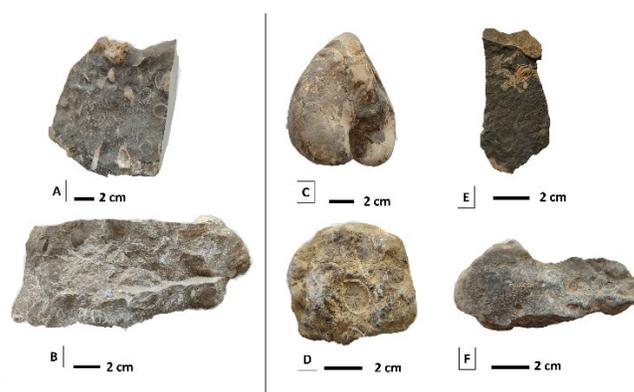


Fig. 17. A) y B) Muestras de rocas de segmento calcáreo con presencia de bivalvos C) Molde interno de bivalvo del género *Cucullaea* sp. (?) D) Muestra de roca con cortes transversales de valvas de bivalvos E) Lodolita con fósil de gastrópodo F) Anélidos en muestra de roca. Fotografías: Los autores.

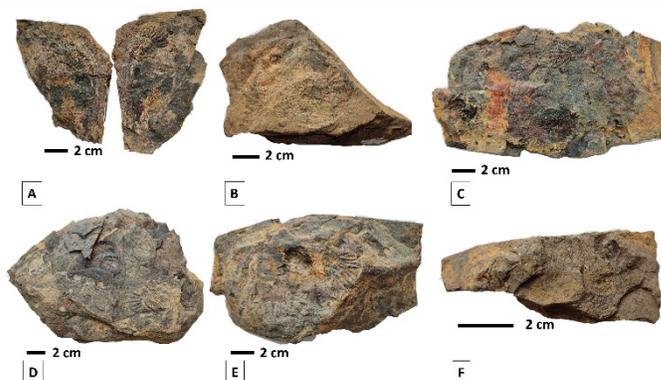


Fig. 18. Ejemplares de amonoides del género *Colombiceras* en lodolitas con materia orgánica y restos carbonosos. Fotografías: Los autores.

Las cinco muestras analizadas en la Figura 19, son definidas en base a la clasificación composicional y textural de Folk (1959, 1962) que utiliza el porcentaje relativo de granos (aloquímicos), matriz (micrita) y cemento calcáreo (esparita) normalizados mediante un conteo composicional y, el porcentaje de esparita y micrita como modificadores texturales; se realizó un conteo de 300 a 400 puntos por cada sección. De igual manera, se analizan mediante la clasificación de rocas calcáreas de Dunham (1962) que se basa en el soporte de la estructura de la roca. Los resultados se resumen en la Tabla 2

De occidente a oriente, según la ubicación de las cavidades, la muestra UNG-7467 de la cueva de La Capilla se define como bioesparita mal seleccionada de bivalvos debido a la heterogeneidad en el tamaño de los granos. Respecto a los aloquímicos, presenta fósiles de bivalvos en un 39% de la composición total, seguido de espinas de equinodermos, gastrópodos y *pelets*. La matriz se compone principalmente de esparita y en menor proporción micrita.

Tabla 2. Relación de muestras colectadas para análisis petrográfico

Muestra	Unidad geológica	Cueva	Litología (Folk, 1959, 1962)	Litología (Dunham 1962)
UNG-7466	Formación Tibú Mercedes	Los Cedros	Biomicrita empaquetada	Packstone
UNG-7467	Formación Tibú Mercedes	La Capilla	Bioesparita mal seleccionada	Packstone
UNG-7468	Formación Tibú Mercedes	Los Murciélagos	Bioesparita escasamente lavada	Packstone
UNG-7469	Formación Tibú Mercedes	La Chácara	Bioesparita mal seleccionada	Packstone
UNG-7470	Formación Tibú Mercedes	Techo de Los Cedros	Biomicrita dispersa	Wackstone

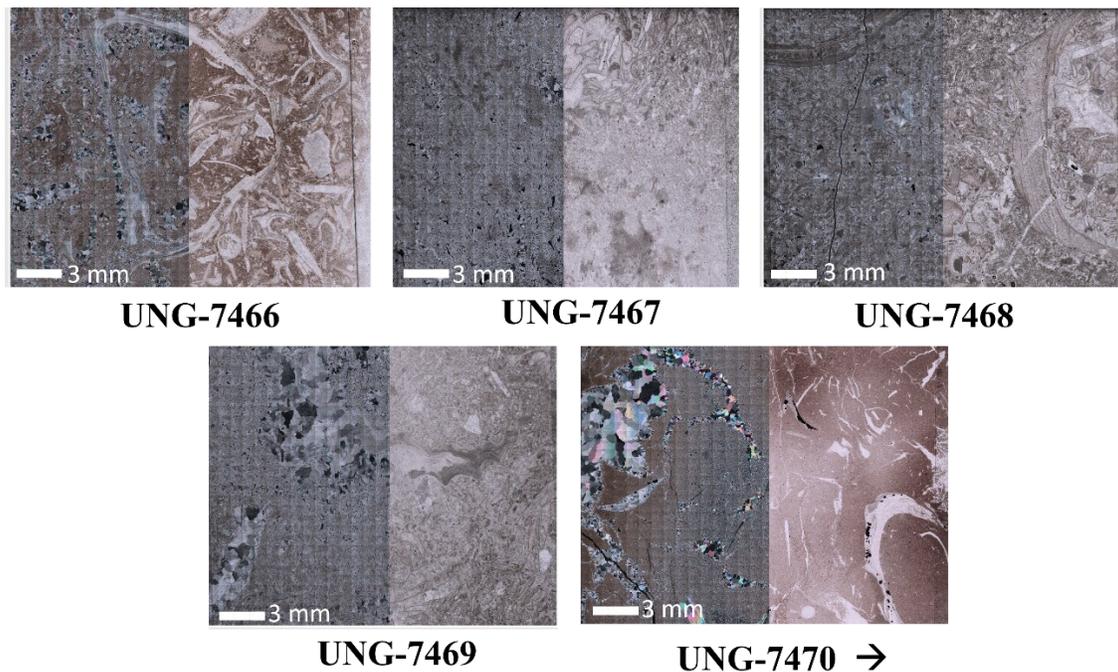


Fig. 19. Secciones delgadas de la Formación Tibú-Mercedes. Mitad derecha: escaneo en nicols paralelos, mitad izquierda: escaneo en nicols cruzados.

La sección delgada de la cueva de Los Murciélagos UNG-7468 es definida como bioesparita escasamente lavada. Presenta aloquímicos de fósiles de bivalvos, seguido de espinas de equinodermos, gastrópodos y algunos braquiópodos, y otros aloquímicos como pelets con un 29% de la composición total. La matriz está en similar proporción de micrita y esparita con un 12.6 y 10% respectivamente. En la cueva de La Chácara (muestra UNG-7469) la litología se define como bioesparita mal seleccionada de bivalvos por la heterogeneidad de los tamaños en los granos y por la predominancia de aloquímicos de fósiles de bivalvos; también presenta pelets y espinas de equinodermos embebidos en una matriz de esparita (8.5%) y en menor medida micrita (2.7%).

Respecto a las tres secciones delgadas descritas anteriormente, en varios de los fósiles no se ve la estructura original sino una forma remanente, evidenciada por un borde negro que indica que hubo un proceso diagenético de micritización creado por cianobacterias. La micritización señala que hubo un reemplazamiento de la micrita por esparita, observándose cristales sucios y conservándose solo el borde de los fósiles. También hubo procesos de disolución, donde la esparita rellena los poros con cristales grandes y limpios. Estos procesos y la clasificación de las secciones anteriores señalan que la litología de la cueva de La Chacara, La Capilla y Los Murciélagos se acumuló en ambientes de modera a alta energía.

Respecto a las muestras de la cueva de Los Cedros (UNG-7466 y UNG-7470), son definidas como biomicrita empaquetada y biomicrita dispersa de bivalvos con un 35% y 17% respectivamente de bivalvos en la composición total. A diferencia de las anteriores secciones, ambas presentan una matriz de micrita. Se encuentran aloquímicos de pelets y fósiles de bivalvos, espinas de equinodermos, braquiópodos y en el caso de la muestra UNG-7466 se evidencia un foraminífero planctónico biserial del género *Protoheterohelix*. La muestra UNG-7466 evidencia un estado intermedio de diagénesis debido a la presencia de estilolitos y la muestra UNG-7470 es la única que tiene minerales opacos como la pirita lo que evidencia un proceso de descomposición de la materia orgánica. Así mismo, es evidente procesos de disolución donde la esparita rellena los poros y fracturas con cristales grandes y limpios. La composición y estructura de las secciones delgadas indica que la litología de la cueva de Los Cedros se formó en un ambiente de baja energía.

Respecto a la clasificación de Dunham (1962) las muestras UNG-7466, UNG-7467, UNG-7468 y UNG-7469 se clasificaron como packstone debido a que el porcentaje de aloquímicos es mayor al 10% y la matriz está soportada por los granos, por lo tanto, la estructura de la roca es granosoportada. Solamente la muestra

UNG-7470 se clasifica como wackstone debido a que su estructura es soportada por una matriz de lodo calcáreo.

5. DISCUSIÓN

En la meseta de Paramillo, el desarrollo del ambiente cárstico inició por la fuerza mecánica del agua, que erosionó las lodolitas con alto contenido de materia orgánica que sobreyacen en contacto concordante sobre los estratos de roca calcárea clasificada como wackstone y packstone, exponiendo la roca calcárea al contacto directo con el agua. Al haber una directa interacción del agua sobre las rocas calcáreas, el agua comienza a diluir las rocas calcáreas de la Formación Tibú – Mercedes expresadas en una primera etapa en la formación de lapiaz.

Además, el desarrollo de la morfología cárstica se debió también a la presencia de elementos estructurales como fallamiento, plegamientos y diaclasamiento leve e intenso, que facilitó la disolución de la roca por los planos de mínima resistencia (Llopis, 1970; Gilli, 2015). La ubicación geográfica de las cuevas de la Capilla y la Chácara coinciden con el trazo de la falla de Paramillo, por lo que está asociada a la génesis del sistema espeleológico. De igual manera, la circulación del agua es un factor esencial que genera disolución, erosión y meteorización de la litología; las 4 cavidades se ubican a lo largo de drenajes lo que ha facilitado su desarrollo, tanto de forma vertical como horizontalmente. En el caso de la cueva de Los Cedros y Los Murciélagos se consideran sistemas vivos porque aún hay presentes flujos de agua, mientras que en la cueva de La Chácara y La Capilla se consideran sistemas secos e inactivos porque no hay flujo de agua y su desarrollo sólo se ve influenciado por la precipitación de agua lluvia.

Igualmente, se aprecia una espeleogénesis secundaria dada por formas de precipitación de material calcáreo. En la cueva de los Cedros, se evidencia una primera fase de precipitación cenital, seguida de una fase parietal y, por último, una fase pavimentaria; y en la cueva de La Capilla se observa una fase cenital (Llopis, 1970). En la Figura 20 se puede observar que los espeleotemas se alinean según diaclasas, se forman entre diaclasas, y entre los planos de estratificación. Por otra parte, debido al tamaño de los espeleotemas, que en su mayoría va de 10 a 30 cm y pocos varían de tamaños de 1 a 4 metros, y al tamaño de las cavidades que se clasifican como cuevas pequeñas (Valdivieso-Bohórquez, 2022), se puede considerar el desarrollo del sistema cárstico como prístino.

Respecto a la morfología exocárstica en el flanco oriental de la meseta de Paramillo, se encontraron geoformas de sumideros, lapiaz, valles ciegos y mayormente dolinas. Las dolinas han disecado el drenaje y presentan una alineación en sentido NE que coincide con el trazo de la Falla de Paramillo y la dirección de los estratos con buzamientos suaves ($<10^\circ$), por lo que estas dolinas se

han desarrollado en diaclasas longitudinales. Debido a la presencia de estas geoformas y el nulo registro de cavidades en el flanco oriental del área de estudio, el estadio de evolución cárstica está en etapa inicial siendo más prematuro que en el flanco occidental.

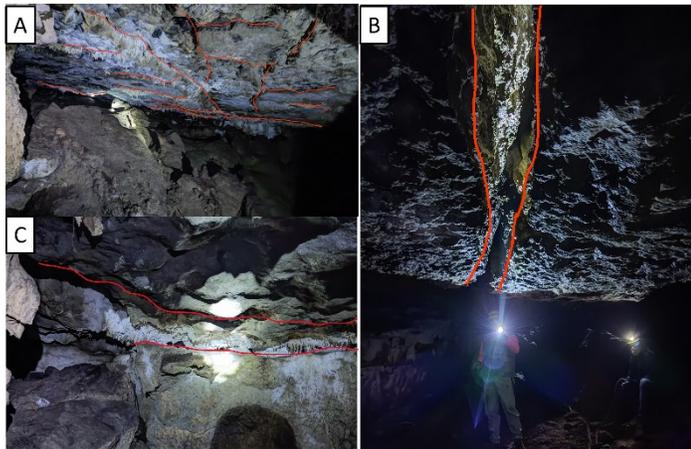


Fig. 20. A) Estalactitas alineadas con diaclasas. B) Precipitación de formas cenitales entre las diaclasas. C) Precipitación entre los planos de estratificación. Fotografías: Los autores.

Mientras tanto, en el flanco occidental que se encuentra fallado y los buzamientos son más pronunciados ($>20^\circ$), se observa el desarrollo de cavidades principalmente de forma vertical, por disolución de aguas superficiales que se infiltran a través de diaclasas. Esto es debido a que los estratos son de gran espesor (10 – 12 metros), lo que genera que los planos de mínima resistencia se den principalmente por las fracturas y no por los planos de estratificación, porque los estratos están fuertemente pegados unos a otros (Llopis, 1970; Gilli, 2015).

Por lo tanto, es más fácil que se rompa la roca a que se pliegue, como en el caso de la cueva de La Capilla, Los Murciélagos y La Chácara que se desarrollan en rocas masivas de packstone. Respecto a la cueva Los Murciélagos, que corresponde a una sima, su formación se debe a la evolución de una dolina en profundidad que generó la caída de bloques, debido a la forma vertical que presenta y a que no se evidencia la formación de espeleotemas (Llopis, 1970; Gilli, 2015).

A diferencia de las otras cuevas, la cueva de los Cedros se desarrolla en intercalaciones de arenitas de grano fino, roca calcárea de packstone y wackstone y lodolitas calcáreas. Las lodolitas calcáreas son más maleables y están dispuestas en estratos de menor espesor (15 cm a 2 metros), por lo que es más factible la formación de pliegues como se observa en la Figura 21a; esto genera una pérdida de cohesión entre los planos de estratificación haciendo más fácil la excavación por el agua. No obstante, también se presentan procesos de diaclasamiento que contribuyen con el desarrollo de la cavidad, Figura 21b. En la cueva de los Cedros

predomina los procesos graviclásticos dado por la caída de bloques y los procesos quimio-clásticos dados por el desarrollo de espeleotemas (Llopis, 1970).

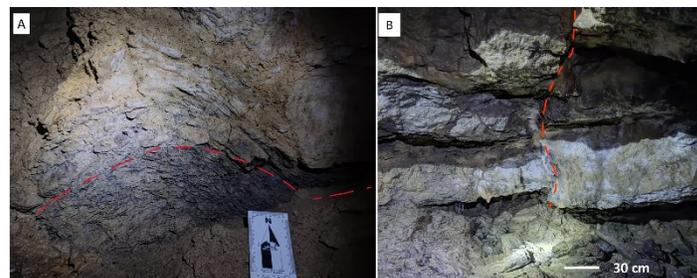


Fig. 2. (A) Plegamiento y (B) diaclasamiento evidenciada en la litología de las cuevas. Fotografías: Los autores.

6. CONCLUSIONES

El área de estudio ha desarrollado diversos rasgos morfológicos exocársticos y endocársticos que permiten describir y estudiar formas como dolinas, valles ciegos, sumideros, sima, lapiaz, cuevas y espeleotemas.

La génesis de este sistema está asociado a procesos estructurales como plegamientos, fracturamiento y diaclasas, y a procesos de espeleogénesis como disolución y precipitación del carbonato de calcio.

De acuerdo con las características morfológicas endocársticas y los procesos involucrados en la formación, las cavidades se dividen en dos grupos: 1. Cavidades de origen fluvial con desarrollo vertical importante, donde prevalecen los procesos de disolución y pocos procesos quimioclásticos a través de diaclasas y fracturas, facilitando los procesos por ser los planos de mínima resistencia: cuevas de los Murciélagos, la Capilla y la Chácara; y 2.

Cavidad de origen fluvial con gran desarrollo donde predominan los procesos de disolución, procesos graviclásticos y procesos quimioclásticos a través de los planos de estratificación, diaclasas y fracturas, facilitando el desarrollo de formas cenitales, parietales y pavimentarios y galerías con desarrollo horizontal como es la cueva de los Cedros.

Debido a las manifestaciones exo y endocársticas desarrolladas en la Formación Tibú - Mercedes de rango estratigráfico Aptiano y las cuales se identificaron a partir de fotointerpretación, trabajo de campo y métodos de sistemas de información geográfica se ha definido el área de estudio como el Sistema Cárstico de Paramillo.

La presente investigación constituye el primer trabajo de cartografía y caracterización de la morfología exocárstica y endocárstica en el municipio de Ábrego (Norte de Santander) y representa

una contribución al conocimiento de los sistemas subterráneos y de la investigación espeleológica en el país.

Se recomienda establecer un plan de manejo por las comunidades locales y, estrategias de conservación para los sistemas cársticos de la región con relación a los temas de turismo, control de basuras y uso del suelo. Los datos presentados pueden fomentar nuevos estudios en áreas similares del país.

Financiación

Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia y el Laboratorio *Microfluid Spectral*.

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen intereses financieros o relaciones personales que puedan haber influido en el trabajo reportado en este artículo.

Reconocimientos

Al profesor Pedro Patarroyo por su tiempo, calidez humana y empeño en resolver dudas con los fósiles y estratigrafía del área de estudio; al profesor Carlos Sánchez por su tiempo y colaboración en el reconocimiento de fósiles a nivel petrográfico y a Don Armando Sánchez por su paciencia y ayuda en la elaboración de secciones delgadas. A Andrés Jácome, Nidia Gómez, John Jácome, Yevinson Bayona, David Páez, Andrés Angarita, John Torrado, José del Carmen Vergel, Miguel Vergel, a la señora Myriam y a Jhon Vergel a quienes les estaremos inmensamente agradecidos por su disposición, tiempo, colaboración y amabilidad y permitir que el trabajo de campo fuera más sencillo y llevadero

REFERENCIAS

- Arias, A., & Vargas Higuera, R. (1978). Geología de las planchas 86 Abrego y 97 Cáchira: Departamento de Norte de Santander. *Boletín Geológico*, 23(2), Article 2. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol23.2.1980.362>
- Botero, G., & Sarmiento, A. (1947). Reconocimiento geológico de la carretera Ocaña—Abrego, Sardinata, departamento Norte de Santander (Informe 612). Servicio Geológico Colombiano.
- Carreño, R., & Ghneim, K. (2001). La cueva del Indio en Bochalema, departamento de Norte de Santander, Colombia. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*, 35, 62-64.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. 38, 108-121.
- Fabré, A., Osorio, M., & Vargas, R. (1985). Reseña Explicativa Mapa geológico preliminar Plancha 137 El Cocuy, escala 1: 100.000. Ingeominas.
- Folk, R. L. (1980). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing company. <https://core.ecu.edu/rigsby/rigsby/sedimentology/entirefolkpdf.pdf>
- Gilli, É. (2015). Karstology: karsts, caves and springs: elements of fundamental and applied karstology. CRC Press.
- Llopis, N. (1970). Fundamentos de hidrogeología cárstica: Introducción a la geoespeleología. Blume.
- Mendoza-Parada, J. E., Moreno, J. M. M., & Rodríguez Orjuela, G. R. (2009). Sistema Cárstico de la Formación Rosa-blanca Cretácico inferior, en la provincia santandereana de Vélez, Colombia. *Geología Colombiana*, 34(0), 35-44.
- Mendoza-Parada, J. E., Rodríguez Orejuela Gustavo, & Moreno Murillo Juan Manuel. (2006). La Importancia de Crear el Registro Catastral de las Cavernas Colombianas. III Seminario de Espeleología, 151-156.
- Notestein, F. B., Hubman, C. W., & Bowler, J. W. (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. *Geological Society of America Bulletin*, 55(10), 1165-1216. <https://doi.org/10.1130/GSAB-55-1165>
- Núñez Jiménez, A., Viña Bayes, N., Acevedo González, M., Rodríguez, J. M., Iturralde Vinent, M., & Graña Gonzalez, Á. (1988). Cuevas y Carsos (Primera). Editorial Científico-Técnica.
- Royo y Gómez, J. (1947a). Edad de algunas muestras recolectadas por los geólogos G. Botero Restrepo y A. Sarmiento Alarcón en el Norte de Santander (Servicio Geológico Nacional (SGNC), Ed.). Servicio Geológico Nacional (SGNC).
- Royo y Gómez, J. (1947b). Estudio de varias muestras recogidas por los geólogos G. Botero Restrepo y A. Sarmiento Alarcón en Norte de Santander (Servicio Geológico Nacional (SGNC), Servicio Geológico Nacional (SGNC).
- Sánchez, C., & Martínez, N. (1991). Petrografía e Interpretación Ambiental de la Formación Tibú, Grupo Uribante (Aptiano) en el Campo Río de Oro, Cuenca del Catatumbo, con base en núcleos de perforación. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Servicio Geológico Colombiano. (2015a). Mapa Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa Por Movimientos en Masa. Escala 1:100.000. Plancha 86 Ábrego [Map]. https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/605_19_PL86_MapGmfMovMasaAbrego_SINC/Documento/Pdf/MemTecExpMapGmfAnalAplAmenMovMasaPl86.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. (2015b). Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa Por Movimientos en Masa. Escala 1:100.000. Plancha 86 Ábrego. https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/605_19_PL86_MapGmfMovMasaAbrego_SINC/Documento/Pdf/MemTecExpMapGmfAnalAplAmenMovMasaPl86.pdf
- Travassos, L. E. P. (2019). Principios de cristología e geomorfología cárstica. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. https://www.researchgate.net/publication/337911748_Principios_de_carstologia_e_geomorfologia_carstica.
- Valdivieso - Bohórquez, G. E. (2022). Parámetros espeleométricos para levantamientos espeleológicos de cavidades colombianas. *Mundo subterráneo: Revista de espeleología*, 8, 2-20.

- Valdivieso - Bohórquez, G. E., & Manco, D. C. (2018). Método de cartografía básica de cavernas con instrumentos de fácil acceso (brújula y decámetro). VIII Congreso Espeleológico de América latina y el Caribe y I Congreso Colombiano de Espeleología. https://www.researchgate.net/publication/331634399_Metodo_de_cartografia_basica_de_cavernas_con_instrumentos_de_facil_acceso_brujula_y_decametro.
- Vargas, R. y Arias, A. (1981). Geología de la plancha 86, Ábrego. Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., B, J. C., & A, H. R. (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander. Boletín Geológico, 21(1-3), Article 1-3. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol21.1-3.1973.383>