



Boletín de Geología

ISSN: 0120-0283

ISSN: 2145-8553

Universidad Industrial de Santander

Gelvez-Chaparro, Jorge; Barajas-Rangel, Daniel;
Herrera-Ruiz, Juliana; Ríos-Reyes, Carlos Alberto
Introducción al Geopatrimonio kárstico del municipio de El Peñón (Santander), Colombia
Boletín de Geología, vol. 42, núm. 2, 2020, Mayo-Agosto, pp. 147-167
Universidad Industrial de Santander

DOI: 10.18273/revbol.v42n2-2020008

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349665545009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UNEN
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Introducción al Geopatrimonio kárstico del municipio de El Peñón (Santander), Colombia

Jorge Gelvez-Chaparro¹; Daniel Barajas-Rangel¹; Juliana Herrera-Ruiz¹; Carlos Alberto Ríos-Reyes^{1*}

doi: <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n2-2020008> 

Forma de citar: Gelvez-Chaparro, J.; Barajas-Rangel, D.; Herrera-Ruiz, J.; Ríos-Reyes, C.A. (2020). Introducción al Geopatrimonio kárstico del municipio de El Peñón (Santander), Colombia. *Boletín de Geología*, 42(2), 147-167. doi: 10.18273/revbol.v42n2-2020008.

Resumen

Los sistemas kársticos constituyen uno de los ambientes más vulnerables al cambio climático y las acciones humanas, así mismo las actividades turísticas mal desarrolladas en áreas con sistemas kársticos (espeleoturismo) han demostrado que pueden ser una amenaza para su conservación, sin embargo, el turismo también podría ser una forma efectiva de conservación aportando a su vez al desarrollo sostenible de los territorios rurales. El municipio más joven de Santander, El Peñón, ubicado sobre rocas calcáreas de la Formación Rosablanca constituye un extenso e importante sistema kárstico que alberga una gran riqueza geológica, paisajística, arqueológica y biótica. El desarrollo kárstico de la región está regido por el control tectónico de la zona evidenciado en las orientaciones preferenciales NW-SE y NE-SW que adquieren las unidades exo y endokársticas. El estado casi pristino de la gran mayoría de estas manifestaciones subterráneas permite su estudio para la contribución al planteamiento de alternativas que vean este patrimonio como un recurso con gran potencial para aportarle al desarrollo sostenible de este territorio.

Se presentan avances en el inventario del patrimonio geológico kárstico con el que cuenta el municipio de El Peñón, y la valoración por medio de la metodología M-GAM de los primeros 6 geotopos identificados: Cañón de Panamá, Caverna Los Carracos, Cueva del Oro, Cueva de La Virgen, Karst Town y Caverna La Tronera. La evaluación por medio de esta metodología permitió conocer la situación actual del turismo en la región y confirmar que estos lugares poseen una riqueza única con vastas oportunidades para el desarrollo del geoturismo y espeleoturismo. La aplicación del índice estandarizado de sensibilidad de cuevas permitió conocer el grado de sensibilidad a las acciones antrópicas de estos ecosistemas, indicando el mayor control que debe existir sobre las actividades que se desarrollen en la galería inferior de la Caverna Los Carracos y la Cueva del Oro.

Palabras clave: Karst; Geoturismo; Espeleoturismo; Cueva.

Introduction to the Karst Geoheritage of the municipality of El Peñón (Santander, Colombia)

Abstract

Karstic systems constitute one of the most vulnerable environments to climate change and human actions, the tourist activities not suitable in areas with karstic systems (speleotourism) have shown that it can be a danger to their conservation, nevertheless, tourism could also be an effective way of conservation contributing to the sustainable development of rural territories. The youngest municipality in Santander, El Peñón, located on calcareous rocks of the Rosablanca Formation constitutes an extensive and important karstic system that houses a great geological, landscape, archeological and biotic wealth. The karstic development of the region is governed by the tectonic control of the area evidenced in the preferential orientations NW-SE and NE-SW acquired by the exo and endo karst units. The almost pristine state of the great majority of these underground manifestations allows its study for the contribution to the approach of alternatives that see this heritage as a resource with great potential to contribute to the sustainable development of this territory with a recent past of violence.

Advances are made in the inventory of the karstic geological heritage that El Peñón has, and the valuation through the M-GAM methodology of the first 6 identified geosites: Panama canyon, Los Carracos Cavern, Golden Cave, Virgin's Cave, Karst Town and La Tronera Cavern. The evaluation through this methodology allowed an evaluation of tourism in the region and confirm that these places have a unique wealth with vast opportunities for the development of geotourism and speleotourism. The application of the standardized index of sensitivity of caves also allowed us to have a better understanding of the richness of these ecosystems, indicating the greater control that should exist over human activities that take place in the lower gallery of Los Carracos Cavern and Golden Cave.

Keywords: Karst; Geotourism; Speleotourism; Cave.

¹Semillero de Investigación en Patrimonio Geológico, Grupo de Investigación en Geología Básica y Aplicada, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. jorgegelvez96@hotmail.com; dsbarajas14@gmail.com; juliana.herrera9314@gmail.com; (*) carios@uis.edu.co

Introducción

El estudio de la geodiversidad y el patrimonio geológico de los territorios es una de las áreas de investigación más jóvenes dentro de las Geociencias, solo en algunos países pioneros como Gran Bretaña se inició a mediados del siglo XX, y surgió a partir de la concientización de ver los elementos geológicos de singular interés (Patrimonio Geológico) como un recurso no renovable que puede aportar de manera significativa al desarrollo sostenible de las zonas rurales principalmente (Carcavilla-Urquí *et al.*, 2007, 2016; Palacio-Prieto *et al.*, 2016). El patrimonio geológico y el geoturismo son interdependientes, el patrimonio necesita ser valorado por toda la comunidad en general, para lo cual el turismo puede ser una forma efectiva de extender la importancia del patrimonio como un componente valioso del mundo natural que una vez identificado necesita ser protegido (Newsome y Dowling, 2018).

En Colombia el patrimonio geológico se estudia desde los años ochenta, las investigaciones se han centrado principalmente en propuestas metodológicas útiles para el estudio y valoración del patrimonio presente en el territorio, con criterios que tienen en cuenta tanto el contexto geológico nacional, como su realidad sociopolítica (Palacio-Prieto *et al.*, 2016). Durante las últimas décadas varios autores llamaron la atención de la necesidad de que en Colombia se reconociera al patrimonio geológico por su importancia desde el punto de vista científico, pedagógico, ambiental, turístico, entre otros, resaltando la ausencia de un marco legal específico dirigido a la protección del patrimonio geológico (Colegial *et al.*, 2002). Hoy, aunque se encuentra en proceso de divulgación e implementación, el patrimonio geológico colombiano ya cuenta con un instrumento legal que propende por su identificación, protección y rehabilitación, el decreto 1353 del 31 de julio de 2018 expedido por el Ministerio de Minas y Energía.

El término *Karst* se ha usado extensivamente para describir un tipo especial de paisaje formado por procesos de disolución en rocas solubles. En Colombia han sido reportadas cientos de cuevas, encontrándose los sistemas kársticos distribuidos en 21 departamentos (Muñoz-Saba *et al.*, 1998) con la mayoría de las manifestaciones principalmente en la Cordillera

Oriental, donde aisladas áreas kársticas contienen un número de cuevas significantes (Gunn, 2004). En Santander, existe el registro de 218 geoformas kársticas georreferenciadas en donde cerca del 14% del área del departamento tiene un potencial alto para el desarrollo de sistemas kársticos, un porcentaje relativamente superior comparado con el de Suramérica donde es menor al 5% (Galvis-Gómez, 2018).

La existencia de turismo en cuevas (espeleoturismo) depende de muchos factores, como las condiciones específicas de cada cueva, la presencia de infraestructura, atracciones específicas, la relación entre la demanda, el posible flujo de público en la cueva y el conocimiento de los impactos negativos (Figueiredo, 2014). Las cuevas que han sido destinadas para un público más amplio, realizando modificaciones de infraestructura para permitir el acceso son conocidas como *show caves*, las cuales se utilizan para el espeleoturismo de masa. Actualmente, alrededor de 500 de las *show caves* más grandes del mundo han beneficiado económicamente a cerca de 100 millones de personas (Cigna y Forti, 2013).

En algunas zonas de Santander donde se llevan a cabo prácticas de espeleoturismo, es común encontrar evidencia de la destrucción de este patrimonio natural irrecuperable, producto de la mala o nula planificación que han tenido estas actividades. En el departamento se ha reportado el uso de cuevas para la disposición de desechos, la destrucción de espeleotemas, grafitis en techos y paredes, material arqueológico saqueado, y en general, graves amenazas a la troglotauna (Gelvez-Chaparro *et al.*, 2018). El territorio de la Provincia de Vélez al sur de Santander presenta un importante desarrollo exo- y endokárstico, siendo la zona del departamento donde más cuevas se han reportado (Figura 1). El objetivo del presente trabajo es contribuir al inventario y valoración del patrimonio natural superficial y subterráneo encontrado en el municipio de El Peñón (Santander), aportando en particular al conocimiento del patrimonio geológico del territorio y planteando estrategias de gestión a partir del desarrollo del geoturismo en un territorio rural que abiertamente se ha opuesto a las prácticas extractivistas. Este inventario de lugares de interés geológico junto a las propuestas de gestión basadas en las valoraciones realizadas, son el primer paso para garantizar la Geoconservación de este patrimonio.

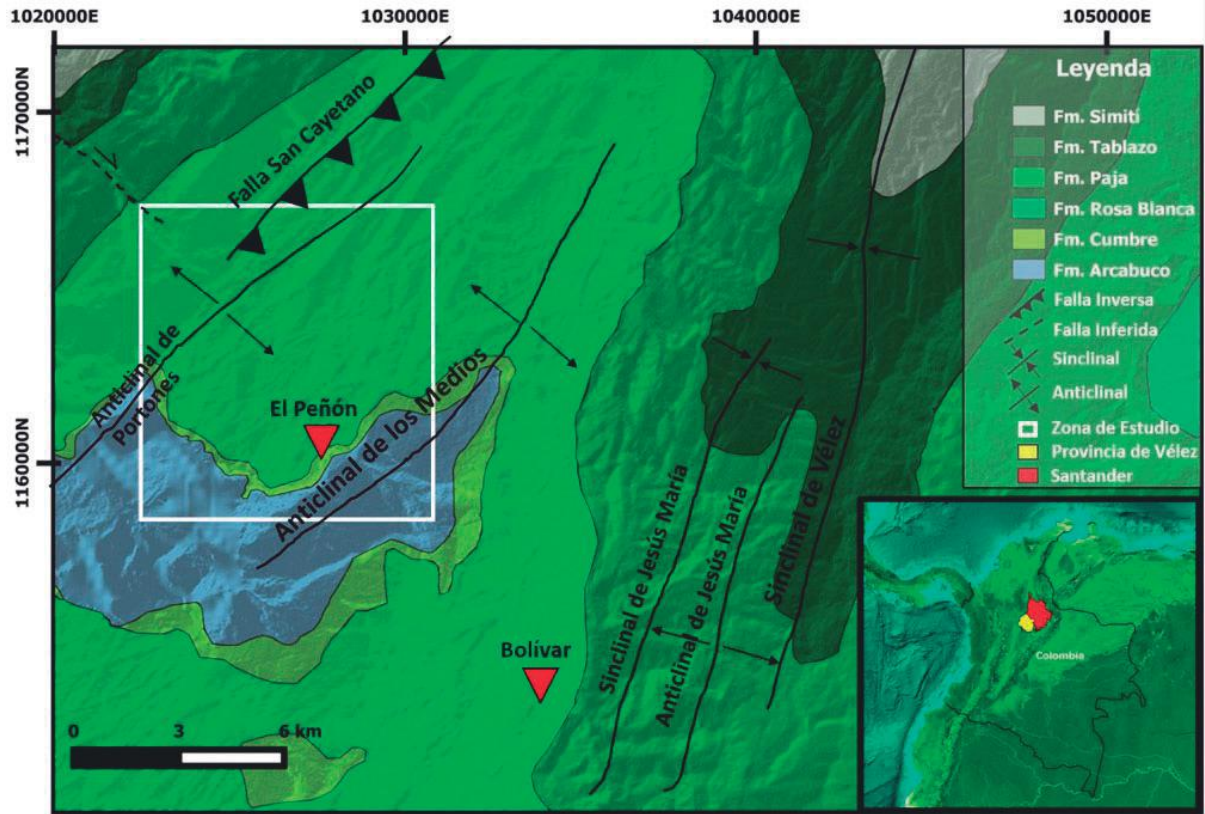


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de El Peñón al sur del departamento de Santander, Colombia. Estructuras geológicas y límites de formaciones tomados de Gómez *et al.* (2008). Recuadro en la parte inferior derecha tomado y adaptado de Google Satellite.

Marco geológico

El área de estudio se encuentra localizada geográficamente en el municipio de El Peñón, Provincia de Vélez, al SW del departamento de Santander y a 261 km de Bucaramanga.

Geología estructural

Geológicamente está ubicada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental (Figura 1) y está limitada por pliegues regionales (Anticlinal de Los Medios, Sinclinal de Panamá y Anticlinal de Los Portones), entre los que se desarrollan plegamientos menores, los cuales siguen un rumbo similar al regional. El desarrollo de las cavernas en El Peñón se da principalmente en direcciones generadas por fracturas de tensión. El tensor local presenta una dirección NW-SE (136°) y explica las estructuras plegadas tanto

locales como regionales, la perpendicularidad entre las direcciones de preferencia del desarrollo kárstico y el desarrollo de otros patrones de fractura que causan ciertas variaciones en la dirección de estas unidades (Barajas-Rangel y Gelvez-Chaparro, 2019).

Estratigrafía

A continuación, se describen las unidades presentes en el área de estudio, haciendo énfasis en la Formación Rosablanca, asociada al desarrollo de la karstificación en el área de estudio. La Formación Arcabuco aflora al SW de El Peñón, en el área drenada por la quebrada Hoya de Panamá, en el núcleo del Anticlinal de Los Medios donde solo están expuestos los 32 m de la parte superior. Es una secuencia de capas de geometría plano-paralela, convergente y cuneiforme, gruesas a muy gruesas, predominando arenitas líticas a lítico – feldespáticas de grano fino (Gómez *et al.*, 2008).

La Formación Cumbre suprayace concordantemente a la Formación Arcabuco y aflora en la terminación periclinal de los anticlinales de Portones y Los Medios, cerca del municipio, donde ocupa una superficie limitada y relativamente cubierta. En el ámbito regional se observa un conjunto de espesor variable, compuesto por capas de arenitas de cuarzo, arcillolitas y lodolitas grises oscuras a negras (Gómez *et al.*, 2008). Según Gómez (1977) en cercanías a El Peñón, algunos diques de cuarzo cortan esta unidad, con desarrollo de drusas y cristales de cuarzo de hasta 12 cm de longitud.

La Formación Rosablanca aflora en los alrededores de El Peñón, en el núcleo del Anticlinal de Los Medios, en una secuencia de más de 150 m de espesor, compuesta hacia la base de capas de geometría ondulosa a plano paralela de lodolitas calcáreas (mudstones) de colores grises oscuros, con muy bajo contenido de aloquímicos (bivalvos de escala milimétrica principalmente) y espesores que varían de 0,3 a 0,6 m intercaladas con láminas a capas de arcillolita grises oscuras. En las lodolitas calcáreas de la base es posible encontrar venillas y venas de calcita con trazas de pirita y calcopirita. Algunas venas alcanzan espesores de hasta 15 cm con cristales muy bien desarrollados de calcita. El siguiente segmento corresponde a una secuencia de cerca de 90 m de estratos plano paralelos gruesos a muy gruesos de mudstones (de 1 a 5 m de espesor), de colores grises oscuros intercalados con algunas capas de packstones con mayor contenido fosilífero (principalmente bivalvos y gasterópodos) y arcillolitas grises oscuras. En rocas de esta formación se han encontrado venas de 20 cm de espesor de cuarzo fibroso mineralizadas, con presencia de calcopirita asociada a barita (Gómez, 1977) y venas de hasta 15 cm de espesor rellenas de malaquita y azurita mayoritariamente, con galena, barita, calcita, así como otras manifestaciones minerales como calcita, esfalerita, pirita, smithsonita y asfaltita brechificada formadas por procesos kársticos (Mantilla-Figueroa *et al.*, 2003). También se han reportado mineralizaciones secundarias dentro de dolinas al NE del municipio de El Peñón (Gómez, 1977). La Formación Rosablanca, es oblicua respecto a las líneas isocronas; su edad sería Barremiano hacia el extremo N del Valle Medio, Hauteriviano en la región de la Mesa de Los Santos-San Gil y Valanginiano en Villa de Leiva (Julivert, 1968). El drenaje epigeo que se desarrolla sobre la Formación Rosablanca se caracteriza por presentar grandes superficies de infiltración, formando un drenaje subterráneo que controla la disposición y forma de las cavernas (Mendoza-Parada *et al.*, 2009).

Metodología

Para este trabajo se realizó la cartografía geológica local a escala 1:15.000, en la Cueva del Oro se llevó a cabo el levantamiento topográfico con distanciómetro laser y brújula, para las demás cavernas se realizó la cartografía geoespeleológica con los mapas base de Hapka *et al.* (2015).

Los sistemas subterráneos objeto de este estudio fueron clasificados de acuerdo a la clasificación espeleométrica propuesta por Núñez (1970), la cual denomina abrigo rocoso a un salón subterráneo de pocos metros, grutas a las cavidades que no superan los 10 m, cuevas cuando son un conjunto de galerías y salones de menos de 1 km de extensión, y cavernas si su longitud es mayor a 1 km.

La valoración de los geotopos identificados en la zona se desarrolló con la metodología *Modified Geosite Assessment Model* (M-GAM) propuesta por Tomić y Božić (2014), que a su vez es una modificación de la metodología *Geosite Assessment Model* (GAM) creada por Vujičić *et al.* (2011). Esta metodología pretende ser más objetiva a la hora de evaluar un sitio, teniendo en cuenta las diferentes motivaciones que podría tener un turista para visitar un geosítio (elementos socio-culturales, históricos, escénicos, arqueológicos, educativos, científicos, de diversión, psicológicos y artísticos), reconoce el importante rol que juega el turista a la hora de evaluar un geosítio, por lo que en la metodología de evaluación incluye la opinión del experto como la del turista, de tal manera que ninguna de las partes sea favorecida en el proceso de evaluación. Este método ha sido probado y aplicado con éxito numerosas veces para la evaluación de varios geosítios en Europa (Antić y Tomić, 2017; Antić *et al.*, 2019; Božić y Tomić, 2015; Šuleić y Pavić, 2016; Tomić *et al.*, 2015; Vuković y Antić, 2019).

Los Valores Principales comprenden tres grupos de indicadores: Científico/Educativo (VCE), Escénico/Estético (VEE) y de Protección (VPr) mientras los Valores Adicionales están divididos en dos grupos de indicadores, Funcional (VFn) y Turístico (VTr). En resumen, hay 12 subindicadores de Valores Principales, y 15 subindicadores de Valores Adicionales los cuales son calificados de 0 a 1 (Tablas 1 y 2) que define M-GAM como una simple ecuación:

$$M-GAM = VP + VA \quad (1)$$

Como de cada uno de los anteriores valores nombrados se derivan tres o dos grupos de subindicadores, entonces podemos inferir estas dos ecuaciones:

$$VP = VCE + VEE + VPr \quad (2)$$

$$VA = VF_n + VTr \quad (3)$$

Ahora que sabemos que cada grupo de indicadores consiste en varios subindicadores, entonces (2) y (3) pueden ser escritas como sigue a continuación:

$$VP = VCE + VEE + VPr = \sum_{i=1}^{12} SIV P_i ; \text{ donde, } 0 \leq SIV P \leq 1.$$

$$VA = VF_n + VTr = \sum_{j=1}^{15} SIV A_j ; \text{ donde, } 0 \leq SIV A \leq 1.$$

Aquí, $SIV P_i$ y $SIV A_j$ representan los 12 subindicadores de Valores Principales ($i = 1, \dots, 12$) y 15 subindicadores ($j = 1, \dots, 15$) de Valores Adicionales.

La inclusión del visitante en el proceso de valoración es hecha a través de una encuesta donde a cada persona se le pide que califique la importancia de todos los 27 subindicadores (de 0,00 a 1,00) en el modelo M-GAM, para este trabajo se recogió la opinión de cerca de 20 turistas, quienes además fueron motivados a través de visitas guiadas y explicativas como parte del proceso de geoeducación a partir de los valores científicos y educativos de los geotopos de interés en el presente estudio. El factor de importancia (Im) les da a los visitantes la oportunidad de expresar su opinión acerca de cada subindicador en el modelo y que tan importante es para ellos cuando escogen y deciden entre varios geositos que ellos desean visitar. Luego de que cada

visitante califique la importancia de cada subindicador, el valor promedio de cada subindicador es calculado y el valor final de ese subindicador es el factor de importancia. Después, el valor de importancia (Im) es multiplicado con el valor dado por expertos (también de 0,00 a 1,00) que evalúan el estado actual y valor de los subindicadores.

Así, el factor de importancia (Im) es definido, como:

$$Im = \frac{\sum_{k=1}^K Iv_k}{K}$$

Donde Iv_k es la evaluación/puntuación de un visitante por cada subindicador y K es el total de número de visitantes.

Finalmente, la ecuación (1) puede ser expresada de la siguiente forma:

$$M-GAM = VP + VA = \sum_{i=1}^{12} Im_i \cdot VP_i + \sum_{j=1}^{15} Im_j \cdot VA_j$$

Como se puede ver a partir de la ecuación M-GAM, el valor del factor de importancia (Im), el cual es calificado por visitantes (para cada subindicador separadamente) es multiplicado con el valor dado por expertos (también separadamente cada subindicador). Esto es hecho para cada subindicador en el modelo.

En base a los resultados de la evaluación, se crea una matriz de VP (ejes X) y VA (ejes Y). La matriz se divide en nueve campos representados con Z (i,j), ($i,j = 1,2,3,\dots$). Dependiendo de la puntuación final, cada geosito se ajustará a un campo determinado.

Además de la valoración, un índice estandarizado: el Índice de Sensibilidad de Cuevas (CSI) (Tabla 3) fue aplicado a las cavernas para determinar su sensibilidad

de acuerdo a la metodología propuesta por Harley *et al.* (2011). Las cuevas pueden ser sensibles a muchos factores en el ambiente, pero en este estudio se buscará solo determinar la sensibilidad de las cuevas a las perturbaciones antropogénicas. Para estandarizar este índice, se consideraron las variables de biota, hidrología, geología, mineralogía, paleontología y cultura o historia. Cada variable fue estandarizada dentro de cuatro criterios de evaluación, los cuales se correlacionan a un puntaje de sensibilidad. La escala de sensibilidad va desde "0", sin sensibilidad, a "3" indicando una alta sensibilidad.

Los puntajes de cada variable de sensibilidad fueron sumados y después este resultado se dividió por el puntaje total posible, que resulta en un número final

entre 0,00 y 1,00. Este número final representa la sensibilidad relativa de una cueva a la degradación humana, representando el puntaje más cercano a una mayor sensibilidad general de la cueva (Tabla 4).

Tabla 1. Estructura del Modelo de Evaluación de Geositos Modificado.

Indicadores/ Subindicadores	Descripción
Valores Principales (VP)	
Valor Científico/Educacional (VCE)	
1. Rareza	Número de sitios idénticos más cercanos
2. Representatividad	Características didácticas y ejemplares del sitio debido a su propia calidad y configuración general
3. Conocimiento sobre temas geocientíficos	Número de artículos escritos en revistas reconocidas, tesis, presentaciones y otras publicaciones
4. Nivel de interpretación	Nivel de posibilidades interpretativas sobre procesos, fenómenos geológicos y geomorfológicos
Valor Escénico/Estético (VEE)	
5. Puntos de Vista	Número de puntos de vista accesibles por un camino peatonal. Cada uno debe presentar un ángulo de visión particular y estar situado a menos de 1 km del sitio
6. Superficie	Toda la superficie del sitio. Cada sitio se considera en relación cuantitativa con otros sitios
7. Paisaje circundante y Naturaleza.	Calidad de la vista panorámica, presencia de agua y vegetación, ausencia de deterioro inducido por el hombre, área urbana vecina, etc.
8. Adaptación ambiental de los sitios.	Nivel de contraste con la naturaleza, contraste de colores, apariencia de formas, etc.
Valor de Protección (VPr)	
9. Condición Actual	Estado actual de geosito
10. Nivel de Protección	Protección por grupos locales o regionales, gobierno nacional, organizaciones internacionales, etc.
11. Vulnerabilidad	Nivel de vulnerabilidad del geosito
12. Cantidad adecuada de visitantes	Número propuesto de visitantes en el sitio al mismo tiempo
Valores Adicionales (VA)	
Valores Funcionales (VFn)	
13. Accesibilidad	Posibilidades de aproximación al sitio
14. Valores naturales adicionales	Número de valores naturales adicionales en un radio de 5 km (incluidos también geositos)
15. Valores antropogénicos adicionales	Número de valores antropogénicos adicionales en un radio de 5 km
16. Centros emisivos vecinos	Cercanía de centros emisivos
17. Importante red de carreteras vecinas	Cercanía de importantes redes de carreteras en un radio de 20 km
18. Valores funcionales adicionales	Estacionamientos, estaciones de servicio, mecánicos, etc.
Valores Turísticos (VTr)	
19. Promoción	Nivel y número de fuentes promocionales
20. Visitas Organizadas	Número anual de visitas organizadas al geosito
21. Centros de visitantes vecinos	Cercanía del centro de visitantes al geosito
22. Paneles interpretativos	Características interpretativas de texto y gráficas, calidad del material, tamaño, ajuste al entorno, etc.
23. Número de visitantes	Número anual de visitantes
24. Infraestructura turística	Nivel de infraestructura adicional para turistas (senderos peatonales, lugares de descanso, botes de basura, baños, etc.)
25. Servicio de guía turístico	Si existe, nivel de experiencia, conocimiento de idiomas extranjeros, habilidades interpretativas, etc.
26. Servicio de hostelería	Servicio de hostelería cerca del geosito
27. Servicio de restaurante	Servicio de restaurante cerca del geosito

Tabla 2. Valores asociados a los indicadores del Modelo de Evaluación de Geositios Modificado.

Indicadores		Grados (0,00 – 1,00)				
		0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
1.	Común	Regional	Nacional	Internacional	La única ocurrencia	
2.	Ninguna	Baja	Moderada	Alta	Mayor	
3.	Ninguna	Publicaciones locales	Publicaciones regionales	Publicaciones nacionales	Publicaciones internacionales	
4.	Ninguna	Moderado nivel de procesos pero difícil de explicar a no expertos	Buen ejemplo de procesos pero difícil de explicar para no expertos	Moderado nivel de procesos, pero fácil de explicar para visitantes comunes	Buen ejemplo de procesos y fácil de explicar a visitantes comunes	
5.	Ninguna	1	2 a 3	4 a 6	Más de 6	
6.	Pequeña	-	Medio	-	Grande	
7.	-	Bajo	Medio	Alto	Mayor	
8.	Impropio	-	Neutral	-	Adecuado	
9.	Totalmente dañado (por actividades humanas)	Altamente dañado (resultado de procesos naturales)	Medio dañado (con esenciales características geomorfológicas preservadas)	Ligeramente dañado	Sin daño	
10.	Ninguno	Local	Regional	Nacional	Internacional	
11.	Irreversible (con posibilidad de pérdida total)	Alta (podría ser fácilmente dañado)	Medio (podría ser dañado por procesos naturales o actividades humanas)	Bajo (podría ser dañado solo por actividades humanas)	Ninguna	
12.	0	0 a 10	10 a 20	20 a 50	Más de 50	
13.	Inaccesible	Bajo (a pie con equipamiento especial y guía turístico experto)	Medio (por bicicleta y otras formas de transporte impulsadas por el hombre)	Alto (por carro)	Mayor (por bus)	
14.	Ninguno	1	2 a 3	4 a 6	Más de 6	
15.	Ninguno	1	2 a 3	4 a 6	Más de 6	
16.	Más de 100 km	100 a 50 km	50 a 25 km	25 a 5 km	Menos de 5 km	
17.	Ninguna	Local	Regional	Nacional	Internacional	
18.	Ninguno	Bajo	Medio	Alto	Mayor	
19.	Ninguna	Local	Regional	Nacional	Internacional	
20.	Ninguna	Menos de 12 por año	12 a 24 por año	24 a 48 por año	Más de 48 por año	
21.	Más de 50 km	50 a 20 km	20 a 5 km	5 a 1 km	Menos de 1 km	
22.	Ninguno	Baja calidad	Calidad media	Alta calidad	Mayor calidad	
23.	Ninguna	Baja (menos de 5000)	Medio (5001 a 1000)	Alta (10001 a 100000)	Mayor (más de 100000)	
24.	Ninguna	Baja	Media	Alta	Mayor	
25.	Ninguna	Baja	Media	Alta	Mayor	
26.	Más de 50 km	25 - 50 km	10 - 25 km	5 - 10 km	Menos que 5 km	
27.	Más de 25 km	10 - 25 km	10 - 5 km	1 - 5 km	Menos de 1 km	

Tabla 3. Variables para el cálculo del Índice de Sensibilidad de Cuevas (CSI). Adaptado de Harley *et al.* (2011).

Variable	3	2	1	0
Biota	Gran cantidad de individuos de una especie o múltiples individuos de múltiples especies; presencia de especies en peligro o endémicas; o posibles nuevas especies	Varios individuos de una o varias especies	Pocas especies de una o varias especies	Sin recursos
Hidrología	Conexión directa con el acuífero; flujo interno de agua continuo o intermitente; goteo, filtraciones y presencia de piscinas y charcas	Goteos, filtraciones y charcas en múltiples áreas	Escasez o filtraciones, charcas y goteos localizados	Sin recursos
Geología	Abundancia de espeleotemas	Espeleotemas en múltiples áreas	Escasez o espeleotemas localizados	Sin recursos
Mineralogía	Abundancia de minerales o presencia de nuevos minerales	Revestimientos minerales en múltiples áreas	Escasez de ocurrencias minerales (revestimientos minerales)	Sin recursos
Paleontología	Abundancia de fósiles (en roca)	Fósiles en múltiples áreas	Escasez de ocurrencia de fósiles	Sin recursos
Cultura o Historia	Caverna en zona protegida	Elementos culturales en múltiples áreas	Escasez u ocurrencias localizadas de elementos culturales	Sin recursos

Tabla 4. Clasificaciones de sensibilidad de cuevas. Adaptado de Harley *et al.* (2011).

Puntaje (suma/suma total posible)	Grado de sensibilidad
0,81-1,00	Críticamente sensible
0,71-0,80	Severamente sensible
0,61-0,70	Considerablemente sensible
0,51-0,60	Sensible
0,40-0,50	Moderadamente sensible
0,20-0,39	Ligeramente sensible
0,00-0,19	Sin sensibilidad

Resultados

La Formación Rosablanca es la unidad litoestratigráfica que predomina en la zona (Figura 2), presenta precipitaciones de sulfuros como pirita, galena y esfalerita; estas manifestaciones minerales también se pueden encontrar en venillas de reemplazamiento y venas de relleno, estas últimas asociadas a actividad hidrotermal, compuestas de calcita principalmente con cristales de pirita y calcopirita en menor proporción.

De los seis lugares de interés geológico valorados, cinco son formados por procesos kársticos asociados a la Formación Rosablanca; su expresión superficial o geoformas exokársticas son principalmente los lapiaces (karren), los cuales ocurren generalmente en distintos tamaños, desde pocos milímetros (microkarren) hasta lapiaces de 6 m de altura (megakarren), donde predominan los procesos disolucionales por flujo de agua (rillenkarrren, rinnenkarren, meanderkarren,

wandkarren, trittkarren, karren caves, scallops, ripplekarren), desarrollados en los márgenes de las dolinas.

Las dolinas son las depresiones predominantes en la zona, poseen formas elípticas y circulares con diámetros de 5 a 35 m, algunas de estas han evolucionado más en el eje vertical produciendo en algunos casos la aparición de simas de pocos diámetros en su mayoría, aunque existen simas de grandes diámetros como la de la Caverna La Tronera. En la zona las dolinas se han desarrollado en direcciones preferenciales N65°W y N50°E, con una dirección secundaria N15°W. Estas alineaciones favorecen la unión entre dolinas que con el tiempo muy seguramente evolucionarán a úvalas y seguidamente a poljes o valles de dolinas. La existencia de manantiales kársticos, además de los numerosos abrigos rocosos, grutas, cuevas y cavernas en la zona, denotan la amplia variedad y cantidad de geoformas kársticas presentes (Figura 3).

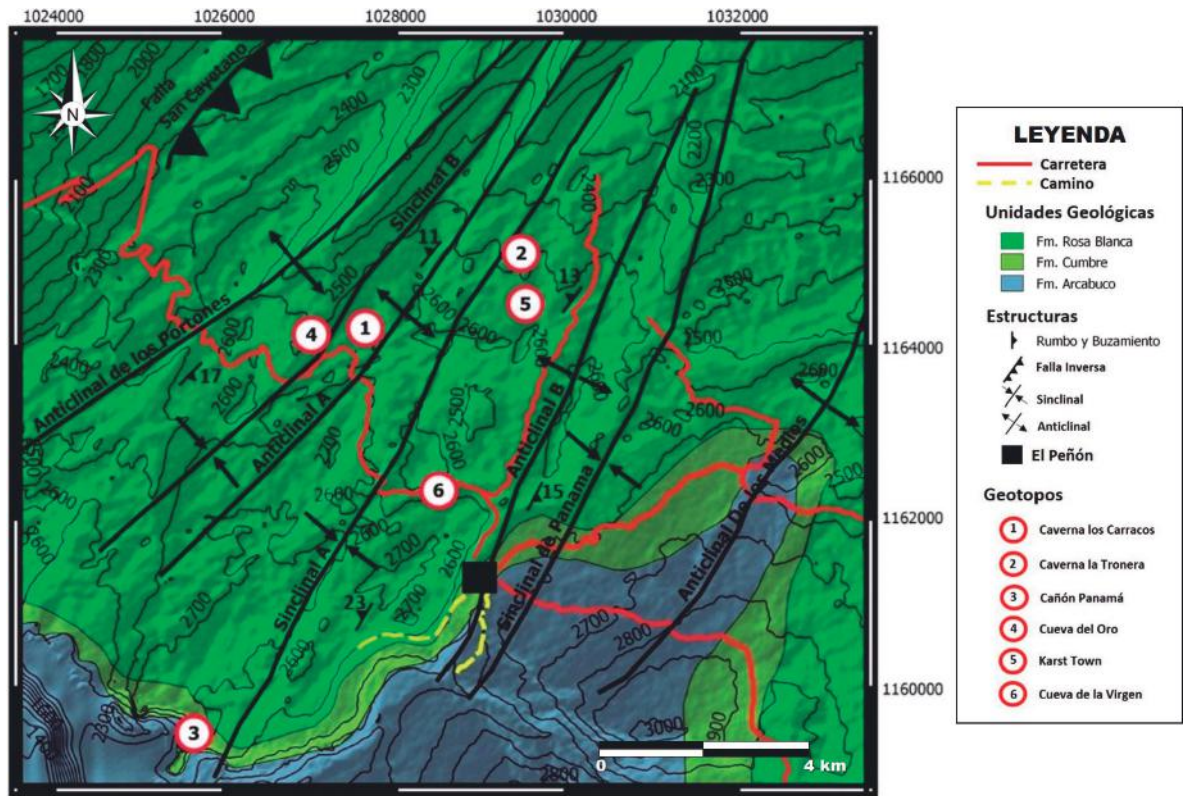


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio y ubicación de los geotops valorados en el presente trabajo.



Figura 3. Geoformas exokársticas y endokársticas: A. Megakarren de cerca de 7 m. B. Entrada a la Caverna Los Carracos. C. Campo de lapiaces y dolinas. D. Manantial Kárstico.

Geotopos

A continuación, se describen los primeros lugares de interés geológico (o geotopos) identificados en cercanías al municipio de El Peñón y los cuales son el objeto de interés de este trabajo. En los geotopos subterráneos se propone la distinción entre rutas científicas y rutas geoturísticas, en las primeras se hace alusión a espacios donde no se permita el acceso al público en general, sino a un tipo de público especializado con interés en desarrollar estudios que contribuyan al conocimiento y Geoconservación del sistema kárstico. Esta distinción en las rutas se hace por la sensibilidad a la degradación humana que presentan estos espacios, debido a sus condiciones espeleométricas y a la diversidad de elementos geológicos y paleontológicos que se encuentran en estas secciones.

Caverna Los Carracos

La Caverna Los Carracos se encuentra en la vereda Llano de Vargas, al costado de un polje con una altura aproximada de 2600 msnm. Con la profundización del desarrollo kárstico en el tiempo, se han desarrollado tres niveles que se disponen en cuatro direcciones preferenciales dos de ellas ortogonales a 236° y 319° en azimut, las otras dos direcciones son oblicuas a estas, 183° y 207° en azimut, con un mayor y menor desarrollo respectivamente. En el nivel superior existe desarrollo y ciertas variedades de espeleotemas, pero la preservación de los salones y galerías ha sido afectada parcialmente por las constantes visitas tanto de locales como de turistas sin una conciencia de conservación, por eso en este sector se ha definido el recorrido turístico (Figura 4), además de que sus dimensiones espeleométricas son más favorables para el acceso y recorrido.

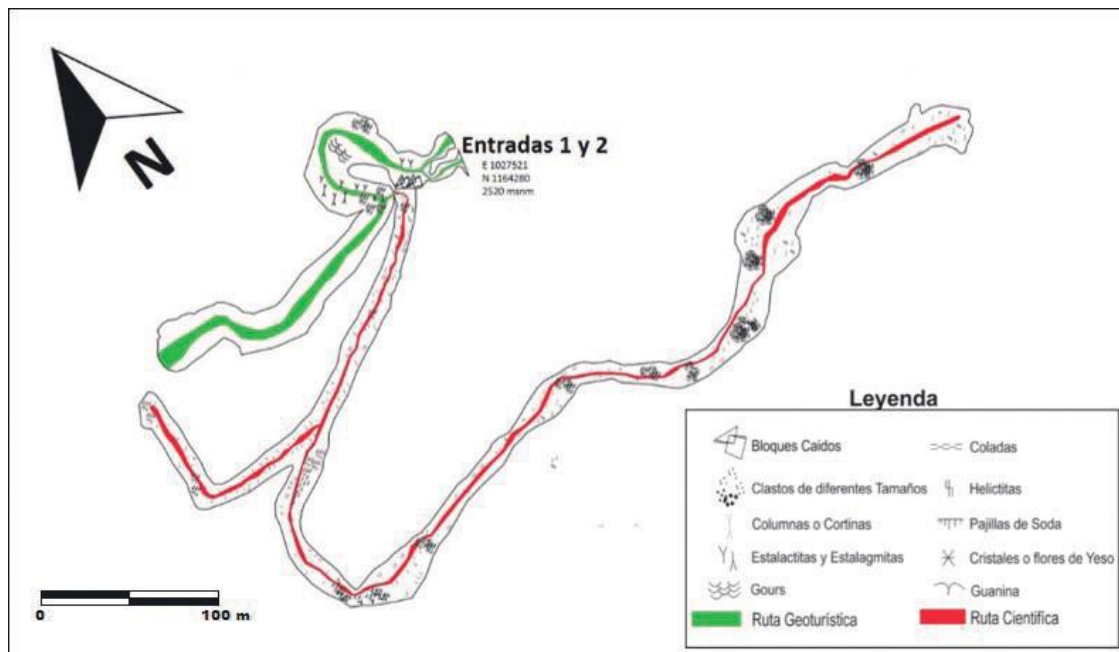


Figura 4. Mapa de la Caverna Los Carracos (modificado de Hapka *et al.*, 2015).

Para acceder al siguiente nivel es necesario hacer un descenso en la vertical de unos 20 m aproximadamente (Figura 5), razón principal por la cual es en esta galería en donde se preservan la mayor variedad de espeleotemas en cuanto a forma y composición (antoditas, helictitas, flores de yeso, gours, entre otras). En este nivel inferior se han desarrollado importantes investigaciones principalmente en los

campos de la bioespeleología (Campos *et al.*, 2018) y la paleoclimatología (Ramírez-Ruiz, 2014); el potencial de la galería inferior prioriza la actividad científica en esta sección y es necesario mantenerlo así para aprovechar los datos y/o registros que pueden brindar los espeleotemas que han sido preservados de manera excepcional.

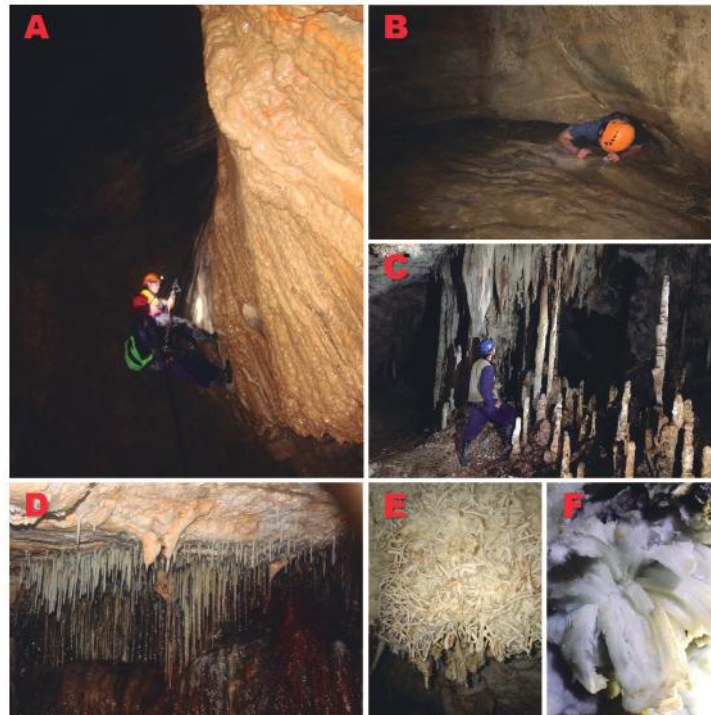


Figura 5. Galería inferior de la Caverna Los Carracos. **A.** Descenso para acceder a la galería inferior. **B.** Acceso al descenso para acceder a la galería inferior. **C.** Espeleotemas de la galería inferior de la Caverna Los Carracos. **D.** Espeleotemas Cenitales y Parietales con precipitación de Mn. **E.** Excéntricas. **F.** Flor de yeso.

Caverna La Tronera

La Caverna La Tronera se encuentra en la vereda San Pablo al NE del municipio de El Peñón, a 2650 msnm. Presenta un desarrollo de cerca de 1,3 km con dos entradas, una vertical y una horizontal bastante amplia por donde hay que atravesar un camino de bloques bastante grandes y angulosos producto del colapso del techo de la caverna, con sedimentos

de inundación depositados sobre estos; la entrada horizontal a la caverna se formó en el pasado debido a la caída del nivel piezométrico, dejando la cavidad de estar inundada. La caverna está formada por una gigante galería principal sin actividad hídrica con una dirección promedio de 325° de azimuth (Figura 6), y con un desarrollo menor en 210° y 240°, hacia donde se presenta el frente de karstificación.

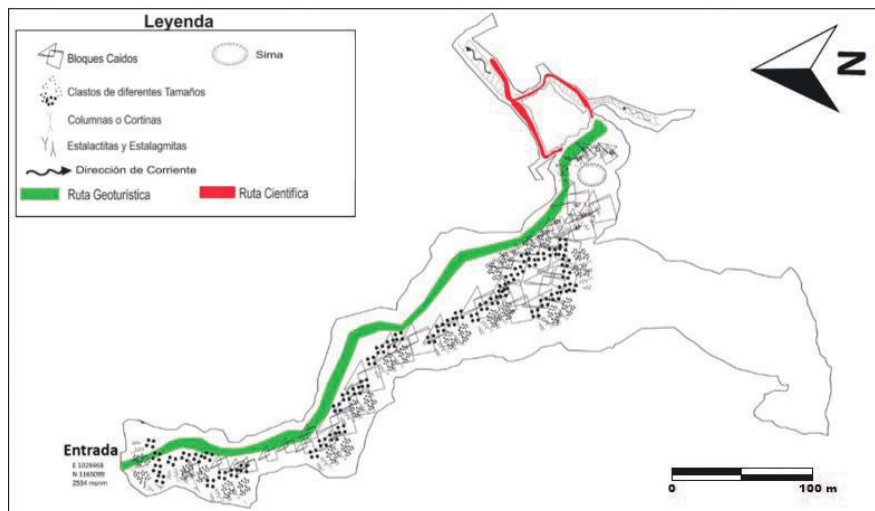


Figura 6. Mapa de la Caverna La Tronera (modificado de Hapka *et al.*, 2015).

En el techo de la entrada horizontal, a más de 100 m tienen su hogar un buen número de Guácharos o Carracos (*Steatornis caripensis*) que con sus cantos dan un ambiente enigmático a la incursión subterránea. La entrada vertical es una dolina de colapso o sima ubicada a unos 700 m de la entrada y constituye su principal atractivo turístico, está a una altura de cerca de 130 m y un diámetro de aproximadamente 25 m, simulando su forma en planta a la de un corazón, por lo que se ha denominado esta geoforma por la comunidad local como “el corazón del mundo” (Figura 7), en esta sección de la caverna se planteó el recorrido turístico debido a que las dimensiones espeleométricas son bastante amplias permitiendo una movilidad sencilla a través de esta y llegando a causar un impacto mínimo sobre el ecosistema.

Cerca de la zona de la sima hay una entrada pequeña donde se llega a una quebrada o río subterráneo con dirección SW-NE, en invierno es imposible ingresar por el alto caudal de esta; pero algunas exploraciones de la Sociedad Colombiana de Espeleología han encontrado un importante desarrollo en este sector donde también se han reportado algunas simas y acumulación de restos fósiles de mamíferos, debido a los peligros y a la riqueza paleontológica presente en el caudal se ha planteado un recorrido netamente científico en esta sección de la caverna. Las simas se han demostrado son una trampa para los animales del exterior favoreciendo la posible abundancia de fósiles en el fondo de estas (Llopis-Lladó, 1970).

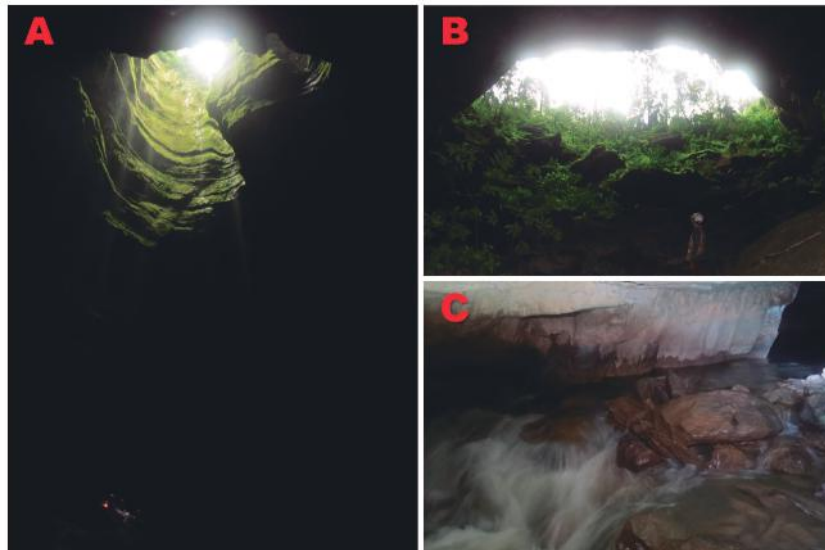


Figura 7. Caverna La Tronera: **A.** Sima de cerca de 150 m, “el corazón del mundo”. **B.** Entrada horizontal de la Caverna La Tronera, con gran cantidad de bloques angulares de gran tamaño. **C.** Quebrada subterránea.

Cueva del Oro

Su nombre se debe a la gran cantidad de azufre que hay principalmente en la entrada de la caverna, dando un valor agregado a la belleza de los espeleotemas. La cavidad se desarrolla al final de un valle de dolinas, y se encuentra constituida por un nivel predominantemente horizontal con diferentes ramificaciones, registrándose en este trabajo un desarrollo de 630 m para esta cueva, pero su extensión es mucho mayor, por lo que se recomiendan nuevas incursiones que mapeen las galerías faltantes. La cueva se desarrolla en dos direcciones preferenciales con un patrón ortogonal, con direcciones de 320° y 235° de azimut (Figura

8) presentándose el mayor desarrollo en esta última familia de fracturas. Así mismo, esta cavidad es bastante activa y atravesada en la mayor parte de sus galerías por una corriente principal de agua con dirección SW-NE. En el recorrido planteado como ruta geoturística la cueva presenta dimensiones espeleométricas favorables que permiten una buena movilidad y el menor impacto posible al ecosistema, la ruta que se plantea solo para expediciones científicas presenta alturas de hasta 40 cm, implicando el daño a múltiples formas zenitales, además de ser necesaria la incursión a la corriente principal agregando riesgos de ahogamiento e hipotermia a la visita.

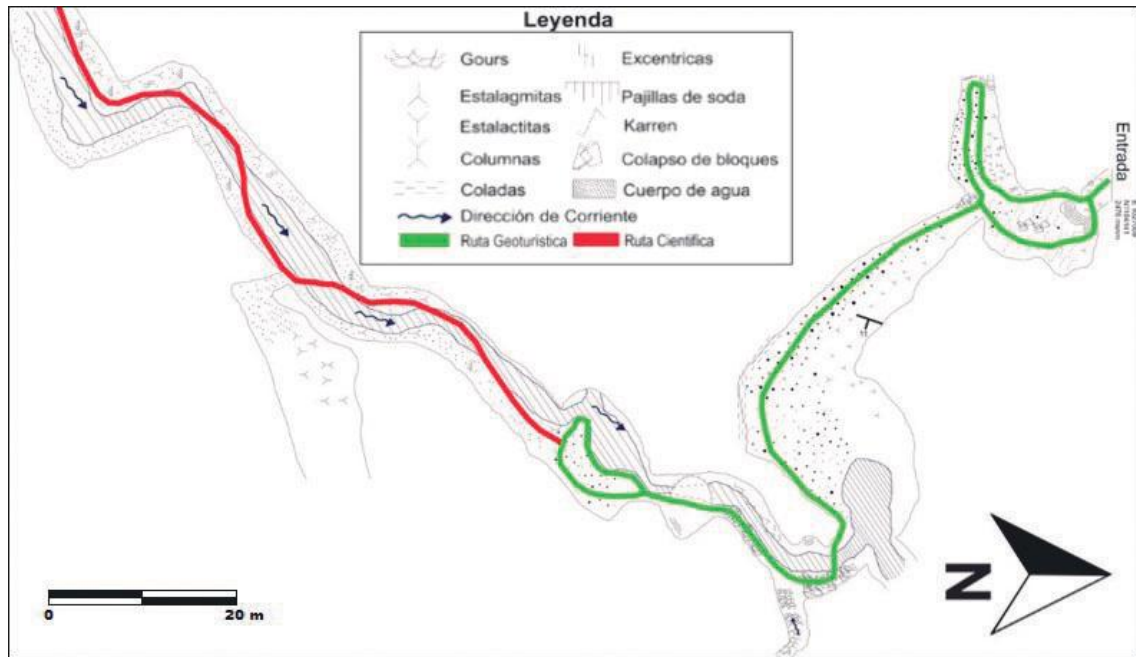


Figura 8. Mapa de la Cueva del Oro.

Hay gran cantidad y variedad de espeleotemas durante todo el recorrido, la variedad de las excéntricas no es tan amplia como en la Caverna Los Carracos; con las pajillas de soda hay excéntricas asociadas de composición similar aragonito, aragonito azul en ciertos lugares de la cavidad (Figura 9). Entre las

formas de vida que alberga esta cavidad destacan especies de crustáceos que confirman el estado casi prístino de esta cueva, la cual lleva poco tiempo recibiendo turistas principalmente científicos y con pocas visitas durante el año.

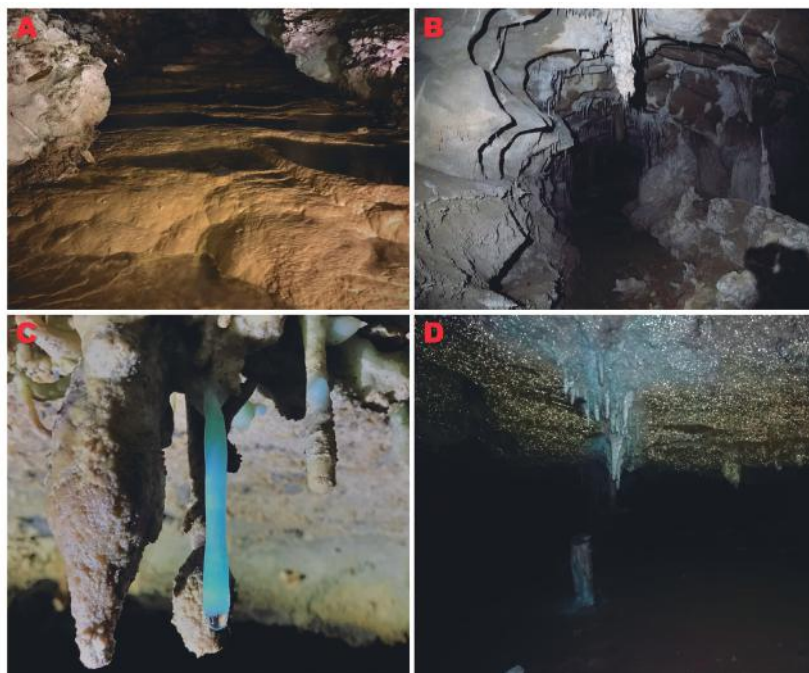


Figura 9. Cueva del Oro: A. Gours y microgours (o “Rimstone Pools”). B. Pasaje de la cavidad evidenciando diferentes variaciones en el nivel freático. C. Estalactitas de Aragonito azules. D. Precipitación de Azufre en el techo de la cavidad.

Cueva de La Virgen

La Cueva de La Virgen realmente representa un abrigo rocoso ubicado en cercanías al municipio, sobre la vía El Peñón-Las Cruces. Actualmente constituye un sitio donde algunas personas del municipio y otros municipios vecinos profesan su fe haciendo un acto de peregrinación a esta, principalmente en fechas importantes para la fe católica como la semana santa. Junto a su entrada se encuentra un manantial o fuente kárstica que indica la presencia de un aparato kárstico activo en este macizo, con sus aguas claras también ha constituido un atractivo turístico para algunas de las personas que visitan el lugar. El interés principal de este sitio es el estratigráfico por la exposición de

más de 150 m de la Formación Rosablanca (Gómez *et al.*, 2008), junto al interés hidrogeológico debido a las surgencias de agua que posee el macizo dando indicios de una circulación de caudal amplia con posible uso potable facilitando una de las necesidades básicas para la comunidad rural.

Un aspecto para tener en cuenta para la gestión integral de este geotopo, es su actual uso para la ganadería (Figura 10), lo que constituye una grave amenaza para la buena calidad del agua que por allí fluye, sin tener en cuenta el incremento en la magnitud de los procesos erosivos que esta actividad económica pueda causar sobre el terreno.

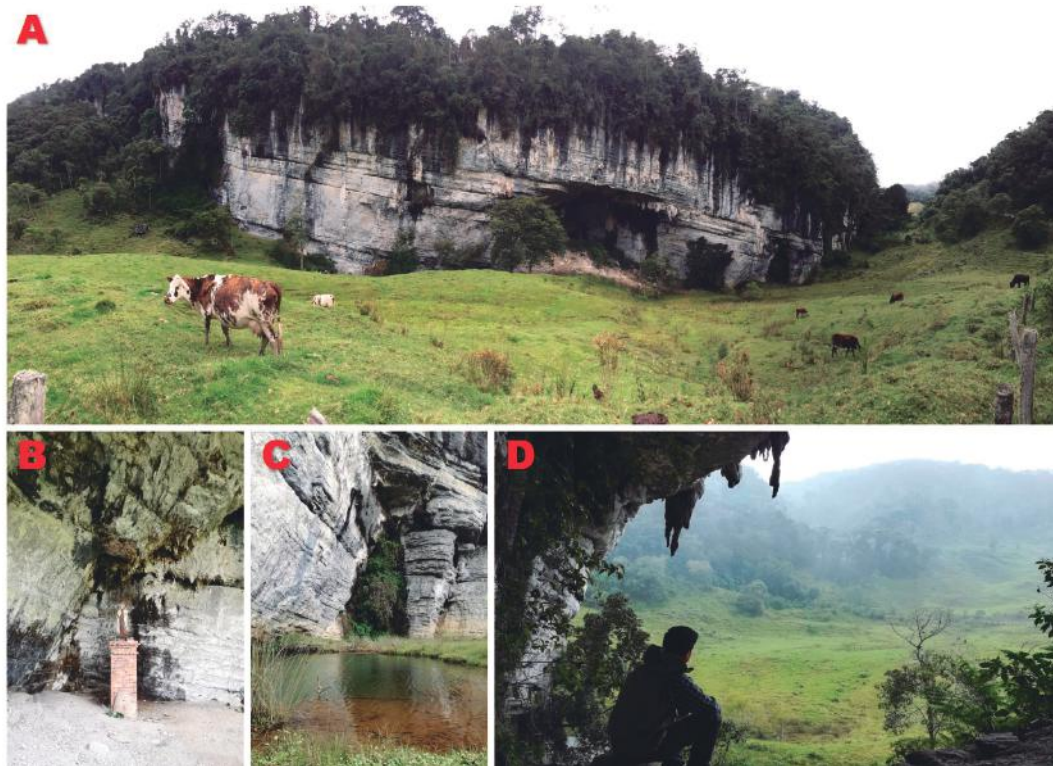


Figura 10. Geotopo “Cueva de La Virgen”. **A.** Escarpe donde se genera el abrigo rocoso. **B.** Altar a la Virgen dentro de la gruta. **C.** Surgencia de agua a un costado del escarpe. **D.** Vista desde el abrigo rocoso.

Karst Town

Karst Town es un campo con gran desarrollo de lapiaces y dolinas, ubicado en cercanías al municipio sobre la vía El Peñón – La Hermosura. Cuenta con una extensión de cerca de 3 km², donde el atractivo paisajístico es dado por las distintas formas esculturales de karren que se pueden encontrar, con algunas expresiones de hasta 6 m de altura. El desarrollo de los campos de

lapiaces por la ladera del valle de dolinas asemeja a una ciudadela de roca un poco laberíntica dándole un atractivo paisajístico muy alto. En la roca expuesta en los lapiaces algunos estratos tienen contenido fosilífero como bivalvos, gasterópodos y equinodermos (Figura 11). La accesibilidad, visibilidad, y tamaño de este geotopo son ventajas muy marcadas para apreciar todos los rasgos de interés que este presenta.



Figura 11. Karst Town. **A.** Paisaje de meso y mega karren. **B.** Gasteropodos y bivalvos en los lapiaces. **C.** Atractivo paisajístico.

Cañón de Panamá

El Cañón de Panamá es un mirador único que estratigráficamente se encuentra sobre cuarzoarenitas de grano medio a fino intercaladas con capas de lodolitas verdosas. En estas litologías se encuentran venas con drusas de cuarzo de hasta 15 cm que pueden ser observadas con facilidad en cercanías al mirador. Su interés principal es el geomorfológico

debido a la variedad de expresiones geomorfológicas (estructurales, kársticas, denudacionales) que se pueden observar en este sector (Figura 12). Además, tiene intereses secundarios: el tectónico por la claridad con la que se pueden observar estructuras plegadas, mineralógico por la abundancia y belleza de las drusas de cuarzo que se pueden encontrar en el sector, e hidrogeológico por la abundancia del recurso hídrico con la que cuenta el sector.



Figura 12. Cañón de Panamá. **A.** Cascadas y pliegues notorios. **B.** Cascada con cerca de siete caídas, las “siete maravillas”.

Valoración de Geotopos

En la Tabla 5 se presentan los valores asignados para cada uno de los subindicadores del método de evaluación y el cálculo para cada geotopo. A pesar

de no tener una oferta de geoturismo especializada ni una promoción adecuada, los geotopos valorados presentan valores similares a geosítios kársticos con infraestructura y gran afluencia de turistas anualmente de Europa (*e.g.* Vuković y Antić, 2019).

Tabla 5. Valores dados para cada subindicador e Im. GT1: Caverna Los Carracos. GT2: Caverna La Tronera. GT3: Cueva del Oro. GT4: Cueva de La Virgen. GT5: Karst Town. GT6: Cañón de Panamá.

Indicadores	Valores						Im		Valores Totales					
	GT ₁	GT ₂	GT ₃	GT ₄	GT ₅	GT ₆			GT ₁	GT ₂	GT ₃	GT ₄	GT ₅	GT ₆
1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,9	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225
2	1	1	1	1	1	0,75	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
3	1	1	0,75	0,75	0	0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0	0	0
4	1	1	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,675
5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,75	0,5	0,6	0,15	0,15	0,15	0,3	0,45	0,3	0,3
6	1	1	0,5	0,5	1	0	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6	0	0
7	1	1	1	1	1	0,75	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,675
8	1	1	1	0,5	0,5	1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,35	0,35	0,7	0,7
9	0,75	1	1	1	1	1	0,9	0,675	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
11	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
12	0,25	0,75	0,25	0,75	1	0,5	0,4	0,1	0,3	0,1	0,3	0,4	0,2	0,2
13	0,25	0,25	0,25	0,75	0,75	0,5	0,7	0,175	0,175	0,175	0,525	0,525	0,35	0,35
14	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
15	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
16	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
17	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
18	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
19	1	1	0,5	0,5	0	0,5	0,7	0,7	0,7	0,35	0,35	0	0,35	0,35
20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
21	0,75	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,6	0,45	0,3	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
22	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0
23	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
24	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0
25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
26	0,75	0,75	0,75	1	0,75	0,75	0,9	0,675	0,675	0,675	0,9	0,675	0,675	0,675
27	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,75	0,8	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6

Discusión

De acuerdo con los subindicadores del valor científico/educacional, la rareza de todos los geotopos fue evaluada con un puntaje de 0,25, estos tipos de paisajes kársticos son comunes a nivel regional, pero algunas de sus geoformas endokársticas no son tan comunes (espeleotemas, simas). Para la representatividad en cambio se obtuvieron valores de 1, exceptuando al Cañón de Panamá con 0,75, debido a que sus características didácticas, explicativas y de interpretación de eventos geológicos y geomorfológicos son menores si las comparamos con los sistemas subterráneos, que funcionan como laboratorios naturales para la enseñanza de las ciencias de la Tierra. Adicionalmente, las cavernas de Los Carracos y La Tronera son reconocidas a nivel nacional e internacional, por su exuberante belleza, los diversos trabajos científicos realizados y reportes de hallazgos paleontológicos recientes.

Del valor escénico/estético los geotopos obtuvieron puntajes altos en la presencia de paisaje circundante y naturaleza, ya que las cavernas se encuentran rodeadas de vegetación, con presencia de actividad hídrica y poco deterioro inducido por el hombre, la adaptación ambiental de los sitios es alta para las cavernas y el Cañón de Panamá, pero baja para la Cueva de La Virgen y Karst Town.

Los geotopos son protegidos por la comunidad local, se encuentran actualmente en muy buen estado de conservación, exceptuando la Caverna Los Carracos con algunos ligeros daños en su primer nivel, siendo la más visitada de la región. El nivel de vulnerabilidad es medio (0,5), en general, la Caverna Los Carracos y la Cueva del Oro se catalogan como considerablemente sensibles a la degradación antrópica (Tabla 6), por lo que el ingreso de visitantes a estos geotopos debe ser controlado por los guías geoturísticos del sector y no exceder la capacidad de carga de los mismos, ni de las rutas que ya se han planteado para las distintas formas de espeleoturismo que se pueden dar en los mismos (Barajas-Rangel y Gelvez-Chaparro, 2019). Por otro lado, la Caverna La Tronera presenta un grado menor de sensibilidad, y por sus condiciones espeleométricas es la que podría recibir una mayor cantidad de visitantes que pueden acceder por su entrada horizontal o vertical.

Los puntajes obtenidos en la evaluación de valores funcionales (Fn) y turísticos (Tr) son bajos en promedio, y están relacionados con la ausencia de infraestructura tanto en el municipio como en los geotopos, así como su difícil accesibilidad debido a las malas condiciones de las vías locales, lo cual afecta en gran parte la puntuación de los demás subindicadores. Sin embargo, cabe resaltar la oferta de guías turísticos capacitados para la conducción en recorridos por cavernas y su promoción a nivel internacional.

Tabla 6. Resultados de las cuevas analizadas bajo la M-GAM y el Índice de Sensibilidad de Cuevas (CSI).

Geotopo	ΣVP	ΣVA	Campo	CSI
Caverna Los Carracos	5,875	4,55	Z_{21}	0,67
Caverna La Tronera	6,3	4	Z_{21}	0,61
Cueva del Oro	5,55	3,8	Z_{21}	0,55
Cueva de La Virgen	5,7	4,575	Z_{21}	N.A
Karst Town	5,95	3,8	Z_{21}	N.A
Cañón de Panamá	4,7	4,175	Z_{21}	N.A

Se destaca que con los resultados descritos anteriormente todos los geotopos caen en el campo Z_{21} (Figura 13), indicando importantes valores principales pero bajos a muy bajos valores adicionales. El estado casi prístino de los geotopos, el desarrollo de variadas e importantes investigaciones en la zona, la gran

belleza y estado de conservación de las geoformas endokársticas al ser comparadas con otros sistemas kársticos del país da importantes valores científicos-educativos, estéticos y de protección a la mayoría de estos sitios.

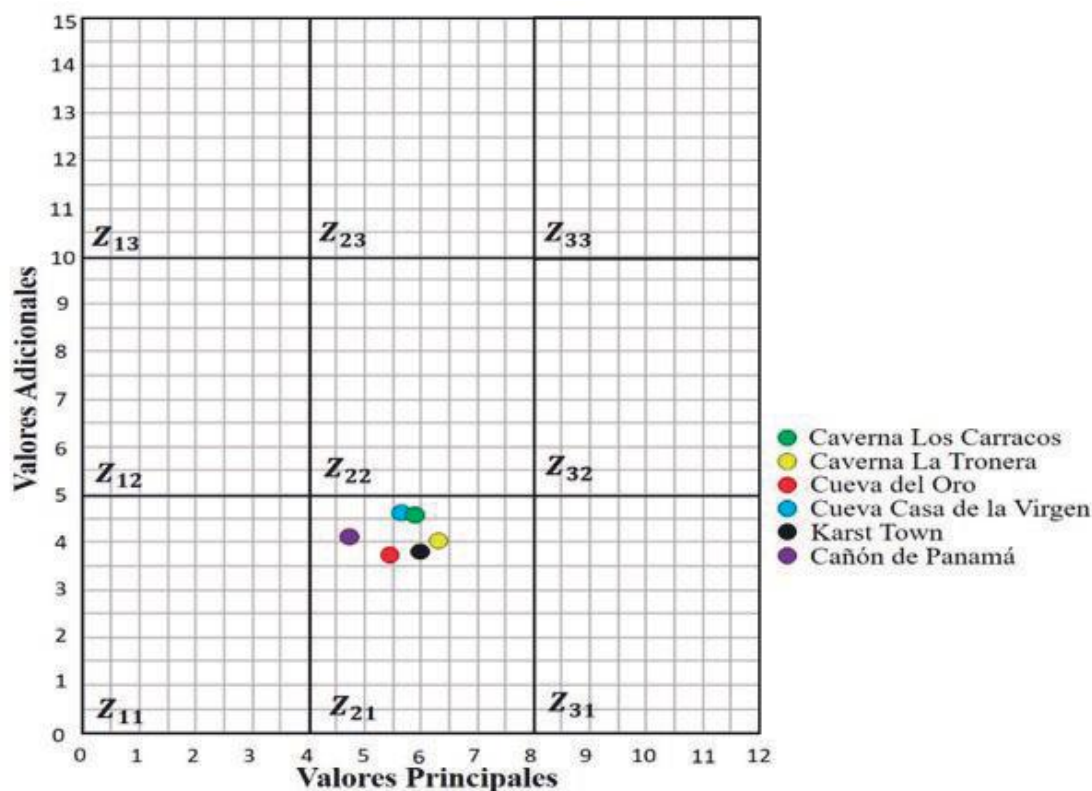


Figura 13. Posición de los geotopos evaluados en la matriz de M-GAM.

Conclusiones

El evidente desarrollo kárstico en la región de El Peñón está controlado principalmente por la geología estructural de la zona, evidenciado en las orientaciones preferenciales dadas por las fracturas tensionales NW-SE y NE-SW que adquieren las unidades exo y endokársticas; si bien debido a este control tectónico se desarrollan cavidades en la mayoría de niveles de la Formación Rosablanca, la composición química de esta juega un papel importante en el desarrollo de las variedades y cantidades de espeleotemas presentes en algunas cuevas o cavernas, incluso las anomalías de sulfuros presentes en la roca son evidenciadas en las precipitaciones y/o clastos encontrados dentro del sistema kárstico.

El turismo en sistemas kársticos ha dejado grandes beneficios en el desarrollo de comunidades y la conservación de su patrimonio en las diferentes partes del mundo donde ha sido aplicado de manera correcta. Los geotopos aquí mencionados son propuestos para la implementación de prácticas de Geoturismo y Espeleoturismo que logren aprovechar todo su potencial, generando conciencia geológica y de protección ambiental en todos sus visitantes.

La mejora en la infraestructura de transporte, comunal y turística es necesaria para un mayor desarrollo turístico, que a su vez impacte en el desarrollo de la economía local y regional.

Es necesario el diseño e instalación de paneles explicativos en cada uno de los geotopos que destaque los rasgos y procesos sobresalientes en cada uno de ellos, el mal estado de las vías de acceso ha contribuido a la conservación de varios de los geotopos pero es necesario su mejoramiento para la afluencia de un mayor número de visitantes, así como la habilitación de senderos que procuren por un turismo inclusivo y causen el menor impacto ambiental; de igual manera se recomienda en la Caverna La Tronera el análisis de factibilidad para la construcción de una plataforma que facilite el ingreso a los visitantes por la entrada horizontal.

La galería inferior de la Caverna Los Carracos presenta una alta diversidad geológica y un alto valor científico, además de ser considerablemente sensible a perturbaciones antrópicas, por lo que se recomienda sea destinada principalmente para turismo científico y didáctico que pretenda ahondar en las distintas ramas de las ciencias del *Karst* y aportar nuevos datos de

este sistema (biospeleología, paleoclimatología, hidrogeología, mineralogía, tectónica).

Es indispensable el trabajo social con las comunidades, especialmente en la zona rural con los propietarios de los predios en donde hay manifestaciones subterráneas y potenciales geotopos. La instalación de equipos en las cavidades subterráneas para su constante monitoreo, junto al trabajo y comunicación constante con las comunidades garantizará el monitoreo y preservación del patrimonio natural del territorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Ferney Vásquez, por su guianza en las expediciones espeleológicas, las útiles discusiones y comentarios que contribuyeron al desarrollo de este trabajo. Así mismo agradecen a los miembros del Grupo de Geoespeleología de la Universidad Industrial de Santander por su acompañamiento en las campañas de campo y formación en ciencias del *Karst*.

Referencias

- Antić, A.; Tomić, N. (2017). Geoheritage and geotourism potential of the Homolje area (eastern Serbia). *Acta Geoturistica*, 8(2), 67-78. doi: 10.1515/agta-2017-0007
- Antić, A.; Tomić, N.; Marković, S. (2019). Karst geoheritage and geotourism potential in the Pek River lower basin (eastern Serbia). *Geographica Pannonica*, 23(1), 32-46. doi: 10.5937/gp23-20463
- Barajas-Rangel, D.; Gelvez-Chaparro, J. (2019). Geoespeleología y Geoturismo en Cavernas de El Peñón (Santander): Conocimiento y alternativas para la Geoconservación de Sistemas Kársticos. Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Božić, S.; Tomić, N. (2015). Canyons and gorges as potential geotourism destinations in Serbia: Comparative analysis from two perspectives - general geotourists' and pure geotourists'. *Open Geosciences*, 7(1), 531-546. doi: 10.1515/geo-2015-0040
- Campos, M.; Acevedo, A.; Lasso, C.; Fernández-Auderset, J. (2018). Variaciones morfológicas y algunas notas bioecológicas del cangrejo de agua dulce *Neostrengeria charalensis* Campos y Rodríguez, 1985 (Decapoda: Pseudoscorpionidae), en ambientes exo y endocársticos de los Andes colombianos. *Biota Colombiana*, 19(Sup. 1), 65-83. doi: 10.21068/c2018.v19s1a07
- Carcavilla, L.; Belmonte, Á.; Durán, J.J.; López-Martínez, J.; Robledo, P.A. (2016). Patrimonio geológico y geodiversidad en terrenos kársticos en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(1), 61-73.
- Carcavilla-Urquí, L.; López-Martínez, J.; Durán-Valsero, J.J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, n.7.
- Cigna, A.; Forti, P. (2013). Caves: the most important geotouristic feature in the world. *Tourism and Karst Areas*, 6(1) 9-26.
- Colegial, J.D.; Piscioti, G.; Uribe, E. (2002). Metodología para la definición, evaluación y valoración del patrimonio geológico y su aplicación en la geomorfología glaciar de Santander (municipio de Vetás). *Boletín de Geología*, 24(39), 121-134.
- Figueiredo, L.A. (2014). Espeleoturismo, educación ambiental y procesos formativos de espeleología: reporte de experiencias en Brasil y México. *VII Congreso de Espeleología de América Latina y del Caribe*, Catacamas, Honduras.
- Galvis-Gómez, M.A. (2018). Mapa del potencial kárstico del departamento de Santander (Colombia). Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Gelvez-Chaparro, J.; Herrera-Ruiz, J.; Zafra-Otero, D.; Barajas-Rangel, D.; Díaz-Carreño, J.; Ríos-Reyes, C. (2018). Geotouristic potential in karst systems of Santander (Colombia): the beginning of right geoeducational and geoconservational practices. *International Journal of Hydrology*, 2(6), 713-716. doi: 10.15406/ijh.2018.02.00148

- Gómez, A. (1977). Fotogeología de la zona Barbosa-Landázuri. *Boletín de Geología*, 11(25), 99-106.
- Gómez, L.; Lancheros, J.; López, C.; Patiño, A.; Beltran, A.; Renzoni, G.; Guerra, A.; Quintero, C. (2008). Cartografía geológica y muestreo geoquímico escala 1:100.000 de la plancha 150, Cimitarra. Valle Medio del Magdalena. INGEOMINAS.
- Gunn, J. (2004). *Encyclopedia of Cave and Karst Science*. New York: Fitzroy Dearborn.
- Hapka, R.; Jutzet, J.M.; Bochud, M.; Fernandez, J. (2015). Speleo-Colombia 2011-2013. *Cavernes, Special Colombie*, 5-95.
- Harley, G.L.; Polk, J.S.; North, L.A.; Reeder, P.P. (2011). Application of a cave inventory system to stimulate development of management strategies: the case of west-central Florida, USA. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2547-2557. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.05.020
- Julivert, M. (1968). *Lexique Stratigraphique International*. Vol. V Amerique Latine, Fasc. 4. Colombie. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique.
- Llopis-Lladó, N. (1970). *Fundamentos de hidrogeología cárstica. Introducción a la geoespeleología*. Barcelona: Editorial Blume.
- Mantilla-Figueroa, L.C.; Cruz, L.E.; Colegial, J.D. (2003). Introducción a la geología del sector Vélez-Bolívar-Guavatá (Dpto. de Santander, Colombia) y su importancia para la exploración de depósitos hidrotermales. *Boletín de Geología*, 25(40), 39-57.
- Mendoza-Parada, J.E.; Moreno-Murillo, J.M.; Rodríguez-Orjuela, G. (2009). Sistema Cárstico de la Formación Rosablanca Cretácico inferior, en la provincia santandereana de Vélez, Colombia. *Geología Colombiana*, 34, 35-44.
- Muñoz-Saba, Y.; Andrade, G.; Baptiste, L.G.; Salas, D.; Villareal, H.; Armenteras, D. (1998). Conservación de los ecosistemas subterráneos en Colombia. *Biosíntesis*, 10, 1-4.
- Newsome, D.; Dowling, R. (2018). Geoheritage and geotourism. In: E. Reynard; J. Brilha (eds.). *Geoheritage: assessment, protection, and management* (pp. 305-321). Chapter 17. Elsevier Inc.
- Núñez, A. (1970). Clasificación genética de las cuevas de Cuba. Serie espeleológica y Carsológica, No 7. *Simposio XXX Aniversario Sociedad Espeleológica de Cuba*, La Habana, Cuba.
- Palacio-Prieto, J.L.; Sanchez-Cortez, J.L.; Schilling, M.E. (2016). *Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. Situación y perspectivas nacionales*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramirez-Ruiz, V.M. (2014). Reconstituição Paleoclimática dos últimos 5.500 anos nos Andes Orientais da Colômbia. Dissertação de Mestrado. Universidade de Sao Paulo, Brasil. doi: 10.11606/D.44.2014.tde-03122014-093609
- Šuleić, M.; Pavić, D. (2016). Gorges as potential geotourism attractions of Serbia - comparative analysis of Ovčarsko – Kablarska Gorge and Grdelićka Gorge by using M-GAM Model. *Acta Geoturistica*, 7(1), 10-20.
- Tomić, N.; Božić, S. (2014). A Modified Geosite Assessment Model (M-GAM) and its application on the Lazar Canyon area (Serbia). *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1041-1052. doi: 10.22059/ijer.2014.798
- Tomić, N.; Marković, S.; Korać, M.; Mrdić, N.; Hose, T.; Vasiljević, D.; Jović, M.; Gavrilov, M. (2015). Exposing mammoths: From loess research discovery to public palaeontological park. *Quaternary International*, 372, 142-150. doi: 10.1016/j.quaint.2014.12.026
- Vujičić, M.D.; Vasiljević, D.A.; Marković, S.B.; Hose, T.A.; Lukić, T.; Hadžić, O.; Janićević, S. (2011). Preliminary geosite assessment model (GAM) and its application on Fruška Gora Mountain, potential geotourism destination of Serbia. *Acta Geographica Slovenica*, 51(2), 361-376. doi: 10.3986/AGS51303
- Vuković, S.; Antić, A. (2019). Speleological approach for geotourism development in Zlatibor county (West Serbia). *Turizam*, 23(1), 53-68. doi: 10.5937/turizam23-21325

Jorge Gelvez-Chaparro
ORCID: 0000-0002-4327-1367

Daniel Barajas-Rangel
ORCID: 0000-0003-0238-8494

Juliana Herrera-Ruiz
ORCID: 0000-0003-3476-4191

Carlos Alberto Ríos-Reyes
ORCID: 0000-0002-3508-0771

Trabajo recibido: noviembre 02 de 2019
Trabajo aceptado: abril 23 de 2020