

**Caracterización geoespeleológica de sistemas kársticos en Zapatoca (Santander) con fines de geoeducación y geoconservación, caso de las cavernas: El Nitro y Las Alsacias**

**Diego Zafra Otero**

**Trabajo de grado para optar por el título de Geólogo**

**Director:**

**Carlos Alberto Ríos Reyes Geólogo Ph.D en ciencia aplicada**

**Codirector:**

**Leonardo Villamizar Cáceres Geólogo**

**Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Geología  
Bucaramanga**

**2019**

### **Dedicatoria**

Quisiera dedicar este trabajo de grado primeramente a la energía primordial que mueve todas las cosas y nos impulsa a seguir adelante cada día que algunos llaman Dios, a las personas más importantes en mi vida mis padres Ignacio y Martha que han sido la inspiración, el apoyo y el sustento necesario para realizar esta tesis con la que culmino mis estudios como geólogo; a toda mi familia pues ellos son los que me motivan a seguir adelante en mis proyectos innovando cada día y buscando soluciones para las problemáticas que tiene el planeta tierra en este siglo, a los habitantes del bello pueblo de Zapatoca ya que por ellos y para ellos es este trabajo con el que espero se puedan ver beneficiados no solo económicamente sino también intelectualmente.

Hago un homenaje y dedicatoria a todos los espeleólogos en el mundo que han venido trabajado esta interesante y novedosa ciencia, pues son quienes me han servido de inspiración con sus trabajos, hallazgos y expediciones en busca de lo desconocido; finalmente quisiera hacer un honor a los cientos de espeleólogos que han perdido la vida en exploración de cavernas esto también va por ustedes en su memoria y en su honor, paz en su tumba.

### **Agradecimientos**

Doy gracias al grupo de geoespeleología de la Universidad Industrial de Santander, su junta directiva y sus cofundadores con quienes desde el 2017 comenzamos a realizar las primeras investigaciones sobre estos temas en la universidad y que fueron la base científica para realizar este trabajo, también quisiera agradecer a todos y cada uno de los compañeros pertenecientes al grupo espeleo y el Semillero de investigación de Patrimonio Geológico que pudieron acompañarme a salidas técnicas y de geoeducación en estas cavernas, en especial a: Jorge, Daniel, Juan Diego y Keyla ya que sin su ayuda no hubiera podido realizar este trabajo; a los guías de la caverna de El Nitro por sus atenciones prestadas y la información brindada en especial al espeleólogo Don Carlos Barrera quien con su conocimiento me mostró gran parte de la caverna, al comandante Jhener de la Defensa Civil de Zapatoca quien me permitió realizar las actividades de capacitación pertinentes, y al guía turístico Alexander Vargas que me enseñó la caverna de Las Alsacias.

Agradezco al profesor Carlos Ríos por motivarme, asesorarme y apoyarme en esta novedosa investigación; al profesor Leonardo Villamizar por ser el primero en hablarme de ciencias del karst; al profesor Francisco Velandia por sus pertinentes correcciones y antecedentes en la geoespeleología; al profesor Carlos Chacón que fue el docente encargado de manejar el SEM, al profesor Germán Patarroyo por sus asesorías sobre paleoclimatología y a todos los profesores de la escuela de Geología que influyeron en mi formación.

## Tabla de Contenido

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introducción .....</b>                                  | <b>16</b> |
| <b>1. Objetivos.....</b>                                   | <b>21</b> |
| 1.1 Objetivo General.....                                  | 21        |
| 1.2 Objetivos Específicos .....                            | 21        |
| <b>2. Cuerpo del Trabajo .....</b>                         | <b>21</b> |
| <b>2.1 Marco Referencial .....</b>                         | <b>21</b> |
| 2.1.1 Geología Regional. ....                              | 21        |
| 2.1.2. Geomorfología.....                                  | 26        |
| 2.1.3. Geoespeleología.....                                | 28        |
| 2.1.4. Mineralogía de espeleotemas y rocas calcáreas. .... | 34        |
| 2.1.5. Patrimonio Geológico.....                           | 40        |
| 2.1.6. Geoconservación. ....                               | 42        |
| 2.1.7 Geoturismo .....                                     | 43        |
| 2.1.8 Espeleoturismo. ....                                 | 44        |
| 2.1.9. Geoeducación. ....                                  | 46        |
| <b>2.2 Metodología .....</b>                               | <b>49</b> |
| 2.2.1 Revisión bibliográfica.....                          | 49        |
| 2.2.2 Fase de trabajo de campo.....                        | 49        |
| 2.2.3 Fase de laboratorio.....                             | 50        |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.4 Fase de integración de la información. ....                                             | 50         |
| 2.2.5 Fase de difusión. ....                                                                  | 51         |
| <b>2.3 Resultados.....</b>                                                                    | <b>52</b>  |
| 2.3.1 Geomorfología.....                                                                      | 52         |
| 2.3.2 Mapas de las cavernas. ....                                                             | 57         |
| 2.3.3 Caracterización Espeleotemática. ....                                                   | 62         |
| 2.3.4 Caracterización de espeleotemas y rocas asociadas. ....                                 | 69         |
| 2.3.5 Geología Estructural. ....                                                              | 81         |
| 2.3.6 Análisis de aguas. ....                                                                 | 83         |
| 2.3.7 Climatología de la zona. ....                                                           | 84         |
| 2.3.8 Bioespeleología. ....                                                                   | 85         |
| 2.3.8 Estado de geoconservación de las cavidades y valoración del patrimonio subterráneo..... | 86         |
| 2.3.9 Actividades de geoeducación. ....                                                       | 91         |
| 2.3.8 Discusión. ....                                                                         | 93         |
| <b>3. Conclusiones.....</b>                                                                   | <b>95</b>  |
| <b>4. Recomendaciones.....</b>                                                                | <b>96</b>  |
| <b>Referencias Bibliográficas .....</b>                                                       | <b>98</b>  |
| <b>Apéndices.....</b>                                                                         | <b>107</b> |

### Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Mapa Geológico, ubicación de la zona de trabajo y las cavernas trabajadas. Modificado del cuadrángulo H-12, Bucaramanga, departamento de Santander, Escala 1:100000. INGEOMINAS. Bogotá, Ward et al. 1977 .....                                                      | 19 |
| <b>Figura 2:</b> Corte estructural donde muestra las estructuras regionales de Zapatoca. Tomado y modificado de López y Jaimes, (2015) en Jimenez et al. (2016) .....                                                                                                                 | 25 |
| <b>Figura 3:</b> Principales geoformas exokársticas (Llopis 1970) .....                                                                                                                                                                                                               | 27 |
| <b>Figura 4:</b> Clasificación del Lapiaz según Ginés 1990.....                                                                                                                                                                                                                       | 28 |
| <b>Figura 5:</b> Espeleotemas como registros subterráneos de señales relacionadas al sistema tierra externo. (Fairchild et al. 2012) .....                                                                                                                                            | 35 |
| <b>Figura 6:</b> Clasificación de los espeleotemas (Llopis 1970).....                                                                                                                                                                                                                 | 36 |
| <b>Figura 7:</b> (A) Patrones de las Estalagmitas Muñoz et al. 2016 en Chivelet et al 2017. (B) Formas de las estructuras sedimentarias en láminas de estalagmitas. Chivelet et al 2017 (C). Esquema general del Análisis arquitectural de espeleotemas (Chivelet et al. 2017). ..... | 39 |
| <b>Figura 8:</b> (A) Los componentes de la geoeducación según la National Geographic (B) Beneficios sociales de la geoeducación según National Geographic. ....                                                                                                                       | 47 |
| <b>Figura 9:</b> Mapa geomorfológico de la zona de estudio. ....                                                                                                                                                                                                                      | 52 |
| <b>Figura 10:</b> (A) Meseta estructural, campos de lapiaces y valle kárstico. (B) Ladera sinclina residual y poljes. ....                                                                                                                                                            | 53 |
| <b>Figura 11:</b> (A) Campo de dolinas. (B) Entrada de la caverna de El Nitro. (C) Entrada de la caverna de Las Alsacias.....                                                                                                                                                         | 53 |
| <b>Figura 12:</b> Lapiaz formado por agua que impacta: (A) Rillenkarrren. (B) Spltzkarren. ....                                                                                                                                                                                       | 55 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 13:</b> Lapiaz formado por agua que circula: (A) Wandkarren. (B) Trittkarren. ....                                                                                                                                                                                    | 55 |
| <b>Figura 14:</b> Lapiaz formado por agua quieta: (A) Kamenice. (B) Cavernous weathering. (C) Rainpits. ....                                                                                                                                                                    | 55 |
| <b>Figura 15:</b> Lapiaz formado por agua que se infiltra (Wandkarren).....                                                                                                                                                                                                     | 55 |
| <b>Figura 16:</b> Análisis estructural del mapa geomorfológico (A) Diagrama de rosas con los rumbos de los poljes, representando su alineación en el área de estudios. (B) Diagrama de rosas con los rumbos de los valles ciegos, representando su alineación estructural. .... | 56 |
| <b>Figura 17:</b> Mapa geoturístico de la caverna de El Nitro.....                                                                                                                                                                                                              | 57 |
| <b>Figura 18:</b> Mapa geoespeleológico de la caverna de El Nitro.....                                                                                                                                                                                                          | 58 |
| <b>Figura 19:</b> Georuta subterránea de la caverna de Las Alsacias. Modificada de Pimiento R. 2007 .....                                                                                                                                                                       | 59 |
| <b>Figura 20:</b> Mapa geoespeleológico de la caverna de Las Alsacias. ....                                                                                                                                                                                                     | 60 |
| <b>Figura 21:</b> Análisis estructural de los mapas. (A)15 Diagrama de rosetas de la caverna de El Nitro. (B) Diagrama de rosetas caverna de Las Alsacias. ....                                                                                                                 | 61 |
| <b>Figura 22:</b> Hipótesis unión de las cavernas El Nitro y Las Alsacias.....                                                                                                                                                                                                  | 62 |
| <b>Figura 23:</b> Endokarst parietal de El Nitro: (A) Estalagmitas tipo huevo frito. (B) Estalagmitas de tope plano. (C) Estalagmitas botroidales. (D) Estalactitas en fosilización.....                                                                                        | 63 |
| <b>Figura 24:</b> Endokarst parietal de El Nitro: (A) Endokarren. (B) Coladas. (C) Repisa y coladas tipo sparr. (D) Unión de dos repisas formando una mesa. ....                                                                                                                | 64 |
| <b>Figura 25:</b> Endokarst zenital de El Nitro: (A) Cupulas generadas por el CO <sub>2</sub> emitido por los murcielagos. (B) Estalactitas en formación. (C-D) Estalactitas tipo pata de elefante.....                                                                         | 64 |
| <b>Figura 26:</b> Endokars mixto y fluvial de El Nitro: (A) Sifón. (B) Balsas de calcita. (C) Bañera o bathtub. (D)Columnas .....                                                                                                                                               | 65 |

|                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 27:</b> Endokarst de Las Alsacias: (A) Excéntrica tipo anemolita. (B) Flor de yeso. (C) Dientes de sierra. (D) Excéntrica tipo antodita.....                                                                                 | 66 |
| <b>Figura 28:</b> Endokars pavimentario de Las Alsacias: (A) Hueco generado por el guano de los murciélagos. (B) Estalagmita tipo huevo frito y pisolita. (C) Pisolita con precipitación de perlas. (D) Estalagmitas. ....             | 67 |
| <b>Figura 29:</b> Exokarst zenital de Las Alsacias: (A) Estalactitas. (B) Estalactitas con moonmilk. (C) Cortinas y banderas. (D) Excéntricas tipo helictitas. ....                                                                    | 67 |
| <b>Figura 30:</b> Exokarst mixto y fluvial de Las Alsacias: (A) Quebrada subterránea. (B) Columna de predominancia estalagmítica y pajillas de soda. (C) Pozos subterráneos. (D) Castillo, estalactitas, estalagmitas y columnas. .... | 68 |
| <b>Figura 31:</b> Columna estratigráfica en superficie y leyenda de las columnas. ....                                                                                                                                                 | 69 |
| <b>Figura 32:</b> Columna estratigráfica de la caverna de El Nitro. ....                                                                                                                                                               | 70 |
| <b>Figura 33:</b> Columna estratigráfica de la caverna de Las Alsacias.....                                                                                                                                                            | 71 |
| <b>Figura 34:</b> Análisis arquitectural de estalagmitas. (A) Estalagmita 1. (B) Estalagmita 2. (C) Estalagmita 3. ....                                                                                                                | 75 |
| <b>Figura 35:</b> Muestras analizadas con microscopía electrónica de barrido. (A) Muestra 1. (B) Muestra 2. (C) Muestra 3. (D) Muestra 4. ....                                                                                         | 76 |
| <b>Figura 36:</b> Puntos de la muestra 1, imágenes microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3. (D) Punto 4. (E) Punto 5. (F) Punto 6. ....                                                    | 77 |
| <b>Figura 37:</b> Puntos de la muestra 2, imágenes microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3. (D) Punto 4. ....                                                                              | 78 |
| <b>Figura 38:</b> Puntos de la muestra 3, imagen microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3.....                                                                                              | 79 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 39:</b> Puntos de la muestra 4, imagen microscopía electrónica de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. ....                                                                                                                                                                                | 80 |
| <b>Figura 40:</b> Diagramas de rosas de las diaclasas en las cavernas. (A) Diagrama de rosas diaclasas de El Nitro. (B) Diagrama de rosas diaclasas Alsacias. ....                                                                                                                                           | 81 |
| <b>Figura 41:</b> Evidencias tectónicas y de fallas en la caverna de El Nitro. (A) Falla normal perteneciente al salón de las Arañas. (B) Estalagmita inclinada en el salón de Los Tornillos. (C) Falla normal contigua al pasillo de la entrada. (D) Columna transportada en la quebrada del pez ciego..... | 82 |
| <b>Figura 42:</b> Evidencias tectónicas y de fallas en Las Alsacias. (A) Falla de rumbo dextral en el techo. (B) 1era falla inversa. (C) Segunda falla inversa. (D) Columna torcida a causa de un paleosismo. ....                                                                                           | 83 |
| <b>Figura 43:</b> Climatología de la zona, temperatura media y precipitación total. ....                                                                                                                                                                                                                     | 85 |
| <b>Figura 44:</b> Nuevas familias reportadas en la caverna de Las Alsacias: (A) Spirostreptidae. (B) Cranidae. (C) Crustacea. (D) Gryllidae. (E) Psellioididae. (F) Newportiidae. ....                                                                                                                       | 86 |
| <b>Figura 45:</b> Geoturismo en la caverna de El Nitro (Zafra Otero et al. 2018). (A) Equipos de protección. (B) Turistas conociendo un sistema kárstico. ....                                                                                                                                               | 87 |
| <b>Figura 46:</b> Análisis DAFO de las cavernas. ....                                                                                                                                                                                                                                                        | 89 |
| <b>Figura 47:</b> Mapa de afectación Caverna de El Nitro Zafra et al. 2018.....                                                                                                                                                                                                                              | 90 |
| <b>Figura 48:</b> Afectaciones ambientales de las cavernas. (A) Grafitis en la caverna de El Nitro. (B) Grafitis en la entrada de la caverna de Las Alsacias. (C) Grafitis y espeleotemas rotos en la caverna de El Nitro. ....                                                                              | 91 |
| <b>Figura 49:</b> Actividades de geoeeducación entorno a estos sistemas kársticos. (A) Jornada de capacitación en temas de geología con los guías de la caverna de El Nitro pertenecientes a la                                                                                                              |    |

Defensa Civil de Zapatoca. (B) Geoeducación directa brindada a turistas y visitantes de la caverna de El Nitro. (C) Estudiantes de geología de la Universidad Industrial de Santander apreciando un sistema kárstico. ....93

**Lista de Apéndices**

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Apéndice:</b> Tabla 1 Valoración de criterios Las Alsacias. .... | 107 |
| <b>Apéndice:</b> Tabla 2 Resultados valoración Alsacias .....       | 108 |
| <b>Apéndice:</b> Tabla 3 Parámetros de valoración El Nitro .....    | 109 |
| <b>Apéndice:</b> Tabla 4 Resultados Valoración El nitro.....        | 110 |

### Resumen

**Título:** CARACTERIZACIÓN GEOESPELEOLÓGICA DE SISTEMAS KÁRSTICOS EN ZAPATOCA (SANTANDER) CON FINES DE GEOEDUCACIÓN Y GEOCONSERVACIÓN: CASO DE LAS CAVERNAS: EL NITRO Y LAS ALSACIAS\*

**Autor:** Diego Zafra Otero \*\*

**Palabras clave:** karst, geoespeleología, geomorfología, espeleotema, caverna, geoeducación, geoconservación, geoturismo.

**Descripción:** Este trabajo muestra el primer estudio geoespeleológico en sistemas kársticos del municipio de Zapatoca, se estudiaron dos cavernas y la geomorfología de la zona. Para realizar este proyecto se cartografiaron las cavernas con las convenciones y normas de la Union International of Speleology, y la geomorfología superficial con escala 1:20.000, se estudiaron las tendencias estructurales de las geoformas y diaclasas principales de la zona mediante diagramas de rosetas, también se realizó un análisis petrográfico de las rocas aflorantes en la entrada de las cavernas y algunos espeleotemas (estalagmitas, estalactitas y coladas) mediante muestras de mano y microscopía electrónica de barrido SEM, se pudo conocer la ubicación estratigráfica de estas cavernas mediante columnas, el comportamiento climático de la zona (análisis arquitectural de estalagmitas, gráficas de temperatura y precipitación), la calidad del agua subterránea, los cambios composicionales en las precipitaciones registradas y algunos minerales de valor económico en las mismas; a su vez se procedió a valorar estos lugares como patrimonio geológico con la metodología del Servicio Geológico Colombiano, analizar el estado de geoconservación de cada caverna y proponer un uso específico. Por último se realizaron actividades de geoeducación con estudiantes de geología para socializar las bases de la geoespeleología y la importancia del estudio del karst, con turistas para socializar los resultados de este trabajo (mapas, estudios de laboratorio y valoraciones), y actividades de capacitación en geología con guías locales para que pudieran comprender más acerca del proceso de formación de cavernas (ciclo kárstico), la importancia del cuidado de estos lugares tan valiosos para la ciencia y el patrimonio geológico Colombiano, compartiendo la información de este proyecto con turistas y locales procurando así el desarrollo sostenible.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto Rios Reyes, Geólogo PhD

### Abstract

**Title:** GEOSPELEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF KARSTIC SYSTEMS IN ZAPATOCA (SANTANDER) FOR THE PURPOSES OF GEOEDUCATION AND GEOCONSERVATION: CASE OF THE CAVERNS: THE NITRO AND THE ALSACIAS \*\*

**Author:** Diego Zafra Otero \*

**Keywords:** karst, geospeleology, geomorphology, speleothem, cavern, geoeducation, geoconservation, geotourism.

Description: This work shows the first geospeleological study in karstic systems of the municipality of Zapatoca, two caverns and the geomorphology of the area were studied. To carry out this project the caverns were mapped with the conventions and standards of the Union International of Speleology, and the superficial geomorphology with a scale of 1: 20,000, the structural tendencies of the main geoforms and diaclasses of the area were studied by rosette diagrams, also a petrographic analysis of the outcropping rocks at the entrance of the caverns and some speleothems (stalagmites, stalactites and castings) was carried out by hand samples and SEM scanning electron microscopy, it was possible to know the stratigraphic location of these caverns by columns, the climatic behavior analysis of the area were studied (architectural analysis of stalagmites, temperature and precipitation graphs), the quality of the groundwater, the compositional changes in the registered rainfall and some minerals of economic value in the area; At the same time the evaluation of these places as geological heritage with the methodology of the Colombian Geological Service, the analysis of geoconservation of each cavern and its purpose for a specific use. Finally, geoeducation activities were made with geology students to socialize the bases of geospeleology and the importance of karst study, with tourists to socialize the results of this work (maps, laboratory studies and assessments), and training activities in geology with local guides so that they could understand more about the process of formation of caverns (karstic cycle), the importance of taking care of these places so valuable for science and Colombian geological heritage, sharing the information of this project with tourists and locals generating the sustainable development.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto Rios Reyes, Geólogo PhD.

### **Introducción**

La geoespeleología se conoce como una rama de la geología que estudia el proceso de formación de los sistemas kársticos. La karstología o ciencias del karst tiene un amplio rango de aplicaciones, por ejemplo: casi la mitad de Francia confía en la hidrogeología kárstica para su suministro de agua, la mayoría de descubrimientos acerca de humanos prehistóricos se han llevado a cabo en cuevas, aproximadamente la mitad de los reservorios clásicos de hidrocarburo del mundo se encuentran en rocas carbonatadas, los cambios en el clima han sido registrados por millones de años en espeleotemas en cuevas, los proyectos de ingeniería civil a gran escala (vías férreas, represas, túneles, etc.) casi siempre presentan dificultades relacionadas con la karstología, las numerosas cuevas que han sido hechas accesibles a turistas reciben millones de visitantes cada año (Gilli, 2015).

La geoespeleología es una ciencia incipiente en Colombia y se han realizado muy pocos estudios en esta disciplina en comparación con las otras ciencias de la tierra. Santander es un departamento con gran cantidad de cavernas, cuevas y grutas esto debido a su abundancia en rocas de composición calcárea y a sus variados climas.

En el municipio de Zapatoca afloran litologías de composición carbonatada que han generado geoformas (karstificación) particulares tales como cuevas, lapiaces, dolinas, etc., a pesar de ser tan importantes muchas veces son vulneradas por visitantes inescrupulosos que realizan actos vandálicos como: rompimiento de espeleotemas, grafitis y basuras; con este estudio se pretende caracterizar las cavernas (El Nitro y Las Alsacias), evaluar su estado de conservación; y hacer un aporte e introducción a la geología kárstica que aflora en el municipio.

Los paisajes kársticos, los espeleotemas y las cavernas son el resultado de un largo proceso de disolución, que al ser estudiados nos permiten evidenciar condiciones físico-químicas de los ambientes y climas del pasado. Se realizarán los estudios geoespeleológicos de dos cuevas presentes en el municipio de Zapatoca, con el fin de conservar y proteger estos sistemas subterráneos dándoles el mejor uso posible. La caverna de El Nitro una cavidad que por tradición ha sido insignia de la región pues es visitada por múltiples personas cada fin de semana, ha sido usada durante años para el turismo por lo que su afectación antrópica es de gran magnitud, se identificarán los lugares más afectados para realizar la restauración pertinente, se planteará una ruta geoturística-geoeducativa habilitada para los visitantes y se propondrá una zona de protección que será usada para futuras investigaciones científicas. La caverna de Las Alsacias que ha sido conservada pues es menos conocida y presenta muchas particularidades, no tiene en ella mayor afectación antrópica por lo que se realizarán estudios de sus espeleotemas que servirán de soporte para su conservación y se harán actividades de geoeducación para que los interesados puedan observar los procesos geológicos que en ella interactúan (fracturas, disolución, depositación, precipitación, etc...); teniendo en cuenta que la geoespeleología (karstología) acompañada de la geoconservación, geoeducación y el geoturismo puede generar desarrollo sostenible en las regiones, se plantea un trabajo que tiene en cuenta el desarrollo económico, científico y cultural de la región (desarrollo sostenible).

Debido a la escasez de información y trabajos realizados sobre este tema, se realizó una investigación científica de: las rocas que afloran en las cavernas, el agua que fluye en el subsuelo, los espeleotemas presentes, la geomorfología externa y el estado de geoconservación de las cuevas.

Esta propuesta de trabajo incluye: mapas, la descripción y catálogos espeleotemáticos de las cavernas, la mineralogía y diferentes análisis de laboratorio; todo esto con el fin de conocer las condiciones físico-químicas que formaron estos sistemas subterráneos y los procesos geológicos actuales que se desarrollan en ellos, estos conocimientos fueron aplicados en geoeducación y servirán para promover su geoconservación.

Finalmente por medio de mapas, guías geoturísticas, folletos y actividades didácticas, geoeducación para los locales (Guías), se piensa atraer turistas a la región brindándoles seguridad a la hora de hacer recorridos espeleoturísticos/educativos e interesando a todas las personas en las ciencias de la tierra, a su vez se plantearon alternativas para proteger y conservar estos sistemas kársticos usándolo con fines adecuados para mantener el desarrollo sostenible y enseñándoles la importancia de conservar estos sistemas tan valiosos.

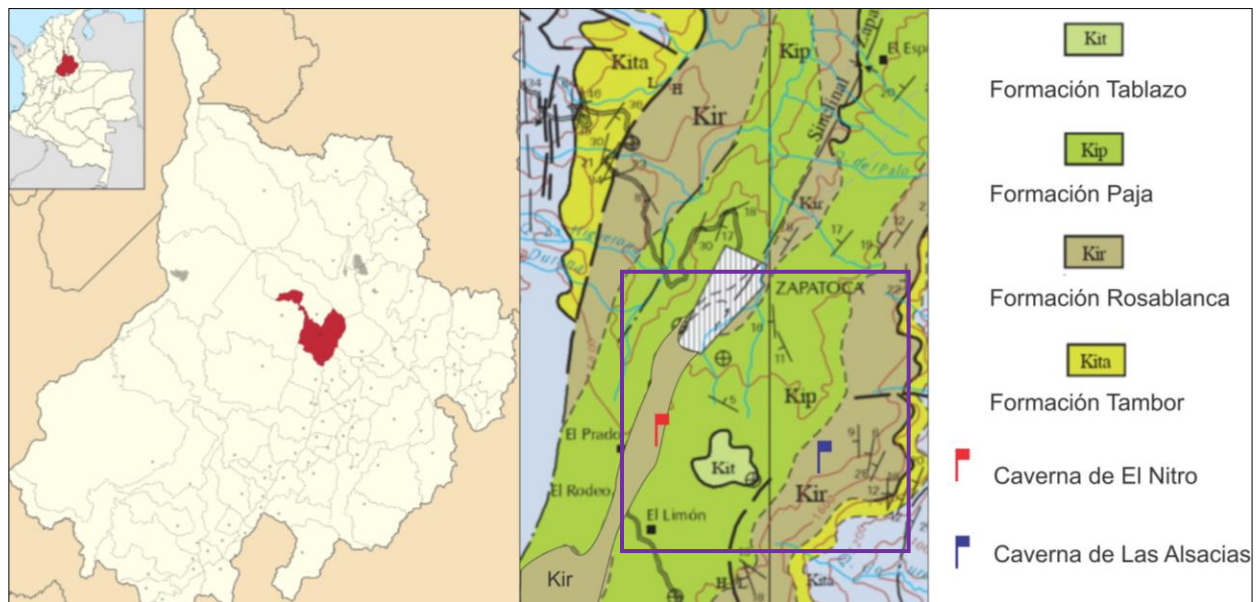
La zona de trabajo se ubica en la parte Este de la Cordillera Oriental del Sistema Andino de Colombia y en cercanías a la serranía de los yariguíes específicamente en la mesa de Zapatoca del departamento de Santander.:

La caverna de El Nitro que está delimitada por las siguientes coordenadas planas:

N= 1°24'38.29", 067; E= 1°08'28.1", 885; Z= 1776 msnm.

La caverna de Las Alsacias está delimitada por las siguientes coordenadas:

N= 1°24'32.55", 532; E= 1°09'10.63", 381; Z= 1790msnm.



*Figura 1: Mapa Geológico, ubicación de la zona de trabajo y las cavernas trabajadas. Modificado del cuadrángulo H-12, Bucaramanga, departamento de Santander, Escala 1:100000. INGEOMINAS. Bogotá, Ward et al. 1977*

Con los resultados obtenidos de este proyecto se pretende generar desarrollo sostenible en la región: dándoles un uso adecuados a estas cavernas, conservando y protegiendo estos sistemas subterráneos a partir de geoeducación. Demostrando así que los sistemas kársticos son muy valiosos por la cantidad de agua, vida e información del pasado geológico que albergan en su interior; por lo tanto, deben ser cuidados por sus visitantes y constantemente estudiados por los geólogos.

Las actividades de geo-educación poseen una enorme significancia en la geoconservación de sistemas kársticos, puesto que contribuyen a fomentar un cambio de mentalidad respecto a la conservación ambiental, generan conciencia sobre el pasado de la tierra y sus impactos en la existencia humana. Con enfoques pedagógicos, y una metodología clara de intervención, se llevó a cabo la transferencia de conocimiento hacia la comunidad en general del municipio de

Zapatoca (Santander), difundiendo su patrimonio geológico y natural. La geoeducación es un pilar fundamental en el desarrollo de esta iniciativa y su alcance fue involucrar a las comunidades locales por medio de actividades de geoeducación y capacitación de guías geoturísticos.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Llevar acabo el estudio geomorfológico y espeleológico de las cavernas: El nitro y Las Alsacias; así como un diagnóstico de su estado de geoconservación para el desarrollo de geoeducación y geoturismo.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un mapa geomorfológico de la zona de estudio.
- Realizar los mapas de las cavernas.
- Caracterización petrográfica de espeleotemas y rocas asociadas.
- Establecer el estado de geoconservación de estas cavernas, definir su valor como patrimonio geológico y su potencial para propósitos de geoeducación y geoturismo.
- Desarrollar actividades de geoeducación con la Defensa Civil (los guías de la caverna de El Nitro) y estudiantes de Geología de la UIS.

## 2. Cuerpo del Trabajo

### 2.1 Marco Referencial

**2.1.1 Geología Regional.** En el departamento de Santander, cordillera oriental, se presentan rasgos geomorfológicos exo y endocársticos que deben su origen al desarrollo en rocas calcáreas y facies evaporíticas, propias de la transgresión marina cretácica. A causa de diferentes procesos de disolución, acción del agua y dióxido de carbono presente en la atmósfera, se favoreció la generación de geoformas tanto epigeas como hipogeas en estas unidades litoestratigráficas (Mendoza-Parada, et, al 2009).

El área de estudio se encuentra sobre el Sistema Andino de Colombia, el cual es uno de los sistemas que conforman el Bloque Andino (Pennington, 1981) o también llamado Andes del Norte sobre la Cordillera Oriental (CO), específicamente al W del Macizo de Santander (MS), en el Municipio de Zapatoca.

**2.1.1.1 Litoestratigrafía.** La litología que se encuentra en el municipio de Zapatoca está constituida por un grupo de formaciones sedimentarias que comprenden edades del Jurásico al Cretácico tardío. A causa de diferentes procesos de disolución, acción del agua y dióxido de carbono presente en la atmósfera, se favoreció la generación de geoformas tanto epigeas como hipogeas las unidades litoestratigráficas pertenecientes a la transgresión marina cretácica (Acero, D., Velandia, F., Ramírez, J. 2007)

Las formaciones de interés son las que tienen composición carbonatada, se encuentran en la cuenca del Valle medio de Magdalena y comprenden edades desde el Cretácico temprano al Cretácico medio, comprendido por las formaciones: Cumbre, Rosablanca, Paja y Tablazo.

**Formación Cumbre:** Fue descrita inicialmente por (Renzoni, G. 1967) como un conjunto de areniscas gris oscura, alternando con shale negro piritoso. Otros autores mencionan que consta de areniscas de grano fino de cuarzo con colores habanos a verdes alternando con escasos niveles de shales grises y negros piritosos (Gomez 1977). La edad de la Formación Cumbre se considera como Berriasiano superior – Valanginiano inferior y pudo haber sido depositada en un ambiente marino, pantanoso de aguas tranquilas (Ingeominas 1985). Se depositó en un ambiente de dominio marino marginal sobre una llanura costera aluvial y su contacto con la suprayacente Formación Rosablanca es gradual o transicional (Royero & Clavijo, 2001).

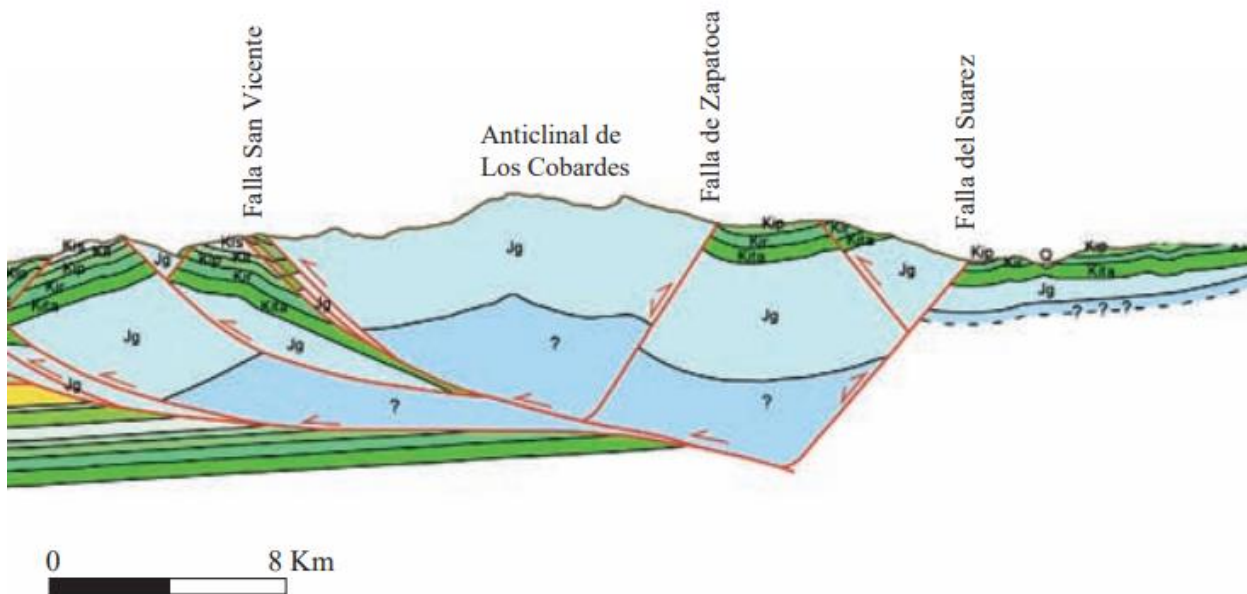
**Formación Rosablanca:** Es nombrada por Wheeler en 1929. La unidad aflora ampliamente en el departamento de Santander y su localidad tipo se ubica sobre el Río Sogamoso a 11,5 km del sitio conocido como el Tablazo (Morales, 1958). Es definida en la cartografía realizada por Julivert (1958) en la zona de Mesas y Cuestas en donde afloran grandes estratos y en donde se puede detallar la estratigrafía y su composición litológica, se determinó un espesor de 318 m. Para el area de Zapatoca y la mesa de Los Santos Bedoya & Nomesqui (2013) le atribuyen a esta formación una edad Valanginiano – Aptiano Inferior, determinada por los valores de isótopos de Estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) que van desde 0,707302 a 0,7075113. Su nombre se deriva del cerro de Rosablanca, un filo en la cordillera oriental en el municipio de Lebrija, donde se encuentra la cueva del Indio (IGAC, 1996). La formación se caracteriza gracias a la presencia de calizas dolomíticas y evaporíticas. En ella se tienen los lugares con los espeleotemas más variados y raros (Mendoza-Parada et al., 2009). La Formación Rosa Blanca en su base está compuesta por capas de calizas evaporíticas y calizas dolomíticas con pocas intercalaciones de rocas terrígenas (Guzmán, 1985). La parte media de la formación incluye biomicritas, margas y pelitas. Manifestando de “lagoon, shoreface y offshore” típicos de una transgresión marina (Guerrero, 2002). Hacia el tope del miembro, las calizas son oolíticas con coloraciones marrones a gris y trazas de minerales pesados (pirita). (ANH 2012). La superficie que limita el tope de la Formación Rosablanca y la base de la Formación Paja, en el área de Barichara. Los Santos, Zapatoca y San Gil debe ser tomada entre el ultimo conjunto grueso de biomicritas y las primeras lodolitas negras fisiles con delgadas interposiciones de micritas o biomicritas (Patarroyo 1997).

**Formación Paja:** El rango de edad de la Formación Paja va desde el Barremiano inferior hasta el Aptiano superior ( de acuerdo a información fósil), se trata de una secuencia dominada por lodolitas negras fisiles, con laminación plano-paralela; en menor proporción ocurren interposiciones de delgadas capas y muy ocasionalmente gruesas capas de micritas y biomicritas, las cuales pueden presentar forma tabular o lentiforme, también están presentes a lo largo de toda la sucesión, concreciones fosilíferas, ocasionalmente piritosas, que albergan amonitas, bivalvos, peces y gasterópodos (Patarroyo 1997). La formación se caracteriza por poseer lutitas marrones oscuras a negras, de ligeramente calcáreas a calcáreas, bastantes duras con trazas de calizas y en algunos casos se presentan micas y piritas como minerales accesorios, es rica en materia orgánica. (ANH 2012). La formación paja descrita en la sección estratigráfica de Barichara – San Gil constituye una sucesión de lodolitas en capas muy gruesas con intercalaciones de bioesparitas, arenitas de cuarzo fosilíferas y limolitas de cuarzo. Las lodolitas son negras con laminación paralela y contienen nódulos arcillosos hasta de 5cm o concreciones calcáreas hasta de 30cm. Las arenitas de cuarzo fosilíferas son grises, compactas y con bivalvos de hasta 1cm. Las bioesparitas son grises y violetas, compactas y con bivalvos de hasta 10cm. (Moreno & Sarmiento 2002).

**Formación Tablazo:** Nombre derivado de su sección tipo al margen del Río Sogamoso, este del municipio de Tablazo. Corresponde a una inter-estratificación de calizas duras de color azul grisáceo y de textura gruesa con arcillolitas calcáreas (Morales 1958). Esta unidad consta en el de un paquete inferior de areniscas de cuarzo calcáreas intercaladas con shales negros y le suprayecen calizas con nódulos de colores grises a negros, seguidas por gruesos bancos de shales negros. La parte más superior corresponde a un grueso paquete de bioesparuditas y biomicritas fosilíferas (Gomez 1977). En el sector de la Mesa de Los Santos la litología comprende capas

gruesas de areniscas calcáreas de grano fino a medio, muy compactas con alto contenido fósil, y calizas fosilíferas (Díaz et al. 2009)

**2.1.1.2 Geología Estructural.** La zona pertenece al sector este de la cuenca del Valle Medio del Magdalena, se caracteriza por estructuras con dirección NE-SW, estructuralmente este dominio está definido por dos fallas inversas con vergencia al Este que corresponden a la Falla del Suarez y Zapatoca y con los pliegues Anticlinal de Los Cobardes y Sinclinal de Zapatoca (Jiménez et al. 2016).



*Figura 2: Corte estructural donde muestra las estructuras regionales de Zapatoca. Tomado y modificado de López y Jaimes, (2015) en Jimenez et al. (2016)*

**Falla del Suarez:** Su orientación es N-S, paralela al curso del río Suarez y parte del Sogamoso, su dirección sigue luego por Chocó y Girón y se prolonga más al N paralelamente al Río de Oro (Julivert 1958). La falla Suárez tiene un cabalgamiento de dirección N20°E y vergencia al oriente, constituye un segmento activo que se extiende hacia el sur de

Bucaramanga, presentando cuaternarios cabalgados en superficie en la zona. (Taboada et al. 1998). Es una falla inversa de alto ángulo con inversión tectónica (Jiménez et al. 2016).

**Falla de Zapatoca:** Es una falla inversa de alto ángulo con inversión tectónica (Jiménez et al. 2016).

**Anticlinal de Los Cobardes:** Ubicado en la Serranía de Los Yariquíes, tiene dirección NNE-SSW por más de 200 kms, está constituido en su núcleo por una secuencia continental tipo "red beds" de edad triásica-jurásica y en sus flancos por rocas de transición a netamente marinas, su levantamiento se produce a la vez de la Cordillera Oriental originándose el "horst" de la Serranía de Los Yariquíes plegado en forma anticlinal, la característica principal del pliegue es su asimetría ya que el plano axial buza hacia el occidente con un ángulo entre 50° y 70°, su flanco occidental se inclina hasta 30°, mientras que el oriental alcanza los 70°, en el cierre del anticlinal los ángulos se suavizan (máximo 25° - 30°) conformando el cabeceo del mismo (Mendoza P. J.E. 1990). Recientes datos termo-cronológicos sugieren que la exhumación inicial asociada a tal plegamiento pudo haber empezado en el paleoceno (Parra et al., 2009). El anticlinal de Los Cobardes es un alto que presenta levantamiento intermitente y en el Eoceno no tenía topografía suficiente para generar una red de drenaje y aportar sedimento a la cuenca (Caballero V. et al. 2010)

**Sinclinal de Zapatoca:** Es una parte del muro colgante de la falla de Suárez (Gómez – Cruz et al. 2014).

**2.1.2. Geomorfología.** La Geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia la relación entre las formas de la superficie terrestre, los materiales naturales su disposición estructural y los procesos que las originaron, de esta manera se constituye en una herramienta fundamental para poder evaluar y proyectar el comportamiento de los terrenos, y su interrelación con obras de

infraestructura, enfocado entre otros al análisis de las amenazas naturales y Planes de Ordenamiento Territorial, las categorías definidas de escala mayor a menor son: zona geoestructural, provincia geomorfológica, región geomorfológica, unidades y subunidades geomorfológicas y componente geomorfológico (Carvajal et al. 2004). En nuestro caso y teniendo en cuenta la zona de estudio tendremos en cuenta los ambientes: Kárstico, estructural y denudacional.

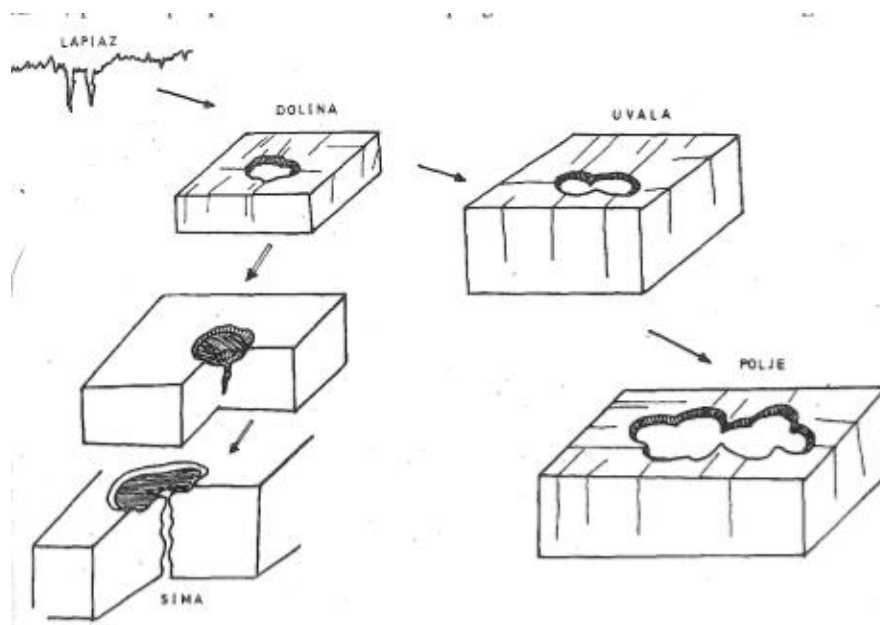


Figura 3: Principales geoformas exokársticas (Llopis 1970)

Las características del paisaje kárstico que más llaman la atención según Llopis (1970) son las siguientes:

1. Ausencia de circulación superficial en las zonas altas. A veces el territorio calizo está cruzado por profundas gargantas o cañones, casi siempre de origen exótico, es decir, procedentes de la excavación de ríos nacidos en zonas extracársticas. Por esto, algunos autores han hablado del "desierto del Karst".

2. Cumbres y vertientes calizas cubiertas de hendiduras y arañosos en profundidad variable, llamados Lapiaz (Karren) en alemán; aunque el más extendido es el francés lapiaz.
3. Presencia de abundantes formas ciegas: dolinas, úvalas y poljes, aparte de los valles ciegos.
4. Presencia de numerosas simas y cavernas en las vertientes.
5. Tapiz vegetal nulo o escaso. La roca caliza se muestra desnuda de toda otra cobertera.

|                                         |                     |                        |              |                      |
|-----------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------|----------------------|
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE IMPACTA     | FLUJO CANALIZADO    | Estrias                | Acanaladuras | Rillenkarren         |
|                                         |                     | Canalillos             |              |                      |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE CIRCULA     | FLUJO SIN CANALIZAR | Canales estriados      | Lapiaz Libre | Decantation flutes   |
|                                         |                     | Canales embudiformes   |              | Regenrinnenkarren    |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ESTANCADA           | Canales de pared       |              | Rinnenkarren         |
|                                         |                     | Canales meandriiformes |              | Wandkarren           |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Canales de decantación |              | Maänderkarren        |
|                                         |                     | Escalones              |              | Decantation runnels  |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Concavidades           |              | Trittkarren          |
|                                         |                     | Ondulaciones           |              | Cockling patterns    |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Cubetas                |              | Solution ripples     |
|                                         |                     | Pocillos               |              | Kamenice             |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Canaliculos            |              | Rainpits             |
|                                         |                     | Superf. oquerosas      |              | Microrills           |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Lapiaz de diaclasas    |              | Cavernous weathering |
|                                         |                     | Canales redondeados    |              | Kluftkarren          |
| LAPIAZ FORMADO POR AGUA QUE SE INFILTRA | ADHERIDA            | Criptolapiaz           |              | Rundkarren           |
|                                         |                     |                        |              | Subsoil karren       |

Figura 4: Clasificación del Lapiaz según Ginés 1990.

**2.1.3. Geoespeleología.** La hidrogeología kárstica (Geoespeleología) es la parte de la hidrogeología que estudia la circulación del agua en las rocas calizas y rocas solubles en general como consecuencia de la solubilidad de la caliza, la circulación va acompañada de una serie de fenómenos químicos físicos, que no encontramos en los demás tipos de circulación subterránea, las regiones calizas presentan un aspecto muy particular y su modelado está condicionado por circunstancias muy originales que les dan un sello muy específico, cuando se penetra en el

dominio de la caliza se echa en seguida de ver un mundo distinto, con su relieve propio y con su geografía original, la geoespeleología es en realidad una de las ramas de las ciencias geológicas especialmente relacionada con la hidrogeología, pero también con la geomorfología cuando intenta comprender el relieve kárstico; con la petrología sedimentaria y con la sedimentología, cuando estudia las características de la caliza y rocas afines; con la tectónica cuando se ocupa de la estructura de la caliza; con la geoquímica cuando investiga el origen de las sales disueltas en el agua y el ciclo de las mismas; con la meteorología y climatología cuando pretende conocer el valor de las precipitaciones atmosféricas y las leyes que las rigen en la región de que se ocupa (Llopis 1970). Las cuevas presentan un desafío único para el estudio científico porque, a excepción de las áreas de entrada grandes, las cuevas están en gran medida ocultas a la vista, como consecuencia, las cuevas en general no han atraído la atención de los científicos convencionales pues la mayoría de las cuevas no son evidentes a partir de mapas topográficos, imágenes satelitales y LANDSAT o fotografías aéreas que son herramientas que muchos científicos usan para visualizar la forma, forma y orientación de las formas terrestres, gracias a que las cuevas y sus características existen en un ambiente sin luz natural y contienen innumerables obstáculos físicos y psicológicos; es el explorador de cuevas que se aventura más allá de estos obstáculos, motivado por la curiosidad y el deseo de encontrar y documentar lugares desconocidos previamente, aquellos involucrados en la exploración seria de cuevas saben que la única forma de responder preguntas es con documentación sistemática en forma de estudios de cuevas y superficies, notas detalladas y observaciones, ubicaciones de características de cuevas / karst e inventarios y foto-documentación; los datos se sintetizan en mapas de cuevas, descripciones narrativas e informes que pueden servir como un conjunto de herramientas de exploración para encontrar más pasajes y cuevas, los productos derivados más importantes de la

exploración sistemática de cuevas son los mapas, que ilustran la extensión y el diseño de la cueva, las formas de los pasajes, estos mapas ponen de manifiesto la naturaleza oculta de las cuevas y sus características a la atención de los científicos y proporcionan una base no solo para investigaciones relacionadas con cuevas, sino también gama de esfuerzos científicos tales como arqueología, biología evolutiva, hidrogeología, geología, geomicrobiología, mineralogía y estudios de paleoclimas, por nombrar solo algunos (Kambesis 2007). La influencia de las cuevas en los ecosistemas circundantes es también grande, y como cualquier otro ecosistema alrededor del mundo, las cuevas han sido afectadas por impactos antropogénicos, las cuevas son relativamente más vulnerables que otros ecosistemas, y las amenazas más comunes incluyen urbanización, desarrollo de dolinas, erosión del suelo, contaminación del agua subterránea y vandalismo (Medellin et al., 2017). La Geoespeleología es la rama de las ciencias de la tierra que se dedica al estudio de las cavidades subterráneas, esta ciencia es muy reciente en Colombia y debe desarrollarse para el beneficio de las comunidades que las poseen, los estudios geoespeleológicos pueden impulsar la industria: turística, hídrica, científica y educativa; además de esto gracias a las cavernas los científicos pueden: conocer el clima del pasado (necesario para entender el cambio climático), aprender sobre evolución (hallazgos arqueológicos y paleontológicos), generar educación y conciencia ambiental (Zafra-Otero D. et al. 2018)

**Ciclo del karst:** Existen en la evolución kárstica secuencias de diferentes fenómenos que se repiten formando ciclos escalonados en el tiempo. Estos ciclos a su vez se constituyen con la sucesión de periodos. Un ciclo kárstico completo comprende 4 periodos: Periodo embrionario, periodo juvenil, periodo de madurez y periodo de senilidad. La intensidad de la karstificación dependerá de: la composición de la caliza, la agresividad del agua, de la estructura y el Clima (Llopis 1970)

**2.1.3.1 Geoespeleología en Santander.** Los primeros estudios en el departamento se presentan en el noroeste de la Provincia Guanentá del Departamento de Santander donde afloran rocas cretácicas de alto contenido calcáreo que favorece la formación de paisajes con desarrollo de morfologías endocársticas, en este trabajo se muestran los resultados del estudio geológico y espeleológico en las cuevas La Antigua, El Yeso, La Cuevana y El Nitro ubicadas en los municipios de San Gil, Curití y Villanueva; esto mediante levantamientos topográficos y descripción geológica detallada de dichas cavidades, pudieron clasificar estas cuevas teniendo en cuenta su disposición predominantemente horizontal, también se identificaron en La Antigua y La Cuevana características hidrogeológicas funcionales activas; también concluyeron que la cueva denominada El Yeso se caracteriza por contener la mayor variedad y cantidad de espeleotemas en su interior, y que la relación existente entre estos sistemas y el marco litológico–estructural de la región, demuestra que la formación y distribución de dichos ambientes no es aleatoria (Acero et al. 2007).

Las investigaciones bioespeleológicas adelantadas anteriormente en la Caverna de Las Alsacias reportaron una nueva especie de pez, *Trichomycterus sandovali* sp.nov como el primer registro que se tiene de un pez anoftalmo y troglobio para la región occidental de la Cordillera Oriental de Colombia (Ardila, 2006). También se presenta el primer registro espeleológico, de la caverna Don Juan (Alsacias), ubicada en el municipio de Zapatoca, Departamento de Santander, con base en la ficha espeleológica de registro establecida para catastro espeleológico nacional en elaboración por La Asociación Espeleológica Colombiana, ESPELEOCOL, en la que el autor menciona que : La excelente morfología exo y endokárstica reflejada en la variedad de geoformas como dolinas y estructuras de colapso, al igual que en el medio hipogeo como en la variedad en los espeleotemas, mineralizaciones, y su dinámica hídrica, son actualmente fuente

de investigación con una gran aplicabilidad hidrogeológica directa y de cultura ambiental necesarias en la región, ya que se encuentra en territorio del Parque Nacional Natural (PNN) Serranía de los Yariguíes y también concluye que: “Los recursos espeleológicos de la caverna Don Juan representan un registro geológico y biológico regional con un excelente grado de preservación que deberá ser declarado Reserva Natural (RN)” (Pimiento R. 2007). La caverna de Las Alsacias es considerada un laboratorio viviente pues en ella se aprecia todo el ciclo del karst, principios geológicos, tectónica y bioespeleología; por lo tanto, se recomienda a la comunidad científica realizar más trabajos de investigación en este lugar espeleológico tan fascinante (Zafra-Otero D. et al 2018). La caverna del Nitro ha sido altamente afectada por un turismo inconsciente, las adaptaciones turísticas que ha tenido más la georuta generan un turismo educativo e inclusivo con el fin de concientizar sobre geoconservación, su utilidad turística se vuelve un método de sostenibilidad para la comunidad que ve en la espeleología un medio para el avance del municipio, también brinda un plan de manejo turístico que ayudara a la realización de expediciones educativas y conscientes del patrimonio geológico, además es importante recalcar que a pesar de la continua afectación antropogénica, la cavidad sigue guardando intereses científicos importantes, debido a sus condiciones activas del karst y a su larga extensión (Zafra–Otero D. et al 2018)

También se han realizado estudios en la Provincia de Vélez en el Departamento de Santander, y la definen como un área con uno de los mayores desarrollos de ambientes cársticos en Colombia, la mayoría desconocidos y solo se tiene como referencia el existente en el Municipio de La Paz por poseer la sima más profunda de Colombia y el reporte de 56 cavidades distribuidas en 5 municipios de la misma, de las cuales se han conocido algunas cuevas aunque no de manera integrada y están desarrolladas sobre las rocas calcáreas de la Formación

Rosablanca, del cretácico inferior (Berriasiano-Hauteriviano), unidad que de acuerdo a sus características estructurales actuales, la morfología, el relieve y el clima y los procesos morfodinámicos, constituyen un sistema cárstico activo (Moreno-Murillo J.M. et al. 2007). La geoespeleología de la región kárstica del Peñón, perteneciente a la provincia de Velez tiene dolinas con direcciones preferenciales de N65oW, N50oE y N15Ow, que favorecen la formación de poljes, úvalas y cavernas; en el sector se presentan casos como el de las cavernas Los Carracos y La Tronera, la galería superior de la primera ha concentrado las actividades turísticas permitiendo graves afectaciones por visitantes inconscientes, La Tronera es quizás el sitio que recibe la mayor cantidad de visitas en la región y es parte del patrimonio natural que debe protegerse en esta región (Gelvez J. et al 2018). La cueva de doña Lucrecia es otra que aflora en Santander (Rionegro) por su poca influencia antropogénica se propone como posible sitio de interés científico dado a que guarda información importante para estudios geoespeleológicos ya sean de carácter estructural, geomorfológico o paleoambiental (Archila-Mendoza et al 2018)

Las cuevas, grietas y cavernas de Colombia están siendo miradas por el sector turístico como un recurso potencial de explotación”, pues en Colombia la cordillera Oriental es una de las regiones más importantes en cuanto a la diversidad de cuevas, donde el eje principal de diversidad se concentra en los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander; en estas cuevas se alberga una gran cantidad de fauna, destacándose las aves y los murciélagos que cumplen un rol ecológico en el control biológico de plagas y la dispersión y polinización de plantas de bosques primarios, secundarios y agro-ecosistemas (Hoyos- Rodriguez & Muñoz-Saba, 2007). También es necesario nombrar el avance en el catastro espeleológico, en el que Muñoz-Saba et al (2013) realizan la primera lista de diferentes sistemas exokarsticos en el departamento de Santander registrando 191 geoformas incluyendo: cuevas, cavernas, dolinas y

simas; de las cuales realizaron estudios en 31 cavidades de las mismas. Por ultimo Valdivieso G. & Zafra D. (2018) proponen: La idea de un catastro nacional para unificar el léxico espeleológico, con un inventario en constante actualización de las cavidades, sus cartografías y sus características morfológicas para que a partir de esta se disponga de una clasificación organizada, así ayudar a la generación de un mayor conocimiento y aprovechamiento de los puntos espeleológicos asignándoles categorías que indiquen si requiere protección y cuidado especial o si permite un manejo turístico siempre que prime su conservación.

**2.1.4. Mineralogía de espeleotemas y rocas calcáreas.** Las rocas calcáreas se caracterizarán teniendo en cuenta a los siguientes autores citados en el Atlas de petrografía Sedimentaria de Arribas-Mocoroa M. Et al. (2007-2018):

**Clasificación de Folk (1962):** Folk establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos).

Diferencia tres tipos básicos de calizas: aloquímicas (con >10% de granos), micríticas (con <10% de granos) y biolititas. Dentro de las calizas aloquímicas distingue entre: calizas esparíticas (espacio intergranular ocupado por esparita) y calizas micríticas (espacio intergranular ocupado por micrita). Una de las limitaciones de esta clasificación es que no se puede aplicar a sedimentos.

**Clasificación de Dunham (1962):** Distingue dos tipos generales de carbonatos:

- A. Los que presentan textura deposicional reconocible, entre ellas las que contienen barro micrítico: <10% de granos (mudstone), >10% de granos (wackstone) y grano soportadas (Packstone), y las que no contienen barro micrítico pues poseen componentes originales desarrollados durante una bioconstrucción (Boundstone)

B. Los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura deposicional.

**Espeleotemas:** El término 'espeleotema' (en griego: spelaion, cueva; thema, depósito) son depósitos minerales que crecieron dentro de las cuevas (Moore 1952). En los últimos años, los espeleotemas se han establecido como uno de los más recursos valiosos para entender la superficie de la Tierra condiciones en el pasado, hasta el día de hoy; por "condiciones" se habla no solo del contexto local (suelo, vegetación, inestabilidad del paisaje y clima), sino también los patrones de cambio regionales o globales que caracterizan ambientes y climas anteriores (Fairchild & Baker, 2012).

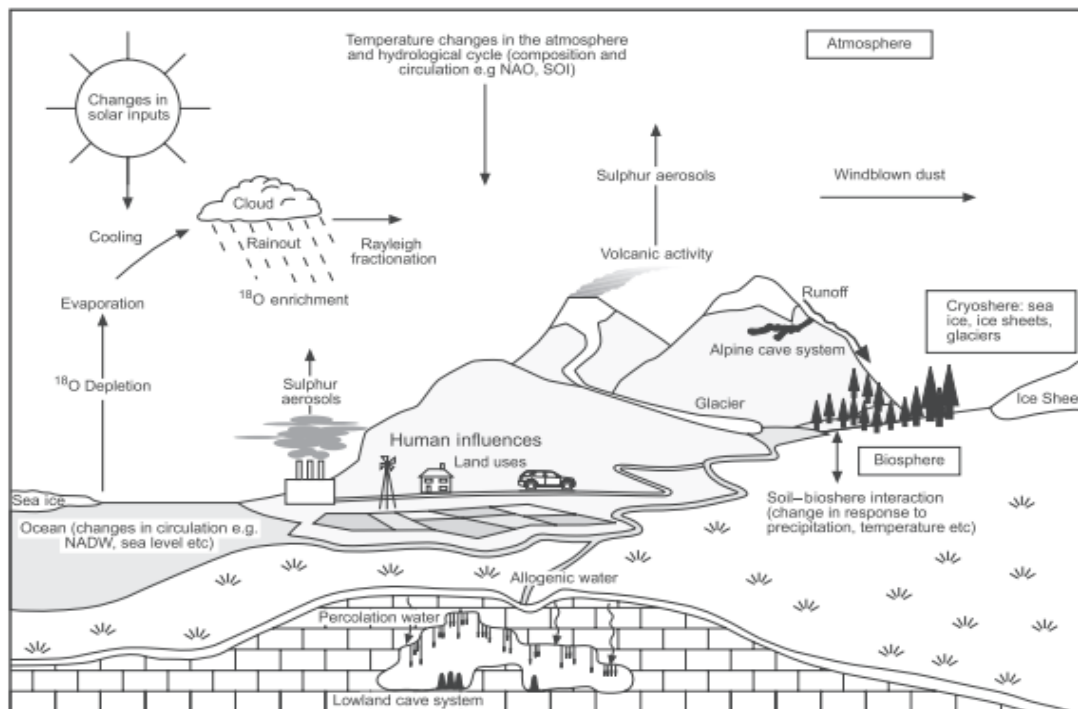


Figura 5: Espeleotemas como registros subterráneos de señales relacionadas al sistema tierra externo. (Fairchild et al. 2012)

Para entender los mecanismos de precipitación de espeleotemas en cavidades hay que echar la vista hacia los procesos que ocurren en el suelo sobre las mismas: las raíces de las plantas

respiran y producen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que se une al generado por los microorganismos heterótrofos que degradan la materia orgánica edáfica, el CO<sub>2</sub> gaseoso se difunde en el agua del suelo, reaccionando con ella y dando lugar a ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), la disociación de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> produce una ligera acidificación del agua que facilita la disolución de la roca caliza. este proceso de meteorización química se propaga en profundidad y genera fracturas y microfisuras en una zona subsuperficial denominada epikarst, dicho mecanismo ocurre según la reacción química en equilibrio:  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$ ; de esta reacción reversible se desprende el aumento en la concentración de ácido carbónico (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O), la acidificación del agua da lugar a la disolución de la roca caliza en sus iones, calcio y bicarbonato; la atmósfera subterránea suele presentar concentraciones de CO<sub>2</sub> de entre 2 y 10 veces más elevadas que la atmósfera exterior, el proceso se puede revertir dando lugar a la precipitación de carbonato cálcico. El predominio de uno u otro mecanismo (disolución frente a precipitación) está controlado principalmente por la presión parcial de CO<sub>2</sub> en el aire y en el agua de la cueva (Gazquez & Calaforra 2016).

Se pueden distinguir muchas formas diferentes de espeleotemas (Hill y Forti, 1997). Aquí consideramos principalmente dos tipos de depósitos principales que crecen de goteo de agua: estalactitas (en griego: stalaktós, goteo) creciendo desde el techo de la cueva y estalagmitas (Griego: stalagmós, cayendo) construyendo desde el piso de la cueva. (Fairchild & Baker 2012).

Los espeleotemas se dividen en 3 subtipos principales: Parietales, zenitales y pavimentarios (Llopis 1970).

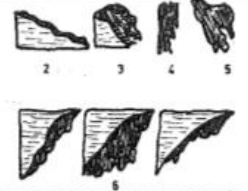
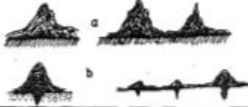
|               |                                                                       |                                                     |                                                          |                                                                                      |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ZENITALES     | ORTOGEOTROPAS                                                         | Cilíndricas                                         | a). Equilibrio estalac-estalagmita                       |   |
|               |                                                                       | Columnas                                            | b). Dominio de estalactita<br>c). Dominio de estalagmita |                                                                                      |
|               |                                                                       | Cónicas                                             | Tabulares y macizas                                      |                                                                                      |
|               |                                                                       | Laminares                                           | Macizas                                                  |                                                                                      |
|               | PLAGIOGEOTROPAS                                                       | Excéntricas:                                        | Anemolitas<br>Helictitas (a)<br>Antoditas (b)            |   |
| PARIETALES    | 1. CORTEZAS                                                           | 1a. Lisa 1b. Botroide 1c. Mamelonar<br>1d. Oolítica |                                                          |   |
|               | 2. COLADAS<br>3. MACIZOS<br>4. COLUMNAS<br>5. CORTINAS<br>6. BANDERAS |                                                     |                                                          |   |
|               |                                                                       |                                                     |                                                          |                                                                                      |
| PAVIMENTARIAS | ESTALAGMITAS<br>COLUMNAS                                              | De base plana a).<br>Radiculadas b).                |                                                          |   |
|               | COLADAS                                                               | Coladas botroides c). Gours y microgours d).        |                                                          |   |
|               | MACIZOS                                                               | Compactos a).<br>Con núcleo clástico b).            |                                                          |  |

Figura 6: Clasificación de los espeleotemas (Llopis 1970).

En Gasquez-Sanchez F. 2012 se menciona que los autores del libro Cave Minerals of the World (1984) y su posterior reedición en 1997, confeccionaron un extenso elenco de los minerales que han sido identificados en cuevas hasta la fecha. De los más de 350 minerales detectados (Onac y Forti, 2011) los carbonatos son sin duda los más abundantes debido a la naturaleza carbonática de la mayoría de entornos kársticos. De los tres minerales polimorfos del carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), la calcita y el aragonito son los más frecuentes en cavidades, mientras que la vaterita no suele aparecer en cuevas, debido a su baja estabilidad en ese ambiente. Además, debido al carácter metaestable del aragonito, la precipitación de calcita se ve favorecida en la mayoría de situaciones (Hill y Forti, 1997). No obstante, la presencia de aragonito en espeleotemas es frecuente y en muchas ocasiones se ha interpretado como

evidencias de periodos áridos o de fuerte evaporación en las cavidades (Finch et al., 2001). Otras mineralizaciones frecuentemente en cuevas son los óxidos e hidróxidos, de los cuales los óxidos de hierro y/o manganeso son los más frecuentes. Goethita ( $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})$ ), Birnesita ( $\text{Na}_4\text{Mn}_{14}\text{O}_{27} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), Romanechita ( $(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})(\text{Mn}^{4+}, \text{Mn}^{3+})_5\text{O}_{10}$ ), Todorokita ( $(\text{Mn}^{2+}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) o Rancieita ( $(\text{Ca}, \text{Mn}^{2+})\text{Mn}_4\text{O}_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) son algunos de los minerales más abundantes en esta categoría. Además, se pueden encontrar otros minerales pertenecientes al grupo de los fosfatos, nitratos, sulfuros, silicatos, cloruros y un largo etcétera (Gasquez-Sanchez F. 2012).

Los espeleotemas son capaces de capturar la respuesta de las cuevas al ambiente externo. Por ejemplo, la temperatura en el interior de las cavidades suele estar relacionada con la temperatura media anual en el exterior, con pequeñas variaciones estacionales sobre todo en cuevas someras y bien ventiladas, por otro lado, la descarga del goteo suele estar relacionada con la cantidad de infiltración, y ésta a su vez con la cantidad de precipitación (Fairchild et al., 2006). Una de las ventajas de los espeleotemas es que pueden crecer de forma continuada durante periodos entre 102 y más de 105 años, y en muchas ocasiones su composición química y mineralógica permanece inalterada, permitiendo que la información paleoclimática que albergan pueda ser descifrada. (Gasquez-Sanchez F. 2012). Para el estudio microscópico de los minerales en los espeleotemas la documentación sistemática de fábricas de calcita en estalagmitas y coladas proporciona solidez a la interpretación paleoclimática basada en proxies geoquímicos, pero se ha descuidado porque es difícil transformar las morfologías de los cristales en valores numéricos, y construir series temporales de fábricas (Frisia S. 2014)

**Análisis arquitectural:** Para realizar los análisis arquitecturales de las Estalagmitas muestreadas se usó la metodología propuesta por Chivelet et al. (2017), que se resume en las siguientes imágenes:

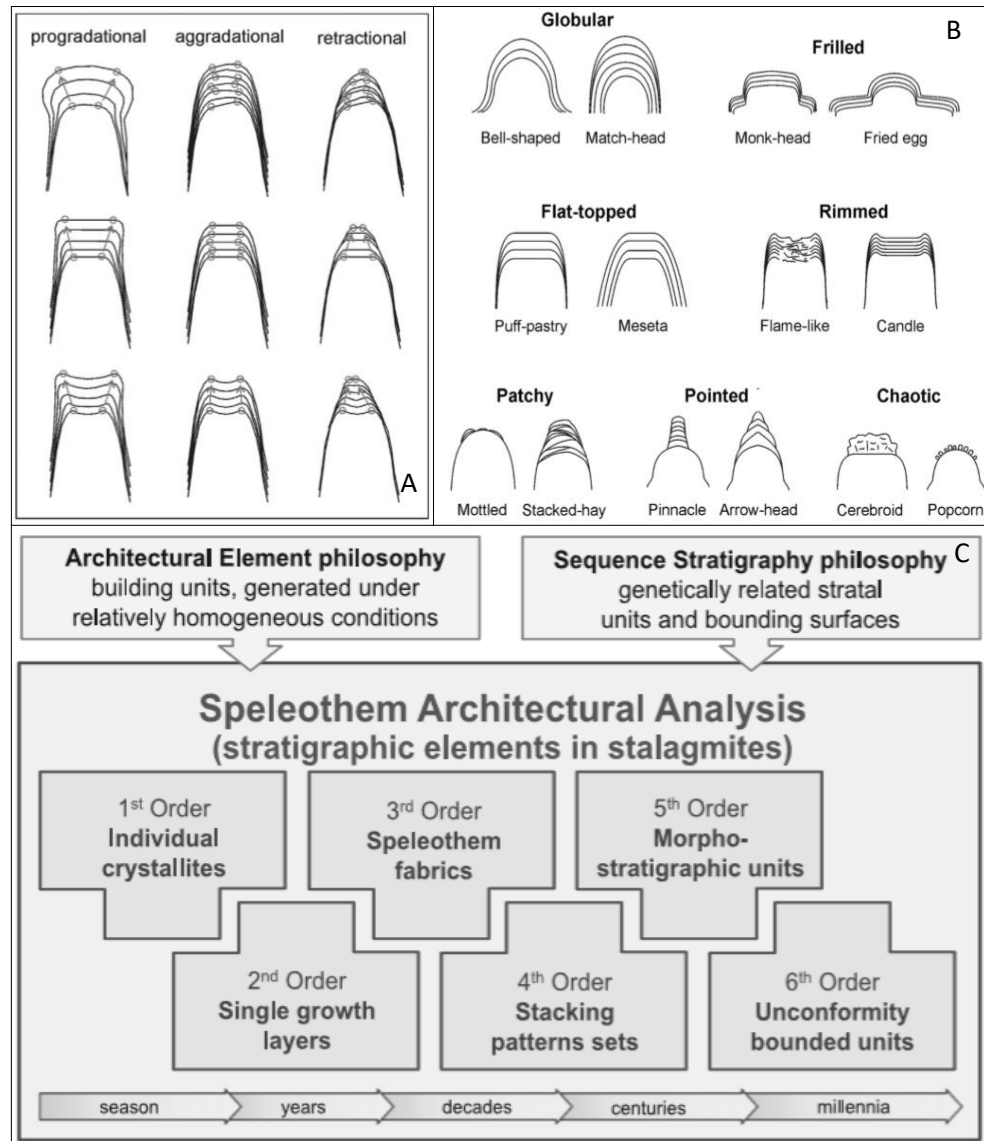


Figura 7: (A) Patrones de las Estalagmitas Muñoz et al. 2016 en Chivelet et al 2017. (B) Formas de las estructuras sedimentarias en láminas de estalagmitas. Chivelet et al 2017 (C). Esquema general del Análisis arquitectural de espeleotemas (Chivelet et al. 2017).

### **2.1.5. Patrimonio Geológico**

**2.1.5.1 Legislación Colombiana.** Considerando que el Estado Colombiano a lo largo de la historia ha buscado garantizar la protección del patrimonio geológico y paleontológico, para lo cual ha adoptado una serie de regulaciones en procura de este objetivo. (Decreto 1353 de 2018). La ley colombiana protege el patrimonio geológico y a su vez las cavernas con: la Ley 45 de 1983 por medio de la cual se aprueba la “Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural” se consideró la necesidad de proteger el patrimonio cultural y el patrimonio natural, debido a su valor universal excepcional y a la “importancia que tiene para todos los pueblos del mundo la conservación de esos bienes únicos e irremplazables de cualquiera que sea el país a que pertenezcan”, en ese sentido facultó a los Estados Partes para adoptar las medidas jurídicas, científicas, técnicas, administrativas y financieras adecuadas, para identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural y natural situado en su territorio .

**Definiciones:** Para efectos del presente decreto se tendrán en cuenta las siguientes definiciones (ARTÍCULO 2.2.5.10.2.):

**Patrimonio Geológico:** Conjunto de recursos naturales y lugares geológicos que poseen valor científico, cultural y/o educativo, y que permiten conocer, estudiar e interpretar: el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, el origen y evolución de la vida.

**Patrimonio Paleontológico:** Parte constituyente del patrimonio geológico integrado por el conjunto de restos directos de organismos o restos indirectos (resultado de su actividad biológica), que se han conservado en el registro geológico y al cuál se le ha asignado un valor

científico, didáctico o cultural. Integrado por los fósiles y los yacimientos donde se encuentran, que permitan conocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la Tierra.

**Geotopo:** Es un segmento o una porción espacial claramente delimitada de la geoesfera, definida en virtud de los valores patrimoniales geológicos o paleontológicos existentes en sus elementos integrantes o en el conjunto de los mismos.

**Geosito:** Tipo especial de geotopo de interés global, donde los bienes de interés geológico y paleontológico individualmente o en conjunto no solo son relevantes desde el punto de vista patrimonial geológico y paleontológico de la Nación, sino como parte del patrimonio natural y patrimonio de la humanidad. Los geositos constituyen por excelencia los geotopos de interés científico mundial que permiten el estudio multidisciplinario de eventos y procesos geológicos propios de la historia del planeta o de la vida; o que constituyen los registros que permiten la correlación mundial de los mismos.

**Parque Geológico:** Territorio poseedor de patrimonio geológico que es gestionado para asegurar su conservación mediante el impulso de proyectos nacionales, territoriales y/o locales de desarrollo socio-económico y cultural, basados en la divulgación científica y la promoción turística, con objetivos económicos definidos y criterios específicos de desarrollo ambiental sostenible. Cuando cuenten con el reconocimiento de la UNESCO se denominarán “Geoparque”.

**De la naturaleza del Patrimonio Geológico y Paleontológico (Artículo 2.2.5.10.3.):** El patrimonio geológico y paleontológico es parte constitutiva y esencial del patrimonio natural de la Nación; y sus elementos integrantes son bienes inalienables, imprescriptibles e inembargables.

**Aprovechamiento económico (Artículo 2.2.5.10.1.14.):** Quienes poseen la tenencia de bienes de interés geológico y paleontológico y quienes se encuentren en el área de influencia de zonas de protección patrimonial geológica y paleontológica podrán desarrollar actividades que

generen ingresos económicos mediante su exhibición o divulgación al público, sea in situ o en infraestructuras y establecimientos museales, sin perjuicio, del cumplimiento estricto de las disposiciones de las autorizaciones de tenencia, y de aquellas específicas y/o adicionales que el Servicio Geológico Colombiano estime necesarias para proteger los bienes que conforman el patrimonio geológico y paleontológico de la Nación.

Estas actividades de aprovechamiento económico podrán realizar inclusión social y económica de las comunidades aledañas a la zona, particularmente en proyectos de carácter cultural y turístico sostenibles, coordinados por las autoridades y entes territoriales.

**2.1.6. Geoconservación.** La geoconservación puede definirse como el conjunto de técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación) del patrimonio geológico y de la geodiversidad, basada en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y en el riesgo de degradación (Ramos & Fernandez 2016). El concepto de geodiversidad nace a finales de la década de 1990 aplicada a la gestión de espacios protegidos y de alguna manera como contraria y complementaria al término de biodiversidad, por ser necesaria la elaboración de un concepto que abarque también los elementos abióticos del medio natural (Serrano Cañadas, 2007). Desarrollar la geoconservación implica la evaluación del patrimonio geológico y la geodiversidad, con el objeto de gestionar y planificar el territorio, fundamentalmente mediante la protección de lugares de interés geológico mediante legislación específica, de manera que para que la geoconservación sea efectiva, es necesario contar con un marco legal adaptado a las necesidades del patrimonio geológico (Carcavilla-Ruiz López, 2009).

En definitiva, la geoconservación es el conjunto de estrategias y acciones destinadas a la conservación de la geodiversidad y de los elementos singulares que la representan en cada región, es decir del patrimonio geológico, lógicamente debe formar parte de estrategias de

conservación de mayor rango: conservación del ambiente, de los recursos naturales, de los hábitats y especies vivas, etc.; y como tal, integrarse y ser contemplada en igualdad de condiciones cuando se aborden planes o programas de conservación (Ramos & Fernandez 2016).

**2.1.7 Geoturismo.** El primero en conceptualizar el termino Geoturismo fue Hose (1995), quien considera a este segmento como “los servicios de interpretación y las instalaciones con el fin de permitir a los turistas adquirir el conocimiento y la comprensión de sitios geológicos y geomorfológicos en lugar de un simple examen de la estética”. El mismo autor, Hose (1997), en una revisión conceptual propia añade la necesidad de garantizar a través del geoturismo la conservación de los sitios geológicos o geomorfológicos, ya que evidentemente estos últimos se transforman en los georecursos que, puestos en valor, servirán para el desarrollo de la actividad turística. Por otro lado, Ruchkys (en Manosso, 2012) define a esta modalidad turística como aquel segmento que tiene al patrimonio geológico como su principal atractivo y busca su protección por medio de la conservación de sus recursos y de la sensibilización del turismo utilizando para esto la interpretación de este patrimonio, tornándolo accesible al público además de promover su difusión y el desarrollo de las ciencias de la tierra.

Así, el geoturismo es el segmento que utiliza la geodiversidad como recurso turístico y dispone de los ambientes geológicos, geomorfológicos y paleontológicos dotado de una cualidad estética o no, tales como cuevas, formaciones rocosas, afloramientos rocosos, características de la superficie, cadena de montañas, entre otros, para el desarrollo de la actividad, siendo esta la fuente de motivación de los turistas (Ramos & Fernandez 2016). En la perspectiva del geoturismo, los geoturistas y el público local se relacionan de forma tal que los primeros desempeñan su papel en la conservación del patrimonio geológico visitando el patrimonio mientras que los gastos hechos por los geoturistas contribuyen a los ingresos brutos del público

local y parcialmente a la nación a través de varias estructuras impositivas, estos beneficios económicos, así como los incentivos ambientales del geoturismo, alentarían al público local a abrazar la industria del geoturismo y la conservación del patrimonio geológico; por lo tanto, cuando estos mecanismos funcionen a la perfección, el geoturismo ofrecerá una solución clave realista para el aparente conflicto entre la protección ambiental y cultural y el crecimiento económico (Ehsan S. et al. 2012).

**2.1.8 Espeleoturismo.** Dentro del geoturismo, existe un segmento específico denominado espeleoturismo que es: “un segmento turístico que busca atender de forma equilibrada la conservación de las cavernas, la concientización y satisfacción de las personas, y el desarrollo económico local. Para esto, debe hacer uso de las diversas dimensiones del patrimonio espeleológico, aprovechando sus particularidades por medio de propuestas y metodologías novedosas” (Lobo et al 2010). Esta modalidad implicaría entonces todas aquellas actividades desarrolladas en sistemas cavernarios pero que no tienen como fin la investigación científica formal, sino la búsqueda de un conocimiento personal motivada por la curiosidad que despiertan estos que implican para el visitante un mundo desconocido, misterioso, y si bien el hombre se protegió en este tipo de ambiente desde sus comienzos, el avance de la civilización nos distanció de estos lugares, por eso tal vez esta modalidad sea un intento del hombre por “revivir” sus raíces, aunque sea por un breve momento; el desarrollo de este tipo de turismo implica necesariamente la elaboración e implementación de políticas y acciones de conservación, en las cuales el turismo debe contribuir para hacer un uso sustentable de estos ambientes y evitar su degradación. Esto es de suma importancia en cualquier tipo de ambiente, pero en sistemas cavernarios es crucial por su alta fragilidad, considerando que cambios tal vez poco perceptibles como el aumento de un grado en la temperatura del interior de la caverna por la presencia

humana o de CO<sub>2</sub> pueden generar impactos sumamente graves en los espeleotemas o la fauna cavernaria (Ramos & Fernandez 2016). Las cuevas son recursos naturales que valoran los turistas debido a sus características naturales inherentes, esta forma de atracciones turísticas se está desarrollando en todo el mundo principalmente como una herramienta para el desarrollo de las comunidades locales y regionales para la generación de ingresos; los turistas están motivados a visitar cuevas para aventuras, educación / investigación, socialización, recreación y propósitos científicos, las cuevas son muy importantes para el turismo si se aprovechan adecuadamente, ya que mejorarán el bienestar social y económico de la comunidad de acogida y también en la conservación de la biodiversidad y el medio ambiente (Okonkwo E.E. et al. 2017).

Las cuevas son los primeros lugares geológicos que han sido documentados como objeto de turismo, desde hace mucho tiempo las cuevas tipo show son las únicas con una alta relevancia económica; a finales del siglo XIX, ya existían cientos de cuevas tipo “show” que se encontraban principalmente en Europa, la importancia del turismo de cuevas está creciendo rápidamente, principalmente en los países en vías de desarrollo, donde cada año se desarrollan cientos de nuevas cuevas tipo “show”, hay más de 5000 cuevas de show en el mundo, en las que 500 son las más importantes, estas reciben al año un promedio de 250’000.000 de visitantes, el dinero que se gasta anualmente para visitar las cuevas de show son aproximadamente 2 mil millones de dólares EE. UU, las personas directamente empleadas en cuevas show son unas 200,000 y las personas cuyo salario proviene indirectamente de las cuevas show son aproximadamente 100,000,000; muchos de los fenómenos más raros y delicados dentro de las cuevas pueden sobrevivir solo si la cueva se transforma en una cueva de exposición, las cuevas tipo Show normalmente protegen el entorno a su alrededor y son potencialmente la herramienta más efectiva para la educación ambiental pues los turistas generalmente están obligados a

escuchar a un guía por un promedio de una hora, finalmente las cave “show” son el mejor lugar para realizar cualquier tipo de investigación pues proporcionan al investigador muchas instalaciones (Paolo Forti 2011).

Santangelo N. et al (2014): Ilustran dos geoitinerarios básicos en un geoparque italiano para explicar el mayor interés potencial de los geosítios, y proporcionan un ejemplo válido para una planificación de georutas, estas se pueden utilizar con fines didácticos en diferentes niveles educativos (estudiantes de secundaria, maestros de escuela, geo turistas y guías de geoparque), así como para cursos universitarios; finalmente proponen un recuadro educativo al inicio y un recuadro de reflexión al final de cada itinerario para facilitar la comprensión de los conceptos principales

**2.1.9. Geoeducación.** National Geographic fue el primero en adoptar el término geoeducación para describir la educación sobre el mundo, una geoeducación completa proporciona a los jóvenes una comprensión fundamental de cómo funcionan el mundo humano y natural a escala local, regional y global; según ellos: la geoeducación prepara a las personas para tomar decisiones en sus vidas personales sobre cómo vivir e interactuar con otras personas en nuestro complejo y moderno mundo, en sus vidas profesionales sobre los recursos y sistemas, y los prepara para trabajar eficazmente a través de los límites geográficos y culturales; también prepara a los jóvenes para enfrentar los desafíos que enfrentarán en sus vidas cívicas, mientras nuestra sociedad lucha contra la globalización, los conflictos militares, el desarrollo comunitario, las amenazas ambientales, el agotamiento de los recursos naturales y otros problemas.

La National Geographic describe los objetivos de una geoeducación completa, una persona geo-alfabetizada: Comprende cómo funcionan e interactúan los sistemas sociales, físicos y vivos de nuestro mundo; conoce de las diversas culturas, sistemas económicos, tecnológicos y

políticos de nuestro mundo, ecosistemas y sistemas físicos; aprecia otras perspectivas y los recursos culturales y naturales de nuestro mundo; tiene la capacidad de comunicarse y colaborar efectivamente a través de fronteras culturales y geográficas; tiene la habilidad de analizar situaciones usando las herramientas y perspectivas de diferentes disciplinas y tiene la capacidad de razonar sobre las consecuencias de las acciones en nuestro mundo interconectado.

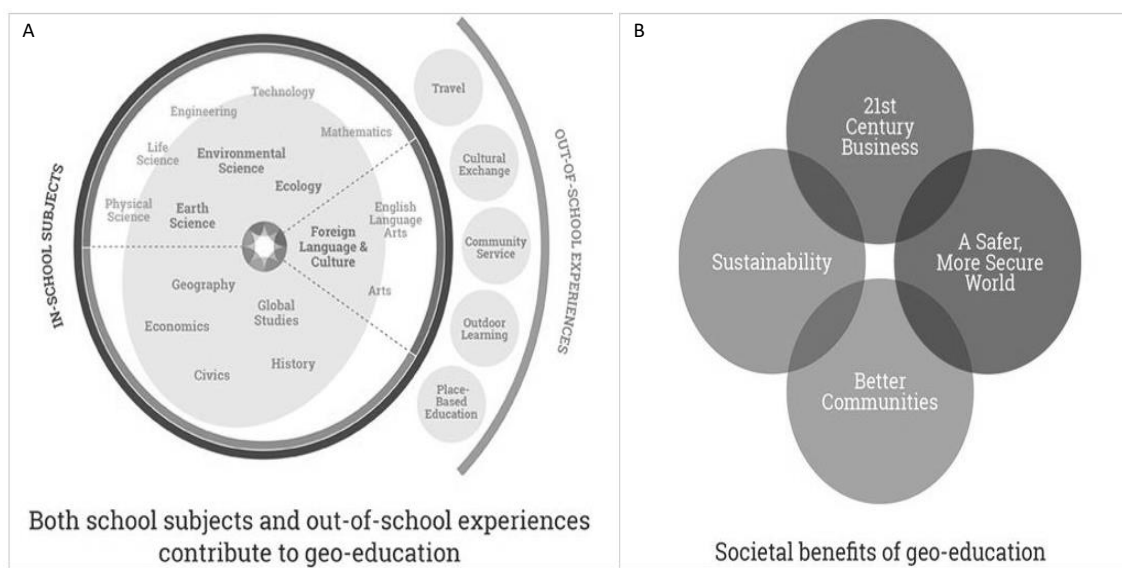


Figura 8: (A) Los componentes de la geoeducación según la National Geographic (B) Beneficios sociales de la geoeducación según National Geographic.

Uno de los objetivos básicos de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra es animar al descubrimiento y curiosidad sobre los aspectos cercanos para conocer el funcionamiento de nuestro planeta, y, con él, el de nuestro propio origen y destino; desde esta perspectiva resulta fundamental vincular los contenidos de las materias de nuestra disciplina con el medio natural y con el entorno cercano del alumnado; las salidas de campo, en las que se promueve de forma específica el contacto y disfrute de la naturaleza por parte del alumnado, constituyen un recurso básico para lograr ese fin (Fuertes-Gutiérrez I. et al. 2016). La geoeducación es el conjunto de

procesos, estructuras e interrelaciones meta nacionales que asume la dirección del sistema en su conjunto, por lo que sobre determina la totalidad del sistema, es el constitutivo que se convierte o está llamado a convertirse en el eje rector del sistema mundial de educación (Martinez – Rosas J.L. 2014)

Las ideas-fuerza que permean en toda la geoeducación han sido impulsadas principalmente desde la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura (UNESCO) desde su fundación en 1945. La presencia de expertos en procesos geoeducativos es otro factor que se debe considerar como un factor restrictivo para establecer acciones didácticas empleando el medio geológico, los profesionales en ciencias de la tierra no son instruidos para ser educadores, y los educadores no son instruidos en ciencias de la tierra, por ende, desarrollar esta actividad responde a una convicción, más que al deseo de aplicación profesional (Brilha, 2004).

Una cavidad natural permite interrelacionar diversos conceptos del aula y representarlos en el campo empleando la cueva como modelo; además, las cavidades pueden ser empleadas desde diversas disciplinas básicas y científicas, dado el múltiple campo de acción que estas abarcan, por ejemplo, las ciencias químicas, biológicas, físicas y sociales (Sanchez & Ortega 2015).

Como principales recursos para el público en general que visita un sitio dedicado a la geoeducación, existen instrumentos como los mapas de rasgos geológicos principales, descripción de paisajes, guías geológicas de materiales y procesos, paneles interpretativos, trípticos, grupos guiados por personal capacitado y páginas web, considerando estos instrumentos como métodos de enseñanza no formal; en el caso de las actividades de educación formal (escolar, secundaria y superior) es necesaria la aplicación de actividades curriculares, salidas de campo, foros y conferencias (Brilha, 2009). La geoeducación se encamina a generar acciones que agilicen el conocimiento de las dinámicas del planeta tierra, basado en la

observación e interpretación de los fenómenos que en el acontecen, el fin de la geoeducación se centra en promover sensibilidad del público para fomentar la conservación de los componentes únicos en la naturaleza, y que las sociedades reconozcan la génesis, los riesgos y las acciones que se derivan a raíz de algún evento geológico; con esto se pretende que la sociedad tenga un conocimiento adecuado y crítico sobre las acciones y actos que se ejercen hacia el medio geológico, el conocimiento permite una mejor valoración de lo que se tiene, y se conserva aquello que se valora (Sanchez & Ortega 2015).

## **2.2 Metodología.**

**2.2.1 Revisión bibliográfica.** Esta etapa se basó en la recopilación de: información de estudios geológicos llevados a cabo en el área de estudio o en zonas similares, información básica sobre geoespeleología, geoespeleología en Santander, geomorfología general en Colombia y geomorfología kárstica, mineralogía en muestra de mano, microscopía de espeleotemas y rocas carbonatadas, geoconservación y geoturismo, legislación Colombiana sobre el patrimonio geológico y paleontológico; y geoeducación; utilizando diversas bases de datos existentes y relevantes de diferentes fuentes bibliográficas como artículos, trabajos de grado, libros, mapas, etc.; siendo la base de datos de la Universidad Industrial de Santander la principal. La información recopilada fue analizada para posteriormente tener en cuenta los principales rasgos geológicos y el estado del arte correspondiente con el presente proyecto.

**2.2.2 Fase de trabajo de campo.** Se delimitó el área exterior a estudiar, y se generó un plan de rutas a seguir teniendo en cuenta la factibilidad de seguir estas con respecto al mayor aprovechamiento de la etapa de campo. Por medio de panorámicas y visuales se realizó un mapa geomorfológico a escala 1:20.000 del exokarst presente en la zona de estudio, teniendo en

cuenta la metodología de Carvajal et al. 2004. Después se realizó la inmersión a las cavidades, para la del Nitro se necesitaron guías y para la de las Alsacias se usó el mapa de Pimiento 2007, el procedimiento fue en el caso del Nitro realizar poligonales para topografiar las dimensiones: largo, ancho, altura, rumbo y buzamiento para tener el contorno de la cueva generando un mapa base para realizar una cartografía geoespeleológica; en Las Alsacias se modificó el Mapa de Pimiento 2007 cartografiando la geoespeleología, para realizar esto se realizaron catálogos espeleotemáticos, se caracterizaron algunas fallas presentes en la cavidad y también se fotografió la fauna y flora en ellas para futuros estudios Bioespeleológicos; Para realizar la recolección de muestras se tomaron puntos estratégicos tomando espeleotemas caídos para caracterizarlos y sacando muestras de roca de las entradas de las dos cavidades para luego compararlas entre sí.

**2.2.3 Fase de laboratorio.** Se caracterizaron macroscópicamente las muestras recolectadas de cada cavidad incluyendo el análisis arquitectural y composicional de 3 estalagmitas. Posteriormente se llevó a cabo la caracterización de espeleotemas y rocas asociadas a escala microscópica con: Análisis petrográfico de las muestras de interés a partir de microscopia electrónica de barrido.

**2.2.4 Fase de integración de la información.** Se estableció el estado de geoconservación de las cavidades kársticas midiendo el impacto antrópico con los criterios: Rompimiento de espeleotemas, basuras y grafitis. También se realizó la valoración de las cuevas teniendo en cuenta el método de valoración del patrimonio geológico y paleontológico colombiano inmueble por el SGC & IGME 2016 definiendo su potencial para propósitos de geoeducación y geoturismo; por último se realizó un análisis DAFO, Desde el punto de vista metodológico se aplicó el análisis DAFO, acrónimo formado por las iniciales de las palabras Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), o SWOT, en inglés (Strengths, Weaknesses,

Oportunities and Threats). Este tipo de análisis fue desarrollado en la década de 1960 como instrumento al servicio de la gestión empresarial; pero a partir de su utilización en la planificación estratégica territorial se ha convertido en una forma de estructuración de la información. La utilización de este instrumento no se basa en su complejidad metodológica o en una capacidad mecánica para identificar estrategias a seguir, sino que nos permite descubrir de una manera simple y estructurada la situación de, en este caso, un territorio. Ramos & Fernández (2016)

**2.2.5 Fase de difusión.** Durante esta fase se llevaron a cabo actividades de geoeducación, las cuales consistieron de jornadas de capacitación en temas de espeleología, geología e hidrogeología con guías turísticos de la cueva del Nitro pertenecientes a la Defensa Civil Colombiana, charlas geológicas a visitantes (turistas de la cueva del Nitro) incluyendo niños y adultos, salidas técnicas y académicas a las cavernas con estudiantes e investigadores de Geología de la Universidad Industrial de Santander. También se realizó la socialización de los resultados del proyecto de investigación en el que se incluyó: mapas, análisis de laboratorio y valoración del patrimonio local.

Por último, se realizó este informe de trabajo de grado que pretende servir de soporte para la realización de futuros artículos científicos relacionados con las diversas temáticas que se trataron en el mismo.

## 2.3 Resultados:

### 2.3.1 Geomorfología.

#### 2.3.1.1 Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

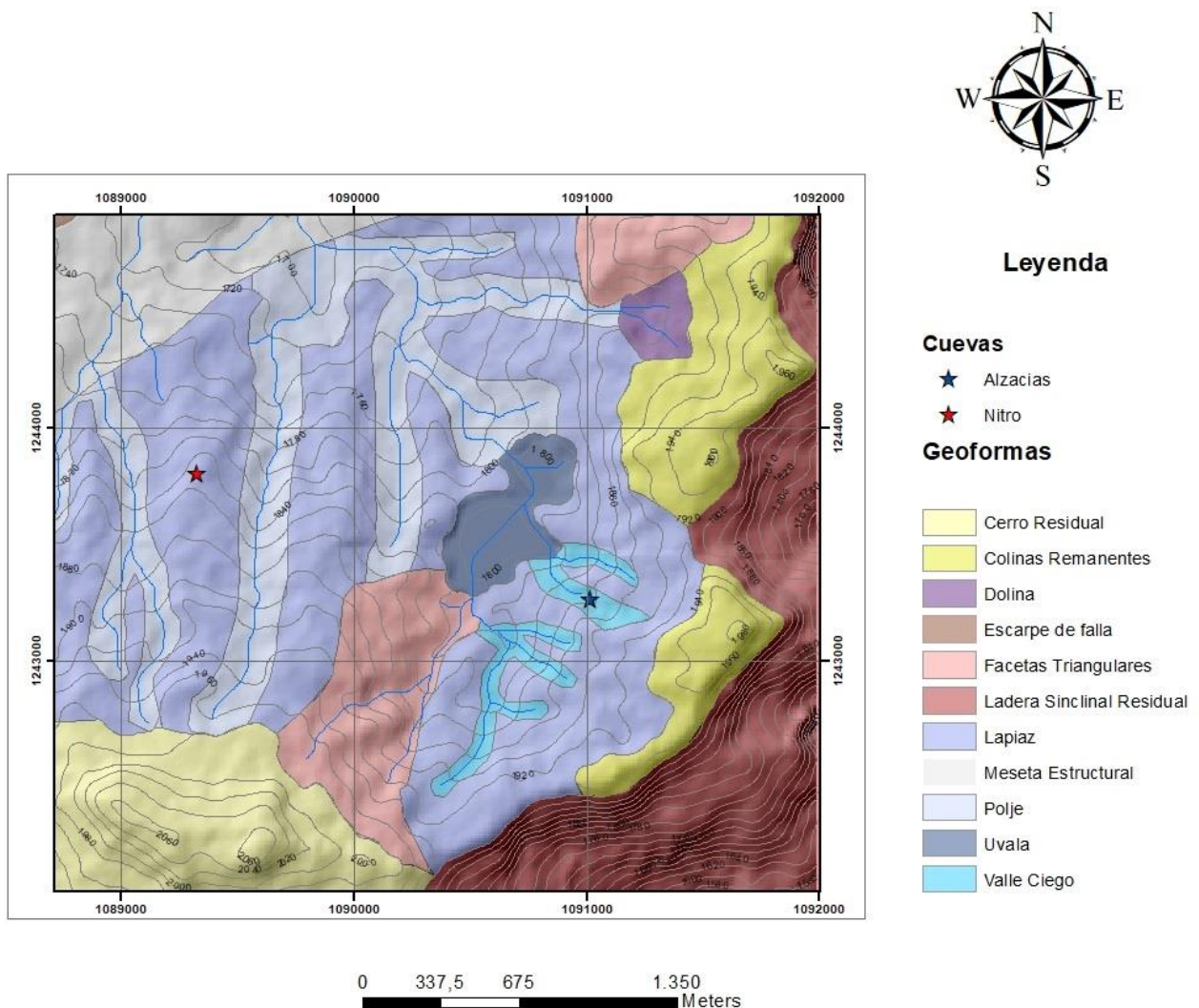


Figura 9: Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

**2.3.1.2 Geoformas Encontradas.** El ambiente geomorfológico dominante en la zona es el kárstico, pero también se encuentran los ambientes: estructural y denudativo; las geoformas principales son: poljes, úvalas, campos de lapiaces, dolinas, laderas de falla, facetas triangulares,

cerros residuales, colinas remanentes y una meseta estructural. Con base a estas geoformas se ha realizado un mapa geomorfológico que a su vez servirá de guía para hacer visuales con los turistas y enseñarles cómo se forman las geoformas kársticas (geoeducación).

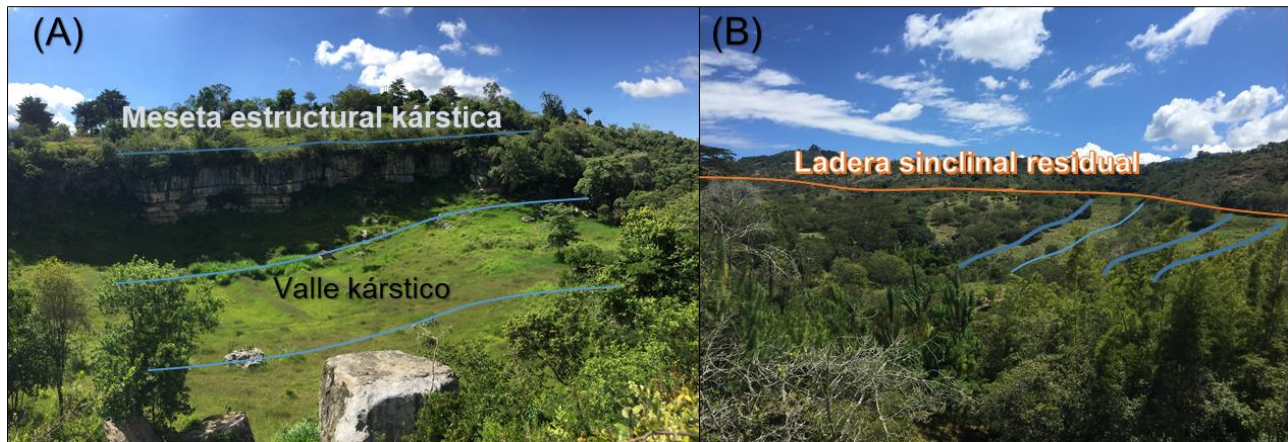


Figura 10: (A) Meseta estructural, campos de lapiaces y valle kárstico. (B) Ladera sinclinal residual y poljes.



Figura 11: (A) Campo de dolinas. (B) Entrada de la caverna de El Nitro. (C) Entrada de la caverna de Las Alsacias.

Aprovechando que la Geomorfología de los Lapiaces presentes en la zona de estudio fue tan variada, se procedió a caracterizar los tipos de Karren según Ginés 1990, encontrando geoformas de flujo como lapiaz formado por agua que impacta y lapiaz formado por agua que se infiltra.

**De los lapiaces formados por agua que impacta se encuentra:** el rillenkarrén (Estrias y acalanaduras), de flujo canalizado wandkarrén (Canales de pared), Maanderkarrén (Canales meandriformes); de flujo sin canalizar está el Trittkarrén (Escalones) y Los Cockling patterns (Concavidades).

**De los lapiaces formados por agua estancada están:** las cubetas o kamenice, y por agua adherida se encontraron superficies oquerosas (Cavernous weathering).

**De lapiaz formado por agua que se infiltra se encontraron:** Rundkarrén (canales redondeados).

Todo esto nos puede indicar periodos climáticos muy variados en la región con intermitencias entre periodos húmedos y periodos secos; además nos recuerda que los lapiaces son muy importantes para conocer eventos climáticos de gran impacto en la zona y más cuando se encuentra una gran diversidad de lapiaces que difieren en sus características a diferentes alturas sobre el nivel del mar y que deberían ser estudiados a más profundidad en posteriores investigaciones.



Figura 12: Lapiaz formado por agua que impacta: (A) Rillenkarren. (B) Splitzkarren.



Figura 13: Lapiaz formado por agua que circula: (A) Wandkarren. (B) Trittkarren.



Figura 14: Lapiaz formado por agua quieta: (A) Kamenice. (B) Cavernous weathering. (C) Rainpits.



Figura 15: Lapiaz formado por agua que se infiltra (Wandkarren)

**2.3.1.3 Análisis estructural del mapa geomorfológico.** Se puede afirmar que los poljes están alineados en direcciones preferenciales de 4°NE y 10°NE, las facetas triangulares se encuentran alineadas con la úvala y las colinas remanentes por un rumbo de 37°NE, los valles ciegos se encuentran alineados su mayoría por el rumbo 5°NE y las cuevas se encuentran separadas en superficie por aproximadamente 1.6km de distancia. Con ayuda del programa Estereo 32 se realizaron diagramas de rosetas y se realizó un análisis estructural de los poljes y los valles ciegos en los que se observa que sus rumbos coinciden pues tienen tendencias estructurales similares entre sí.

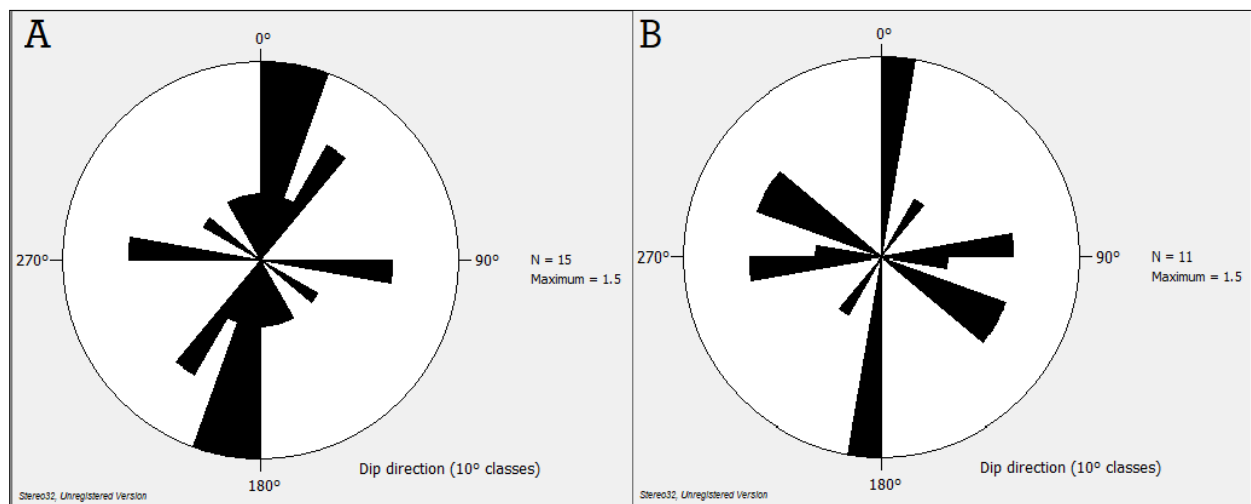


Figura 16: Análisis estructural del mapa geomorfológico (A) Diagrama de rosas con los rumbos de los poljes, representando su alineación en el área de estudios. (B) Diagrama de rosas con los rumbos de los valles ciegos, representando su alineación estructural.

### 2.3.2 Mapas de las cavernas.

#### 2.3.2.1 Mapa geoturístico de El Nitro.

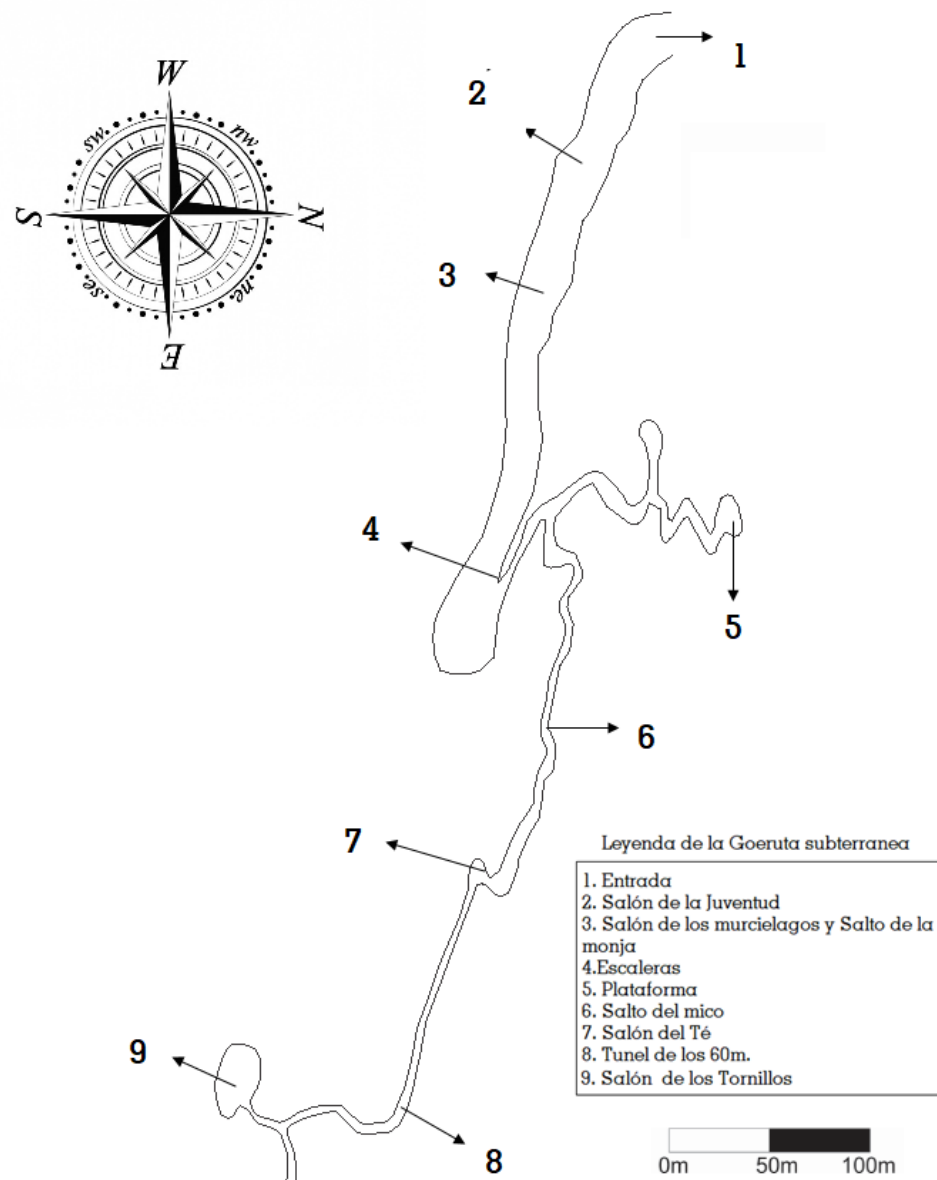
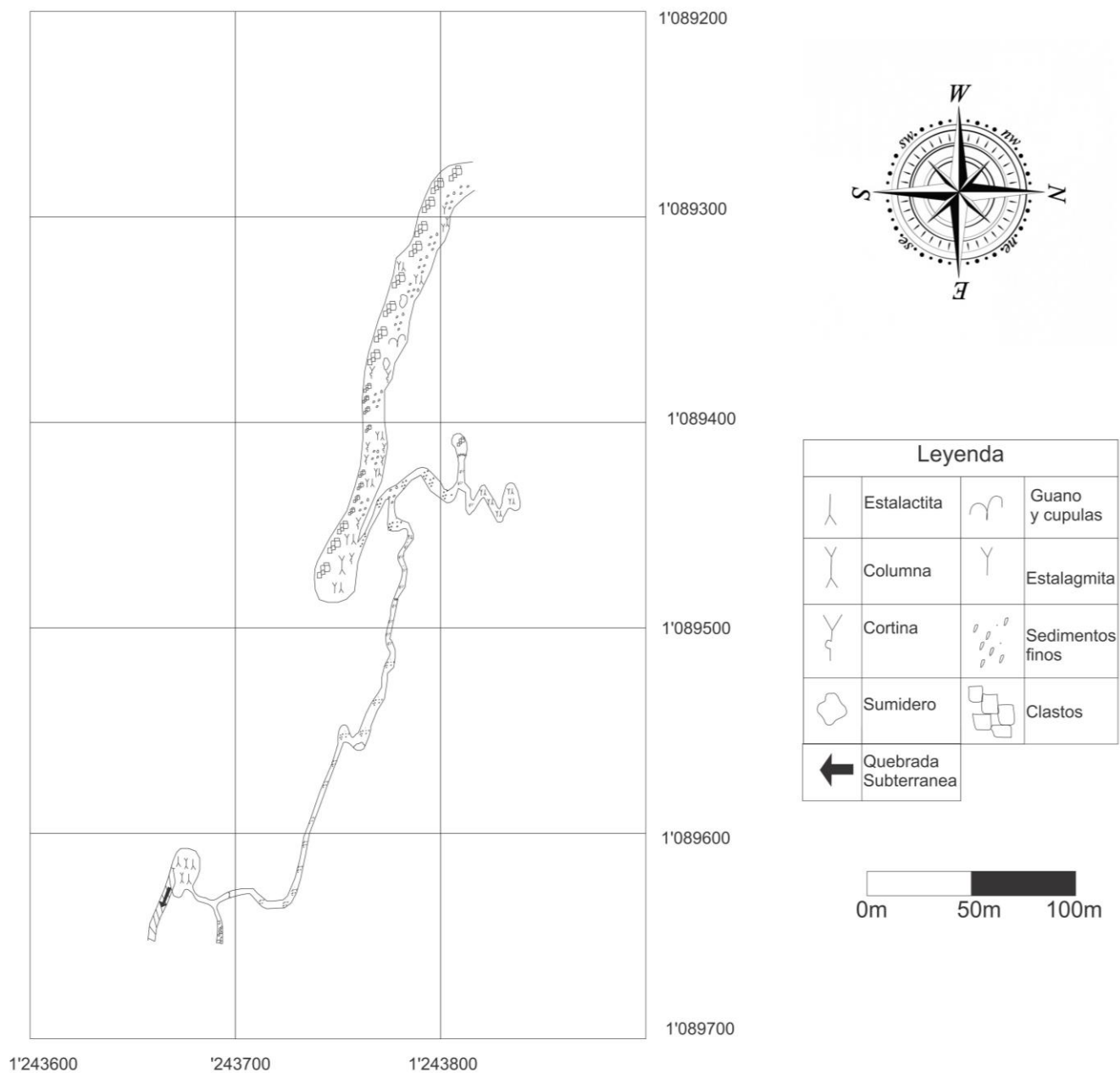


Figura 17: Mapa geoturístico de la caverna de El Nitro

### 2.3.2.2 Mapa geoespeleológico de El Nitro.

#### Mapa geoespelológico caverna de El Nitro



Zafra-Otero D. 2019

Figura 18: Mapa geoespeleológico de la caverna de El Nitro.

### 2.3.2.3. Georuta subterránea de la caverna de Las Alsacias.

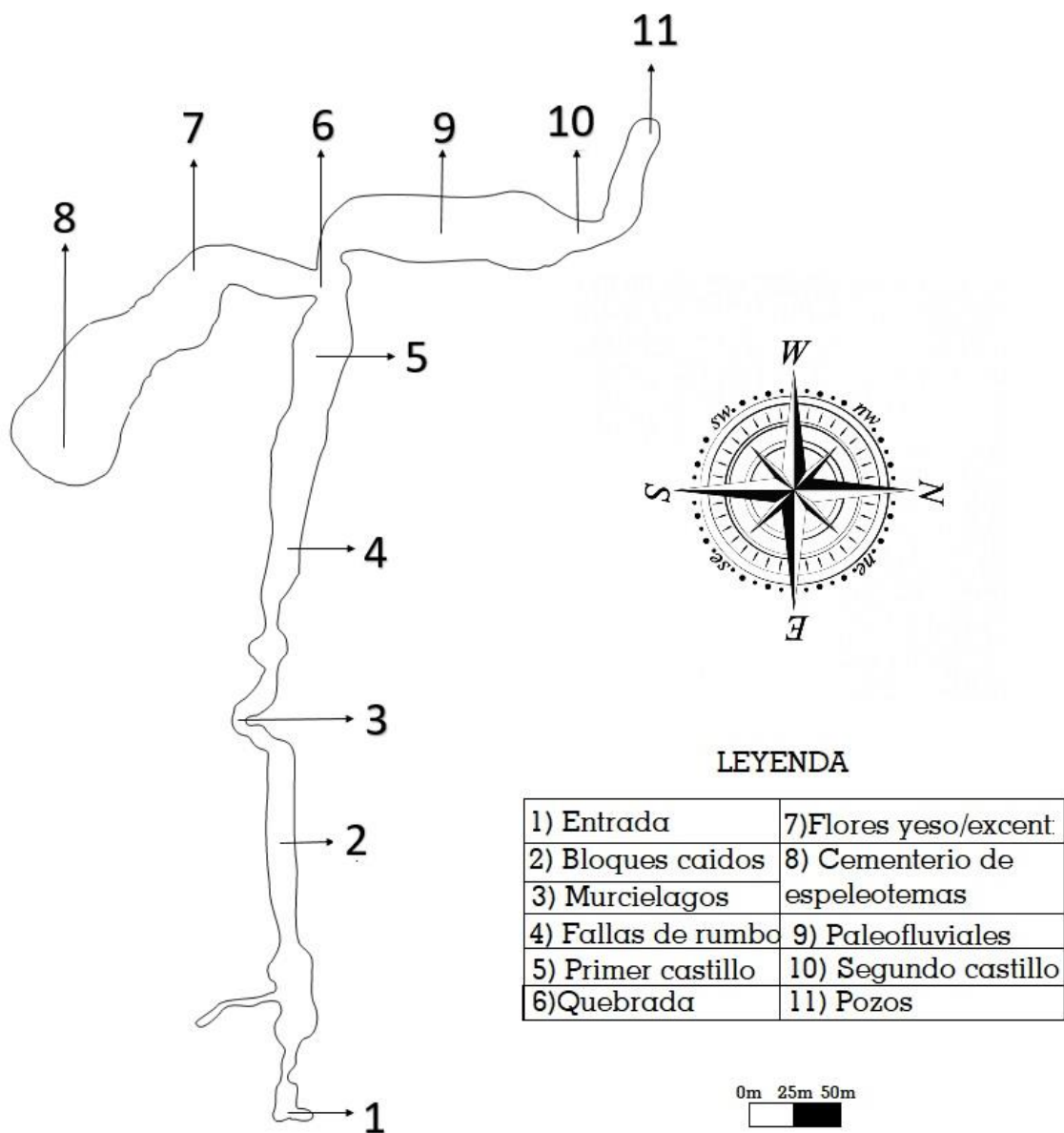
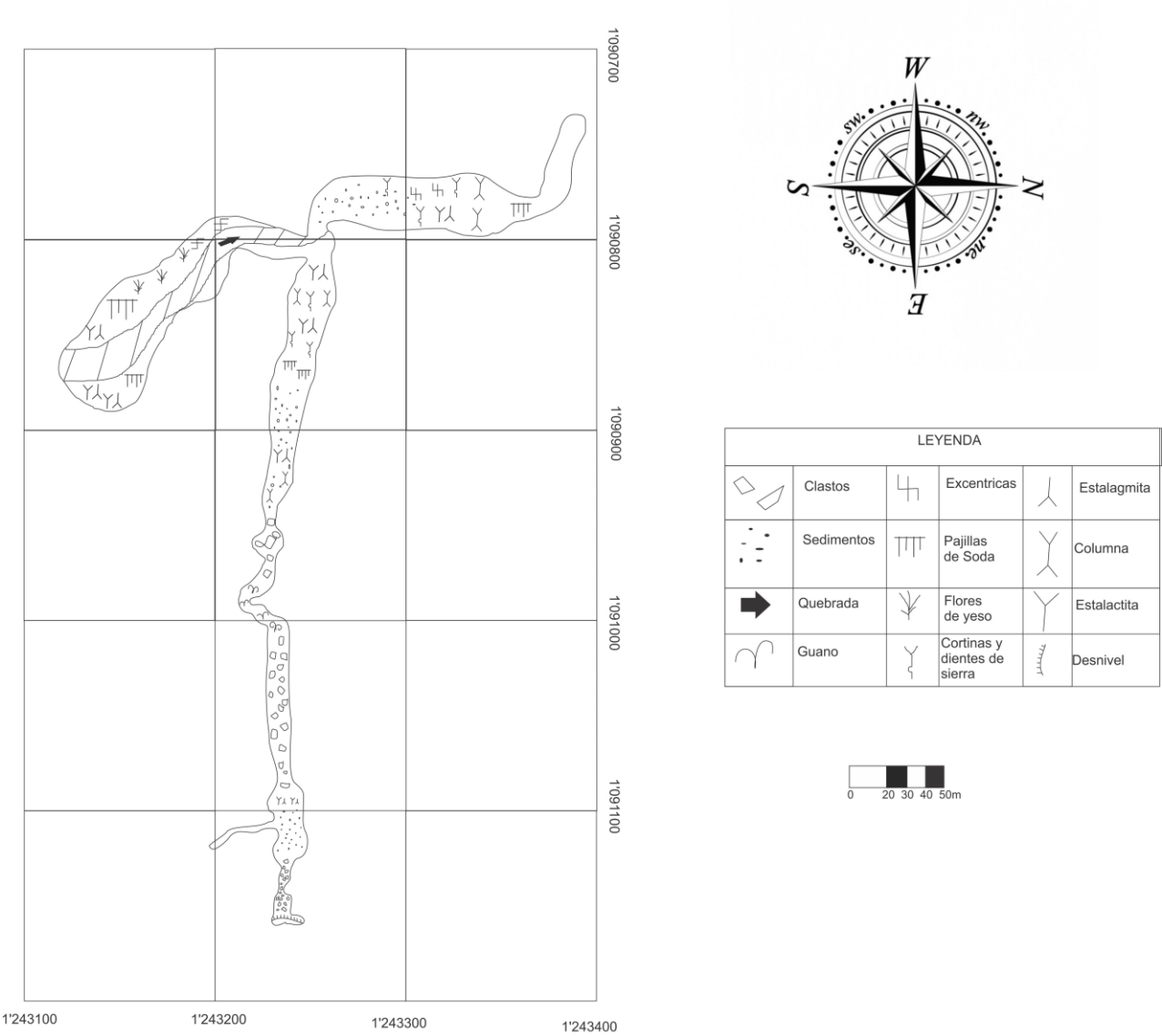


Figura 19: Georuta subterránea de la caverna de Las Alsacias. Modificada de Pimiento R. 2007

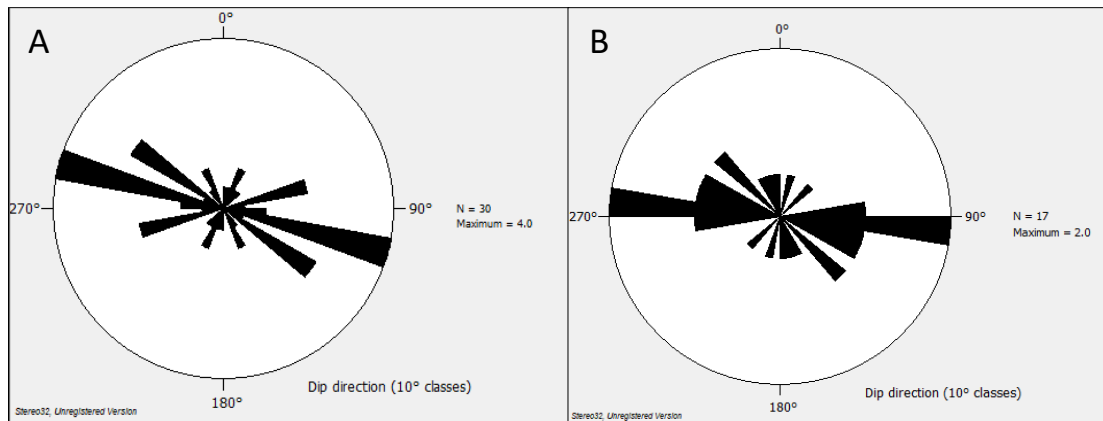
2.3.2.4 Mapa geoespeleológico de la caverna de Las Alsacias.



Modificado de Pimiento R. 2007 en Zafra-Otero D. 2019

Figura 20: Mapa geoespeleológico de la caverna de Las Alsacias.

**2.3.2.5 Análisis estructural de los mapas:** Se realizó un análisis estructural de los mapas de las cavernas, teniendo en cuenta los datos de rumbos de sus galerías salones y pasillos, por medio de diagramas de rosetas se representaron los datos estructurales de cada caverna para realizar una comparación de las mismas.



*Figura 21: Análisis estructural de los mapas. (A) Diagrama de rosetas de la caverna de El Nitro. (B) Diagrama de rosetas caverna de Las Alsacias.*

Las dos rosetas realizadas en el programa Stereo 32 tienen formas similares solo que una es más horizontal que la otra. La tendencia principal de la caverna de las Alsacias es el rumbo 275° NE y de El Nitro es 290°NE, a simple vista se puede observar que las dos cavernas tienen un régimen estructural bastante similar, que difiere en solo 15°. Por lo que podría pensarse que tienen orígenes similares en tiempo geológico o hasta alguna conexión interna pues nunca se ha encontrado el final de estas cavernas.



*Figura 22: Hipótesis unión de las cavernas El Nitro y Las Alsacias.*

**2.3.3 Caracterización Espeleotemática.** Se hizo a partir de catálogos espeleotemáticos que fueron esenciales para la realización de los mapas geoespeleológicos, la caracterización fue dividida según la clasificación de Llopis 1970, en formas zenitales, parietales y pavimentarias, también se añadieron los espeleotemas mixtos y las geoformas fluviales; se realizó un catálogo para cada cavidad.

**2.3.3.1 En la caverna de El Nitro.** Se encuentran los siguientes espeleotemas, mineralizaciones y geoformas subterráneas.

**Parietales:** Moonmilk, precipitación de malaquita, karren endokárstico, cristales de calcita y aragonito, láminas de yeso, repisas, coladas

**Zenitales:** estalactitas, estalactitas tipo pata de elefante, precipitación de azufre, cúpulas creadas por el CO<sub>2</sub> emanado gracias a la respiración de los murciélagos,

**Pavimentarios:** Estalagmitas tipo huevo frito, estalagmitas de base plana, estalagmitas botroidales, estalagmitas tipo popcorn espeleotemas en fosilización y balsas de calcita.

**Mixtos:** Columnas, micro-columnas y bañeras.

**Geoformas fluviales:** Sifones, pozos y quebradas subterráneas.

El desarrollo de esta caverna es en su mayoría horizontal con algunos pasadizos verticales, la caverna presenta actividad hidrológica de forma intermitente con pequeñas cascadas de aguas lluvias, espeleotemas de tipo “bañera”, pozos y sifones; hay algunos sumideros en el camino con los que hay que tener cuidado, también se observa la predominancia de la erosión sobre la disolución, finalmente esta caverna presenta bastantes rasgos de periodos de senilidad y madurez.

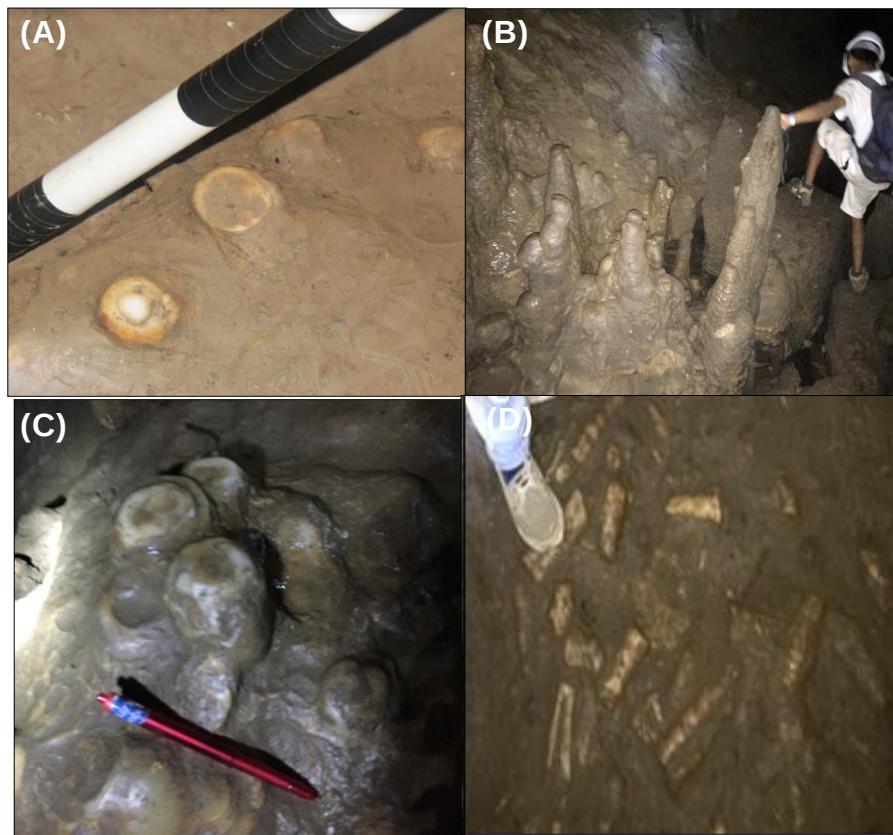


Figura 23: Endokarst parietal de El Nitro: (A) Estalagmitas tipo huevo frito. (B) Estalagmitas de tope plano. (C) Estalagmitas botroidales. (D) Estalactitas en fosilización.

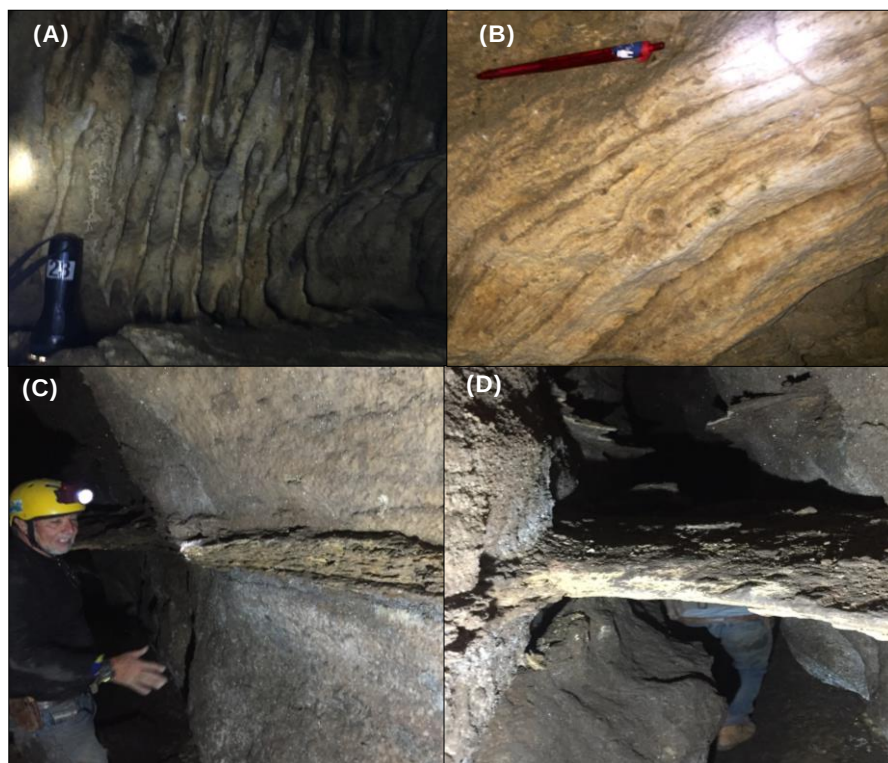


Figura 24: Endokarst parietal de El Nitro: (A) Endokarren. (B) Coladas. (C) Repisa y coladas tipo sparr. (D) Unión de dos repisas formando una mesa.

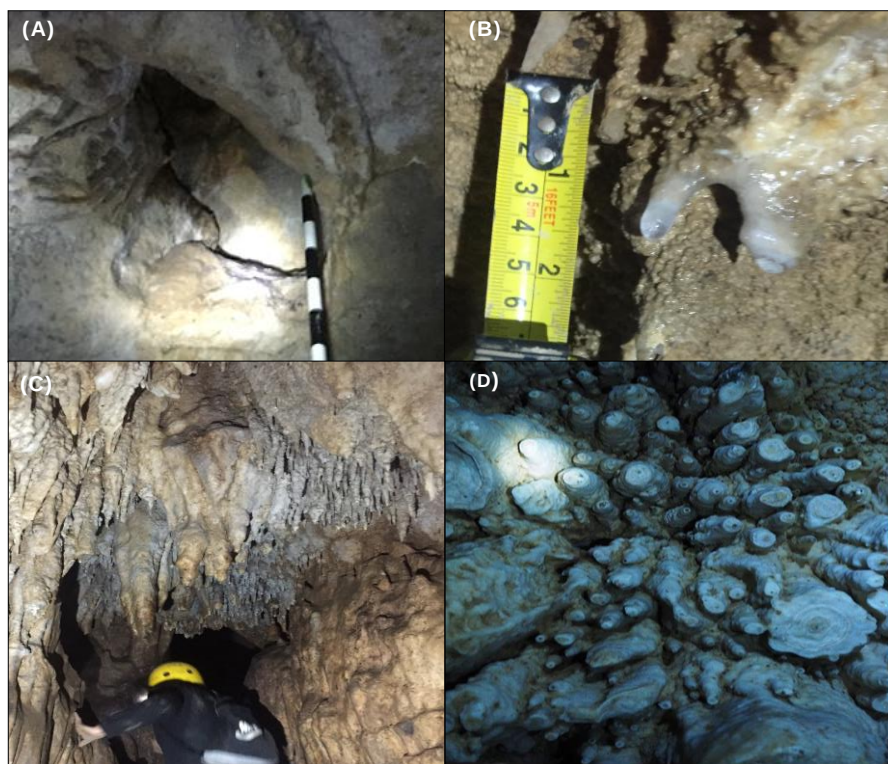


Figura 25: Endokarst zenital de El Nitro: (A) Cupulas generadas por el CO<sub>2</sub> emitido por los murcielagos. (B) Estalactitas en formación. (C-D) Estalactitas tipo pata de elefante.



Figura 26: Endokars mixto y fluvial de El Nitro: (A) Sifón. (B) Balsas de calcita. (C) Bañera o bathtub. (D) Columnas

**2.3.3.2 En la caverna de Las Alsacias.** Se encuentra la mayor diversidad de espeleotemas.

**Zenitales:** Estalactitas tipo pajillas de soda, estalactitas coraloides y banderas.

**Parietales:** Excéntricas (Helictitas, antoditas y anemolitas), dientes de sierra, flores de yeso, cortezas globulares, moonmilk, precipitación de azufre y coladas.

**Pavimentarios:** Estalagmitas tipo huevo frito, botroidales y de base plana, conulitos, perlas de las cavernas y microgours.

**Mixtos:** Columnas y banderas

**Geoformas fluviales:** Quebradas subterráneas, pozos subterráneos, paleocanales y paleobarras de un paleo río subterráneo que formó este sistema.

La caverna tiene alta actividad hídrica (constante) y su desarrollo es en su mayoría horizontal y sub horizontal. Esta caverna es considerada un laboratorio vivo, pues en ella se aprecia todo el ciclo del karst, principios geológicos, tectónica y bioespeleología; por lo tanto, se recomienda a la comunidad científica realizar más trabajos de investigación en este lugar espeleológico tan fascinante. (Zafra-Otero et al. 2018)

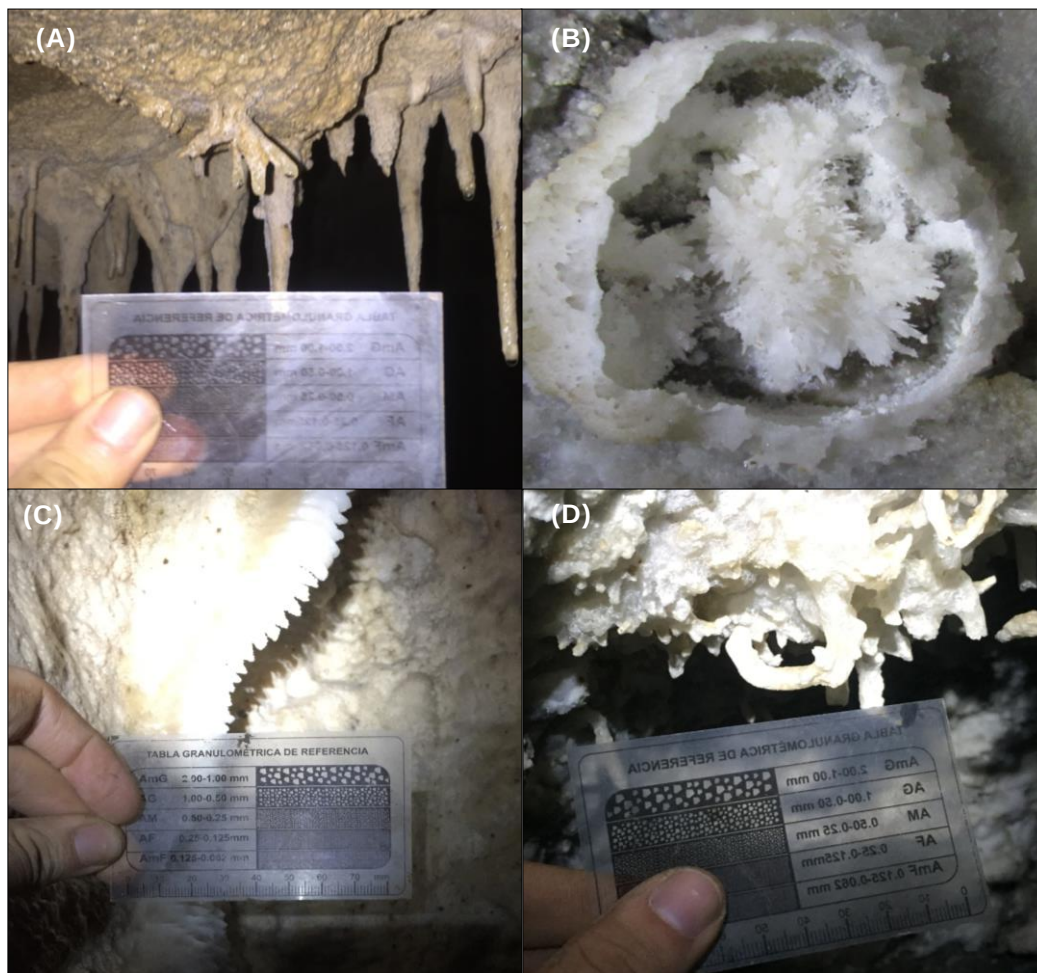
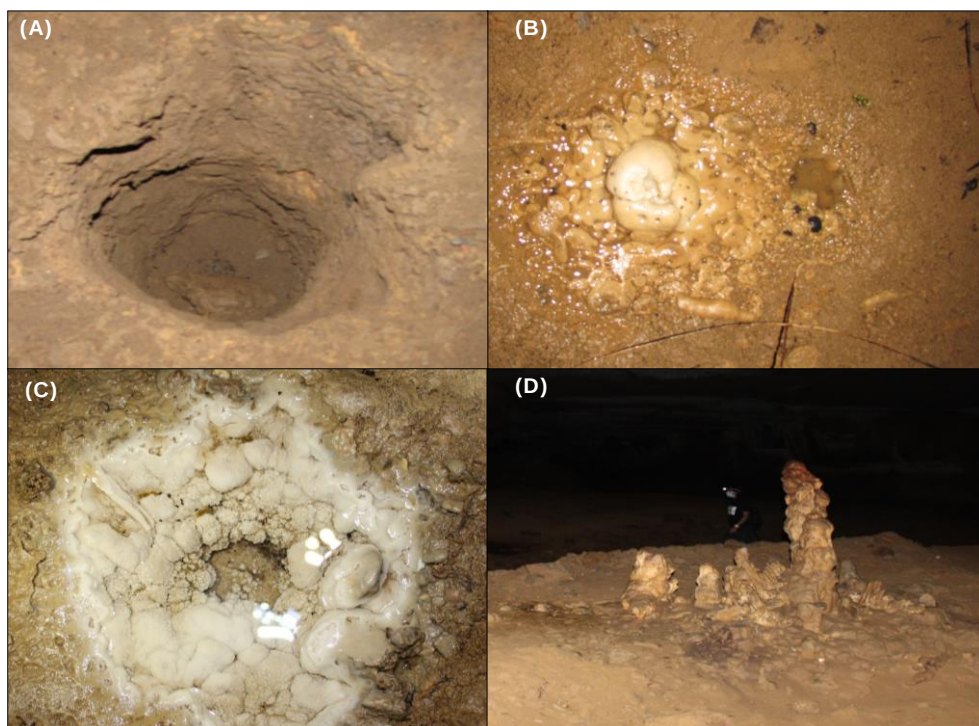


Figura 27: Endokarst de Las Alsacias: (A) Excéntrica tipo anemolita. (B) Flor de yeso. (C) Dientes de sierra. (D) Excéntrica tipo antodita.



*Figura 28: Endokars pavimentario de Las Alsacias: (A) Hueco generado por el guano de los murciélagos. (B) Estalagmita tipo huevo frito y pisolita. (C) Pisolita con precipitación de perlas. (D) Estalagmitas.*



*Figura 29: Exokarst zenital de Las Alsacias: (A) Estalactitas. (B) Estalactitas con moonmilk. (C) Cortinas y banderas. (D) Excéntricas tipo helictitas.*



Figura 30: Exokarst mixto y fluvial de Las Alsacias: (A) Quebrada subterránea. (B) Columna de predominancia estalagmítica y pajillas de soda. (C) Pozos subterráneos. (D) Castillo, estalactitas, estalagmitas y columnas.

### 2.3.4 Caracterización de espeleotemas y rocas asociadas.

**2.3.4.1 Estratigrafía.** Se realizaron 3 columnas estratigráficas, la primera en superficie y las otras dos en cada una de las cavernas estudiadas.

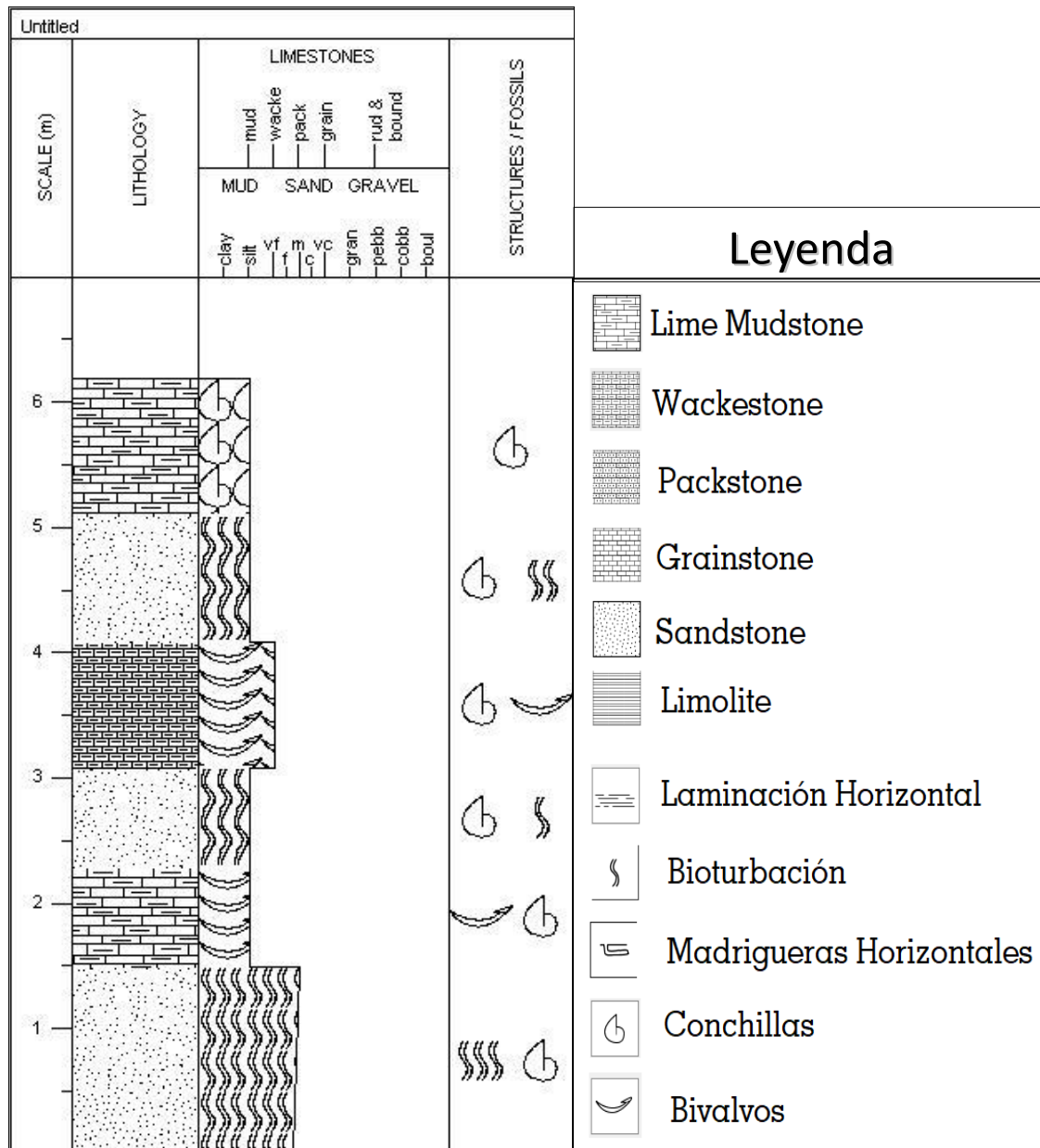


Figura 31: Columna estratigráfica en superficie y leyenda de las columnas.

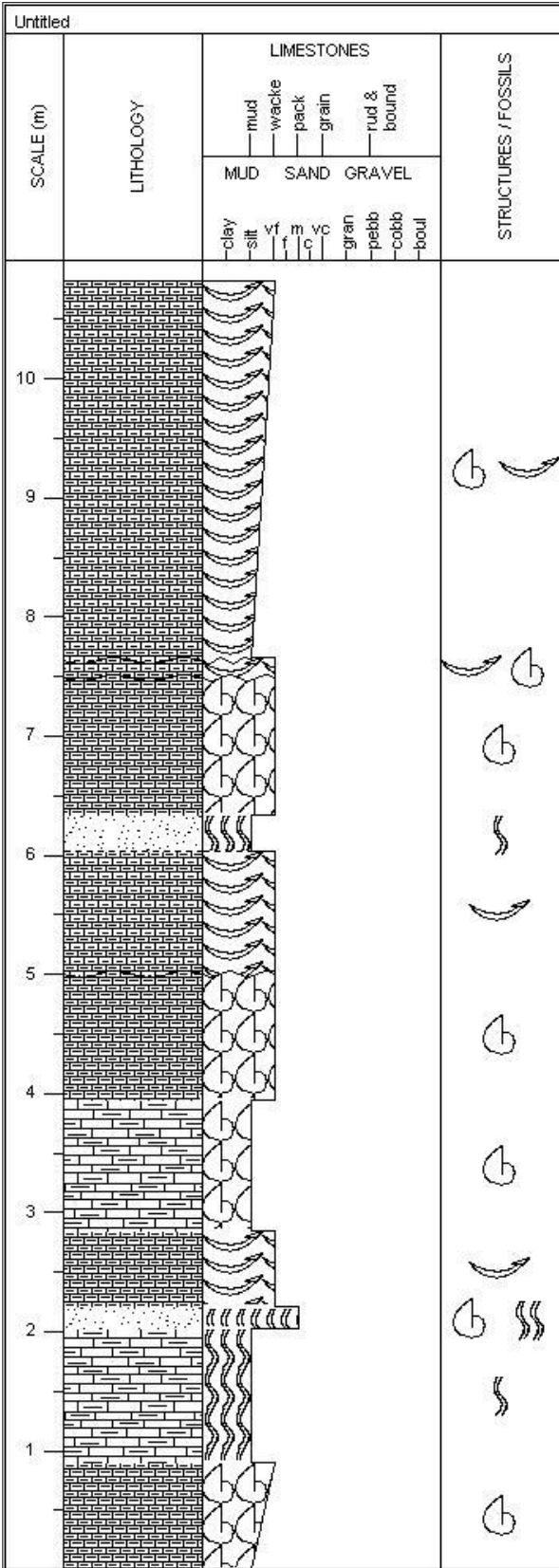


Figura 32: Columna estratigráfica de la caverna de El Nitro.

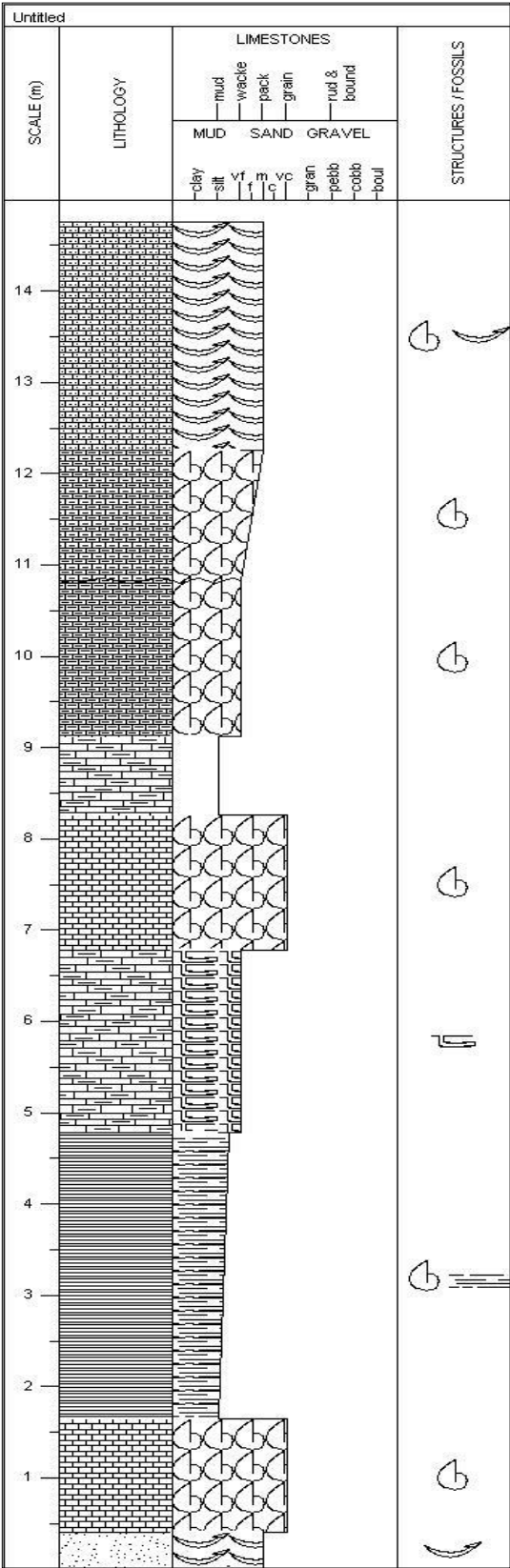


Figura 33: Columna estratigráfica de la caverna de Las Alsacias.

**Columna 1 (Afloramiento en superficie):** Este afloramiento se encuentra en la carretera que va desde el pueblo de Zapatoca a la caverna de El Nitro, unos metros después de la estación de servicio El Ciprés. La columna tiene un poco más de 6 metros de espesor y está compuesta en su base por areniscas calcáreas con conchillas altamente bioturbadas, seguida de unas mudstone con conchillas y bivalvos, en la parte media se encuentran otras areniscas calcáreas con conchillas también bioturbadas bajo unas wackstone con conchillas y bivalvos, ya en la parte superior se encuentran de nuevo las areniscas calcáreas que poseen conchillas para terminar con unas mudstone con conchillas. Los estratos tienen buzamientos de masomenos 15 grados y rumbo de masomenos 150 grados. Estas rocas pertenecen a la formación Rosablanca.

**Columna 2 (Caverna de El Nitro):** Esta columna tiene un espesor de casi 11 metros y está compuesta en su base por una capa de wackstone con conchillas seguida por unas mudstone bioturbadas luego aparecen unas areniscas calcáreas con conchillas y alta bioturbación que se encuentran bajo una capa de wackstone con bivalvos, después se encuentra una capa de mudstone con conchillas que se encuentra bajo dos capas de wackstone separadas por una superficie erosiva (la superior con bivalvos y la inferior con conchillas), de nuevo aparecen las areniscas calcáreas con alta bioturbación para acabar en la parte superior con una gran capa de wackstones con presencia de malaquita y conchillas dividida por superficies erosivas (el tope contiene bivalvos). Los buzamientos de estos estratos son de masomenos 8 grados y los rumbos son de 355 grados. Este afloramiento pertenece a la formación Rosablanca.

**Columna 3 (caverna de Las Alsacias):** Esta posee un espesor de más de 14 metros. Hacia la base se encuentran unas areniscas calcáreas con bivalvos bajo un paquete de grainstone numaquelico, luego aparece un paquete de gran espesor con lodolitas físis calcáreas con conchillas y cristales de yeso, hacia la parte media hay un paquete de mudstone con galerías horizontales, seguido de un paquete de grainstone numaquelicos bajo una capa de mudstone, en la parte superior se encuentran dos paquetes de wackstones con conchillas divididas por una superficie erosiva y en el tope hay una gran paquete de packstones con conchillas y bivalvos. Los estratos tienen buzamientos que varían de 15 a 40 grados y buzamientos que van desde 300 a 320 grados. Esta columna pertenece a la parte más alta de la formación Rosablanca donde comienza a aparecer el contacto transicional con la formación paja, esto se evidencia por las capas de lodolitas calcáreas que allí afloran.

**2.3.4.2 Análisis arquitectural de estalagmitas.** Se realizó el análisis de tres estalagmitas (2 de la caverna de Las Alsacias y 1 de la caverna de El Nitro) con el fin de conocer más acerca de algunos aspectos climáticos de la zona: conocer las paleoprecipitaciones, la morfoestratigrafía o estructura de la laminación de las estalagmitas y así entender más acerca de los paleoambientes en los que se formaron.

**Estalagmita 1:** Estalagmita perteneciente a la caverna de El Nitro, es un espeleotema que fue recuperado por los guías de la Caverna justo antes de ser saqueado, el espeleotema fue donado para la investigación por un profesor de la Universidad al que fue donada por los guías de la caverna. Esta pieza pertenecía al salón de los tornillos y es la más grande de las que se estudió.

**Resultados:** Esta estalagmita presenta una gran cantidad de eventos climáticos, a simple vista presenta carbonato de calcio precipitado con 3 coloraciones distintas debido a diferentes impurezas en las precipitaciones: amarilla (K), blanca (Pura) y grisácea (Fe); en el estudio

también se encontraron diferentes patrones de crecimiento siendo los eventos retracionales y progradacionales los más repetidos, mientras que el evento de mayor magnitud en escala de tiempo fue agradacional; respecto a la morfología de la laminación esta es del tipo globular y del subtipo “Bell Shaped” o forma de ombligo, esto significa que esta estalagmita se formó con altas y homogéneas tasas de goteo, con bajos a moderados niveles de saturación de calcita.

**Estalagmita 2:** Muestra perteneciente a la Caverna de Las Alsacias, específicamente al último salón con espeleotemas de la galería superior llamado el segundo castillo, esta pieza es la más pequeña de las que se estudiaron.

**Resultados:** Esta estalagmita muestra dos composiciones de calcita la primera es blanca (pura) y la segunda es gris (impurezas de Fe) permitiendo evidenciar diferentes eventos climáticos y composiciones en la precipitación; se encontraron diferentes patrones de crecimiento agradacionales, retracionales y progradacionales repetidos en igual cantidad, y un evento retracional que fue el de mayor magnitud en la escala de tiempo; en cuanto a la morfoestratigrafía de esta estalagmita se observa que comienza con formas caóticas tipo cerebroides que indican periodos secos y de alta evaporación, luego comienza a adquirir formas tipo frilled que indica menores tasas de goteo y termina con formas globulares.

**Estalagmita 3:** Muestra perteneciente a la Caverna de Las Alsacias es bastante cristalina y fue recolectada en el salón de los espeleotemas fósiles al lado de la quebrada subterránea.

**Resultados:** Esta muestra es bastante cristalina, presenta calcita de alta pureza, se observan algunas coloraciones amarillentas y un hiato bastante marcado, los patrones de crecimiento más repetidos fueron los progradacionales y agradacionales, el evento de mayor magnitud en escala de tiempo fue progradacional, se encontró un evento retracional después del hiato y más reciente

que los demás; la morfoestratigrafía de esta estalagmita es del tipo globular match head, esto representa altas tazas de goteo con incrementos en la precipitación del carbonato.

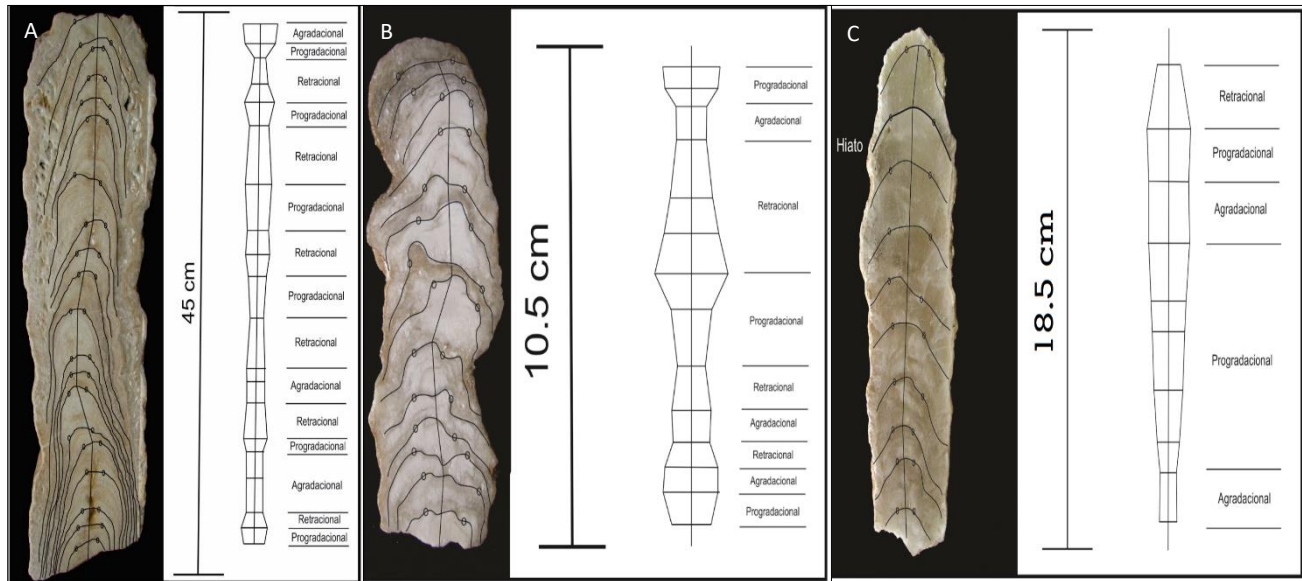
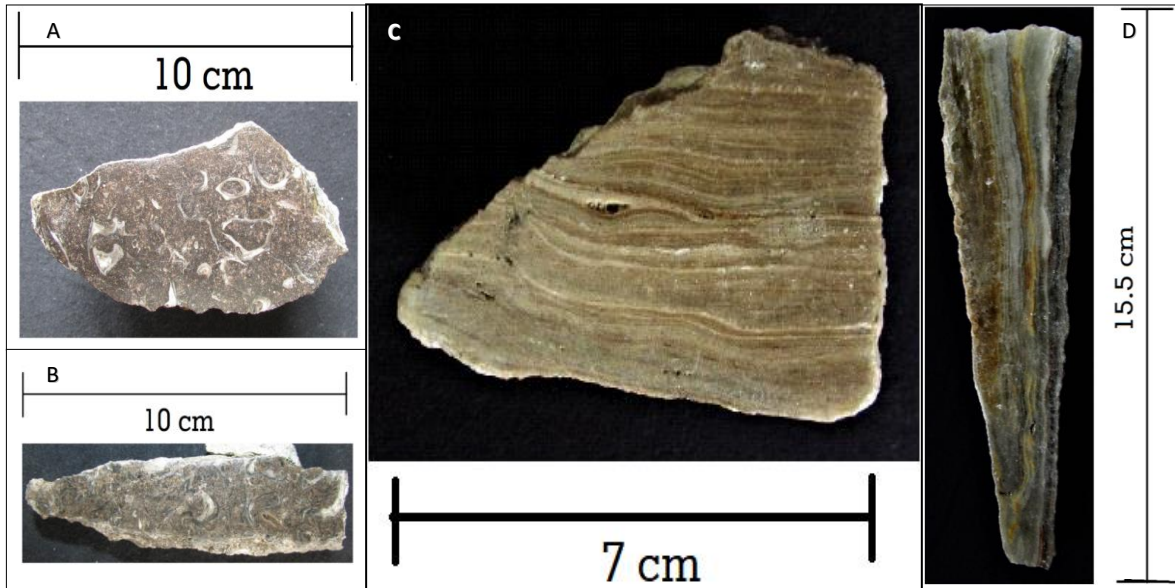


Figura 34: Análisis arquitectural de estalagmitas. (A) Estalagmita 1. (B) Estalagmita 2. (C) Estalagmita 3.

**2.3.4.3 Microscopía electrónica de barrido.** Fue realizado en el laboratorio de microscopía de la UIS – Sede Guatiguará, para realizar este análisis las muestras se colocaron sobre stubs metálicos con cinta adhesiva de carbón, se recubrieron con grafito en un equipo de recubrimiento Quorum 150ES. Se usó el Microscopio Electrónico de Barrido FEG (Field Emission Gun). Las imágenes fueron tomadas con las siguientes características: alto vacío, voltaje de aceleración 25kV. El detector para imágenes usado fue: Electrones retrodispersados (BSE): back scattered electrón detector (BSED) tipo SSD y en algunas regiones para tener características morfológicas de la muestra se tomaron con el detector. Los electrones secundarios(SE) con: everhart thornley detector ETD. Para el Análisis Químico: voltaje de aceleración 25Kv. El detector EDAX APOLO X resolución de 126.1 eV (en. Mn K $\alpha$ ) para

realizar análisis EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy) y el software EDX Genesis. información semi-cuantitativa de los elementos químicos.



*Figura 35: Muestras analizadas con microscopía electrónica de barrido. (A) Muestra 1. (B) Muestra 2. (C) Muestra 3. (D) Muestra 4.*

**Muestra 1:** Perteneciente a la pared de roca en la entrada de la Caverna de El Nitro, esta es una Caliza tipo wackstone biocrimítica con presencia de terrígenos, pirita, óxidos de hierro y malaquita

#### **Resultados SEM – Muestra 1:**

**Punto 1 – M1:** En este punto se encuentra la composición  $\text{CaCO}_3$  en la que el calcio es el elemento más abundante (48.21%), este hace referencia a la matriz de la roca en este caso lodo carbonatado o micrita.

**Punto 2 – M1:** En este se encontraron gran cantidad de Azufre (39%) y Fe (34%) en un cristal con forma subhedral, el mineral asociado es la pirita  $\text{FeS}_2$  y representa ambientes anóxicos.

**Punto 3 – M1:** En este punto se pueden observar óxidos de hierro, con valores cuantitativos de Fe (49%) y O (34%) pertenecientes probablemente a Hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  o goethita generadas por alteración y oxidación de la roca.

**Punto 4 - M1:** En este punto se encontró una alta concentración del elemento Cobre (64%) indicando la presencia del mineral carbonato de cobre hidratado, Malaquita  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ , revelando que esta cuenca marina recibió aportes de este metal preciado.

**Punto 5 – M1:** Este punto hace referencia a cristales de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) que se encuentran en la roca caliza y que pertenecen a terrígenos o fragmentos continentales que llegaban transportados a la cuenca.

**Punto 6 - M1:** Este punto se caracteriza por los altos contenidos el Aluminio (22%) y Silice (24%) a un Aluminosilicato probablemente un feldespato plagioclasa o alguna arcilla.

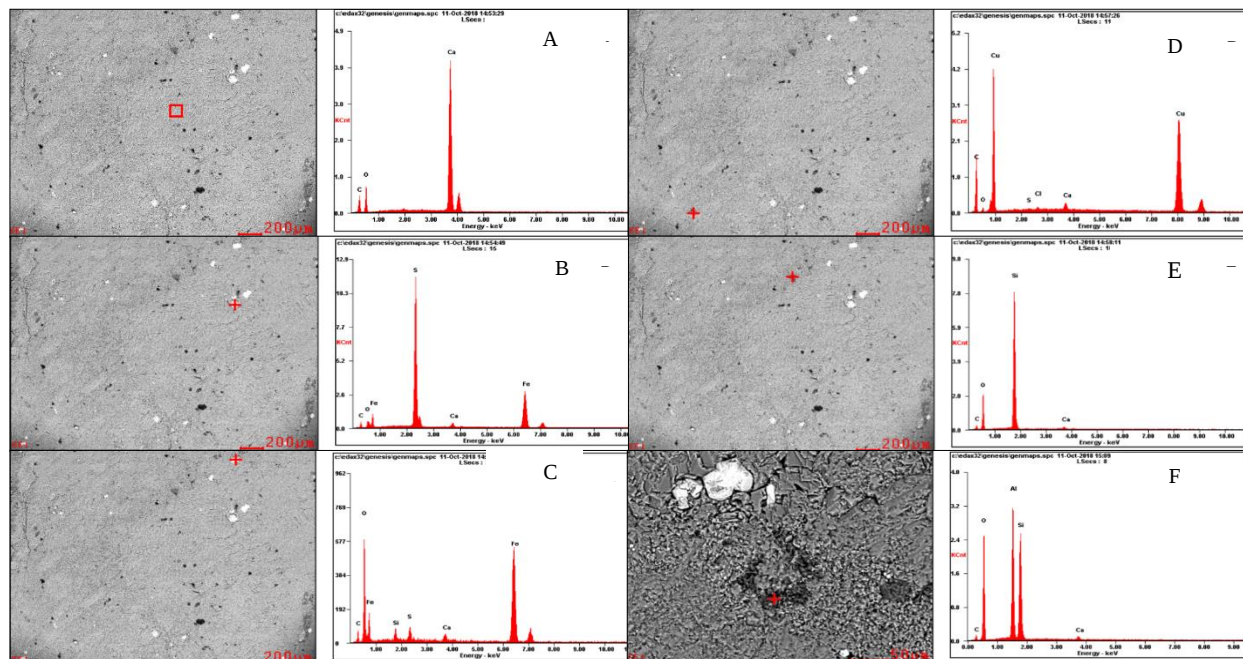


Figura 36: Puntos de la muestra 1, imágenes microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3. (D) Punto 4. (E) Punto 5. (F) Punto 6.

**Muestra de mano 2:** Perteneciente a la pared de roca en la entrada de la Caverna de Las Alsacias, es un packstone biomicrítico con óxidos de hierro, terrígenos, feldespatos potásicos y cálcicos

### Resultados SEM – Muestra 2:

**Punto 1 – M2:** En este punto se caracterizó la matriz de la roca caliza y se encontró que estaba compuesta por  $\text{CaCO}_3$  y específicamente el llamado lodo biomicrítico.

**Punto 2 – M2:** Se encuentra un mineral arcilloso perteneciente a los aluminosilicatos Potasio (14%), más específicamente Feldespatos Potásico como la Ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), también se registran algunas impurezas de metales como: Fe, Al, Ti y Mg.

**Punto 3 – M2:** Se encuentra un óxido de hierro (Goethita – Hematita) asociado a diferentes metales importantes tales como: Aluminio y Zinc.

**Punto 4 – M2:** Se encuentra un aluminosilicato del tipo feldespato plagioclasa en este caso cálcica, con presencia de arcillas y de diferentes metales asociados tales como: Fe, Ti y Mg.

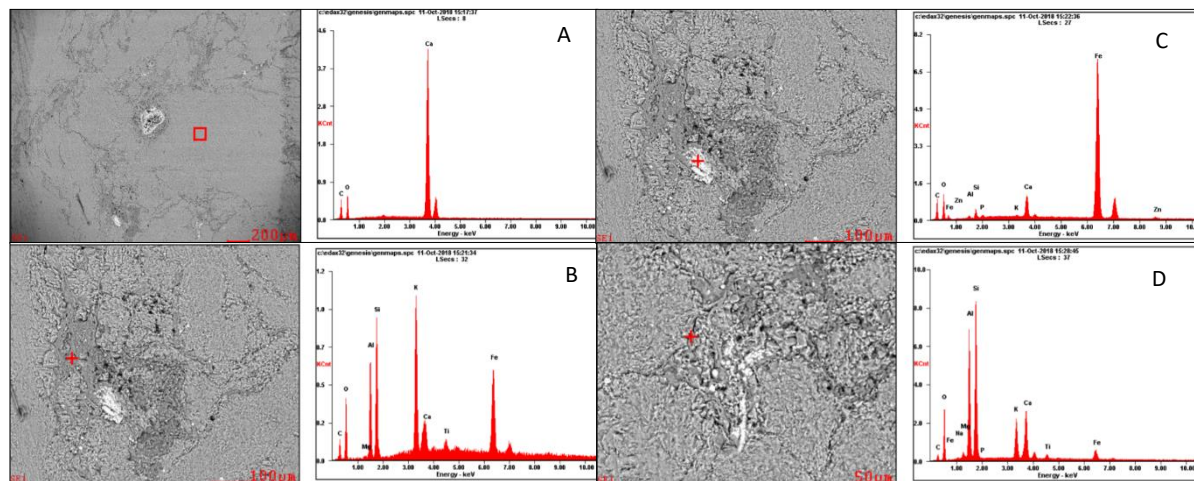


Figura 37: Puntos de la muestra 2, imágenes microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3. (D) Punto 4.

**Muestra de mano 3:** Esta muestra pertenece a coladas parietales cristalinas encontradas en el salón de “los diamantes”, son coladas laminares compuestas de calcita, aragonito y yeso; con presencia de algunos zircones entre las laminas

### Resultados SEM – Muestra 3:

**Punto 1 – M3:** El mineral mayoritario composicionalmente es la calcita, con un porcentaje de calcio de más del 50% representa gran parte de la muestra estudiada.

**Punto 2 - M3:** Este punto estudia las bandas más amarillentas de la muestra y encuentra que el elemento mayoritario es el Calcio (37%), la muestra presenta altas impurezas de Fósforo (15%) que le otorga su coloración, también se encuentran otros elementos accesorios en menores cantidades como: Na, Cl, Mg, Si, S, Si, Fe y Al, que develan un origen del precipitado con alta contaminación atmosférica.

**Punto 3 – M3:** Este punto muestra componentes de (42%) de Zirconio casi la mitad de la composición total, indicando que un evento de paleoprecipitación saturado en Zircones microscópicos que quedaron embebidos en láminas dentro de las coladas.

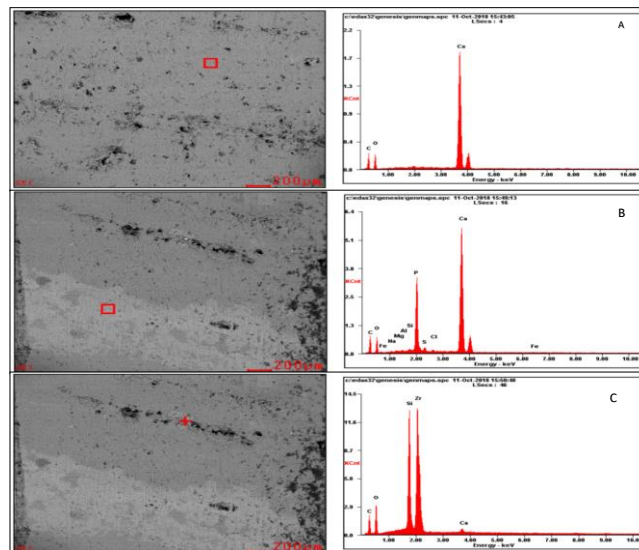


Figura 38: Puntos de la muestra 3, imagen microscopio electrónico de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2. (C) Punto 3

**Muestra de mano 4:** Esta muestra pertenece al mismo salón de el que fue recolectada la estalagmita 2 (último salón de galería superior – segundo castillo), Estalactita compuesta de calcita con diferentes impurezas composicionales entre sus conductos, tiene cristales de rodocrosita como accesorio

#### Resultados SEM – Muestra 4:

**Punto 1 – M4:** Este punto nos muestra la composición general de la muestra que en su mayoría contiene carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ .

**Punto 2 – M4:** En este punto se encuentra una alta concentración del elemento Manganese (50%), los que nos indica que este cristal pertenece a el mineral Rodocrosita ( $\text{MnCO}_3$ ) o carbonato de manganeso, a su vez se observan gran cantidad de otros elementos e impurezas como accesorios: Na, S, Cl, K y Ba.

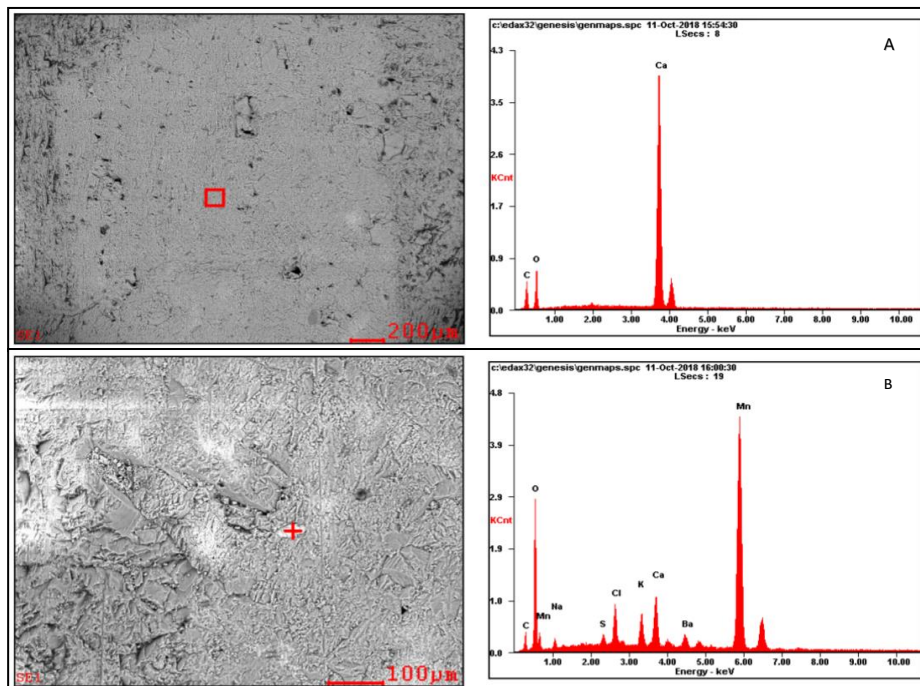


Figura 39: Puntos de la muestra 4, imagen microscopía electrónica de barrido SEM – UIS. (A) Punto 1. (B) Punto 2.

### 2.3.5 Geología Estructural.

#### 2.3.5.1 La caverna de El Nitro.

**Evidencias tectónicas y de fallas:** Se aprecian dos fallas normales que dejan ver que esta caverna posee regímenes extensionales, una falla normal se evidencia en el pasillo contiguo a la entrada donde hay una gran columna fracturada y desplazada en su parte superior, la segunda se evidencia en el salón de las arañas y está reflejada por otra columna fracturada y fallada, aunque de menor tamaño. La primera falla posee un rumbo de  $145^\circ$  y un buzamiento de  $16^\circ$  W, la segunda falla tiene rumbo de  $120^\circ$  y buzamiento  $40^\circ$ W. También se pueden evidenciar al menos 3 eventos sísmicos de gran magnitud a partir espeleotemas caídos o transportados, algunos ejemplos son: las estalactitas fosilizadas en el Salto del Mico, la columna transportada en la quebrada del pez ciego y la estalagmita inclinada en el Salón de los Tornillos.

**Diaclasas:** Las diaclasas en la caverna de El Nitro tienen unas diaclasas con tendencias de rumbo principalmente de  $325^\circ$  y  $145^\circ$ , con inclinaciones de  $80^\circ$  W.

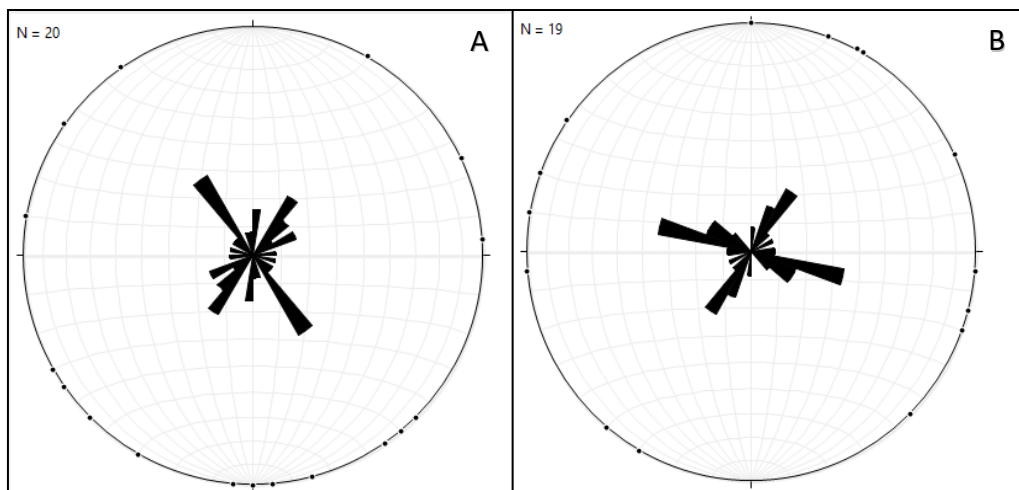
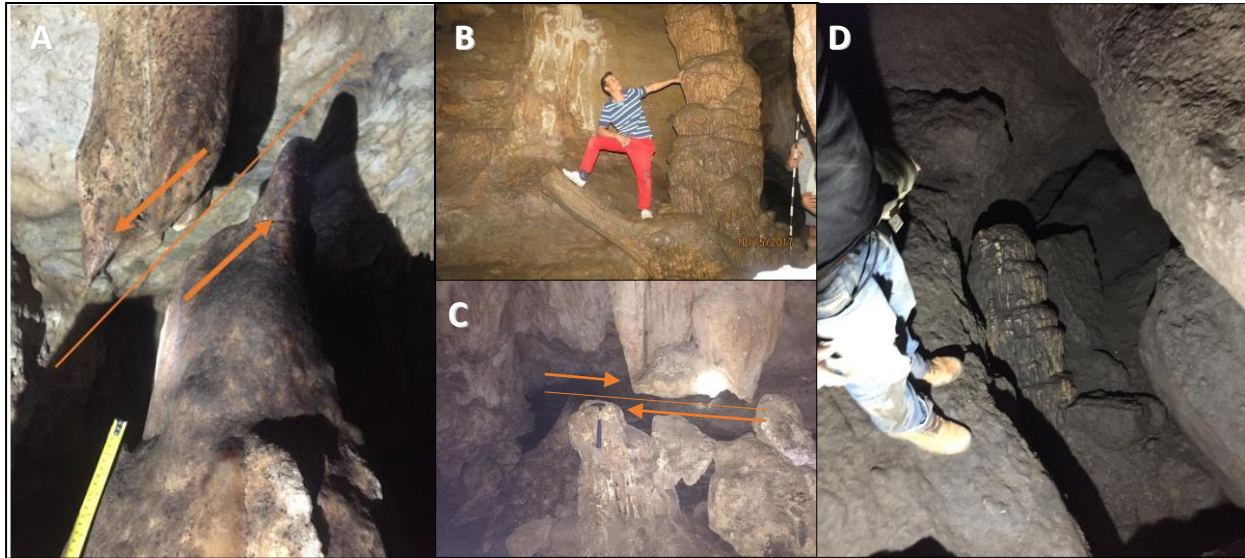


Figura 40: Diagramas de rosas de las diaclasas en las cavernas. (A) Diagrama de rosas diaclasas de El Nitro. (B) Diagrama de rosas diaclasas Alsacias.

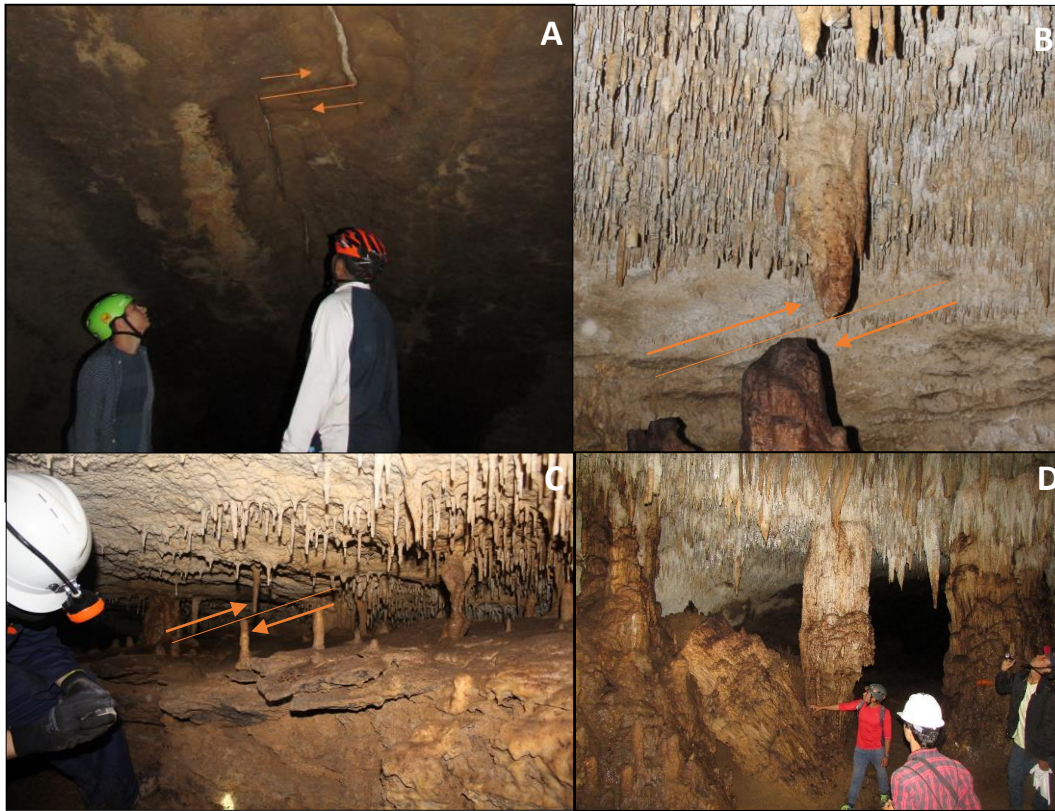


*Figura 41: Evidencias tectónicas y de fallas en la caverna de El Nitro. (A) Falla normal perteneciente al salón de las Arañas. (B) Estalagmita inclinada en el salón de Los Tornillos. (C) Falla normal contigua al pasillo de la entrada. (D) Columna transportada en la quebrada del pez ciego.*

#### **2.3.5.2 La caverna de Las Alsacias.**

**Evidencias tectónicas y de fallas:** Presenta un régimen estructural regido por fallas de rumbo con tendencias destrales y fallas inversas, la falla de rumbo se ve evidenciada en el techo de la cavidad pues se observa un cambio de rumbo en una fractura que pasa de ser  $280^\circ$  a  $195^\circ$  para volver a su rumbo original, la falla posee un desplazamiento de 74 centímetros. Las fallas inversas son al menos 2, la primera posee un rumbo de  $215^\circ$  y buzamiento de  $45^\circ\text{W}$ , la segunda posee un rumbo de  $315^\circ$  y un buzamiento de  $27^\circ\text{W}$ . A su vez se observan al menos 3 eventos paleosísmicos de gran magnitud como el de una columna de 3m de altura torcida, las estalagmitas caídas en el salón del cementerio de espeleotemas y las estalagmitas transportadas en la quebrada subterránea.

**Diaclasas:** Las diaclasas de la caverna de Las Alsacias tienen unas tendencias de rumbo principalmente de  $285^\circ$  y  $105^\circ$ , con inclinaciones de  $80^\circ\text{W}$ .



*Figura 42: Evidencias tectónicas y de fallas en Las Alsacias. (A) Falla de rumbo dextral en el techo. (B) 1era falla inversa. (C) Segunda falla inversa. (D) Columna torcida a causa de un paleosismo.*

**2.3.6 Análisis de aguas.** Se realizó el muestre de aguas en las dos cavernas, analizando el PH, la temperatura y el total de solidos disueltos (TDS) por medio de los aparatos electrónicos: Pen type PH meter y TDS meter 3 (wáter quality tester). Se analizaron las fuentes de agua que fluían y las que estaban estancadas, esto para saber la calidad de la misma y conocer si existía alguna fuente de contaminación.

**TDS:** Engloba sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua, se expresa en unidades de mg por unidad de volumen de agua (mg/L) o como partes por millón (ppm). El Reglamento secundario de la EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) aconsejan un nivel de contaminación máximo 500 ppm para los TDS. Cuando los niveles de TDS exceden 1.000 ppm se considera agua no apta para el consumo humano.

**PH:** Es una de las medidas más importantes de cualquier análisis de agua, en una escala de 0 a 14 el pH indica si la solución acuosa tiene un carácter más ácido o más alcalino. Su valor depende de los minerales disueltos, la temperatura, así como también de los gases que contiene. Según el artículo 4 de la resolución 2115 (por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano) en Colombia el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

**Resultados análisis de agua:**

**Caverna de El Nitro:** El agua estancada perteneciente a el salón de los tornillos presentó un PH de 8,1 (básico), TDS de 155ppm y temperatura de 22.5 grados centígrados. El agua que fluía gracias a aguas lluvias cerca a la entrada presentó un PH de 8,4 (básico), TDS de 244 y temperatura de 21 grados centígrados.

**Caverna de Las Alsacias:** El agua estancada pertenece a unos pozos subterráneos y presentó un PH de 7,4 (básico), TDS de 188ppm y temperatura de 22.5 grados centígrados. El agua que fluía pertenece a la quebrada subterránea donde habita el pez *Trycomycterus Sandovali* y presentó un PH de 7,9 (básico), TDS de 158ppm y temperatura de 22,5 grados centígrados.

**2.3.7 Climatología de la zona.** Por medio del sistema de información del IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) se solicitaron los datos de precipitación total anual y temperatura media anual, adquiridos en la estación de la quebrada Zapatoca con fechas desde 1973 hasta 2017, con el fin de conocer como ha sido el cambio climático reciente en la región. Por medio del programa Excel de Office se graficaron estos datos que fueron complementados con la información de los periodos en los que el fenómeno del niño y niña

fueron fuertes, registrados en la estación del océano pacífico (IDEAM) dando los siguientes resultados:

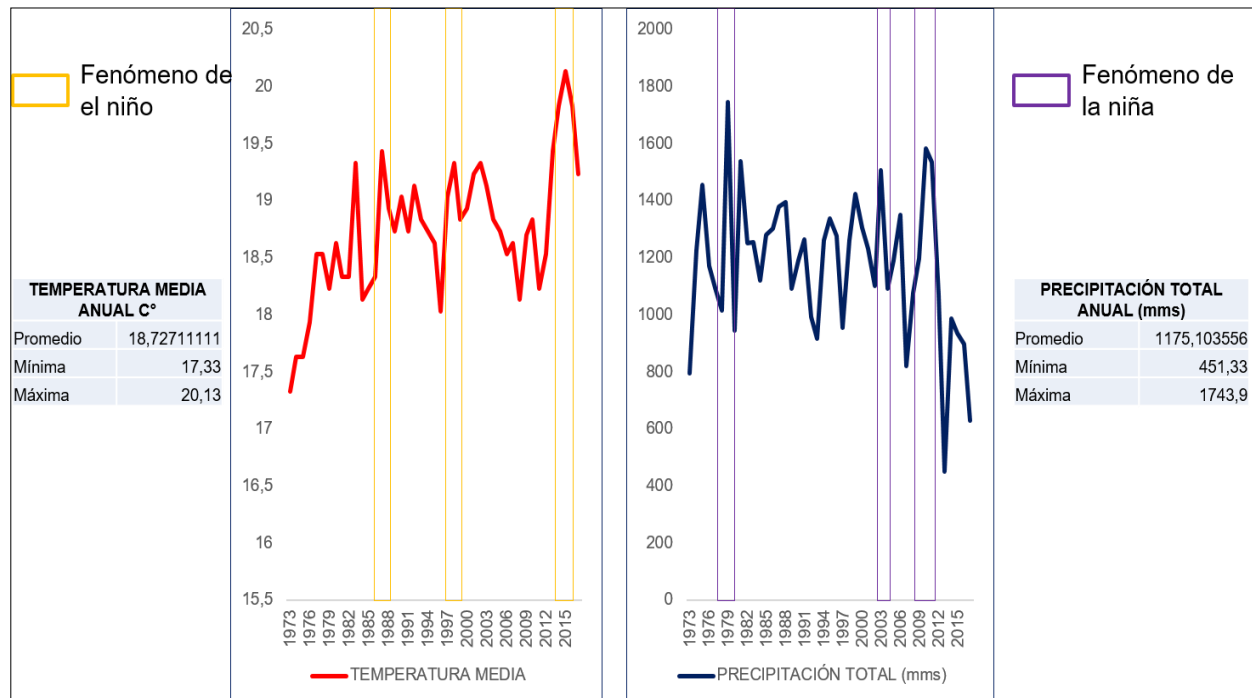


Figura 43: Climatología de la zona, temperatura media y precipitación total.

**2.3.8 Bioespeleología.** Muñoz-Saba et al. (2013) realizó el primer inventario de la biota en las cavernas de Santander reportando para el municipio de Zapatoca:

#### 2.3.8.1 En la caverna de El Nitro.

**Artrópodos:** Acari, Gryllidae, Phyrinidae, Pholcidae, Scytoidae, Spirostreptidae y Theraphosidae.

**Murciélagos:** *Carollia brevicauda*, *Desmodus rotundus*, *Glossophaga soricina*, *Mormoops megalophylla* y *Natalus tumidirostris*.

**Otros vertebrados:** *Tricomyscterus sketi*.

### 2.3.8.2 En la caverna de Las Alsacias.

**Artrópodos:** Acari, Locomceles spp. Y Theraphosidae.

**Murciélagos:** *Artibeus amplus* y *Corallia perspicillata*.

**Otros vertebrados:** *Tricomyskerus sketi*.

Como un aporte a la bioespeleología del municipio de Zapatoca se reportan por primera vez las siguientes familias encontradas en la caverna de Las Alsacias: Gryllidae, Cranidae, Newportiidae, Pselliodidae, Spirostreptidae, Crustacea y Newportiidae

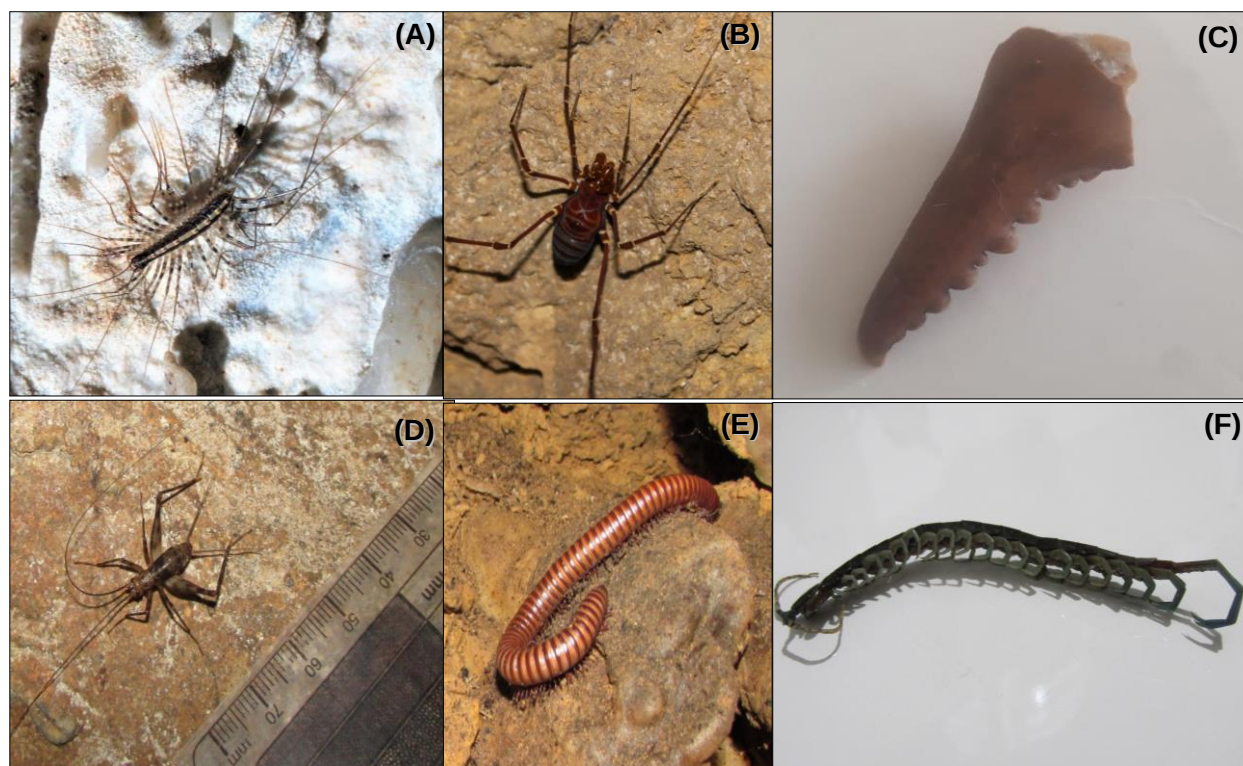


Figura 44: Nuevas familias reportadas en la caverna de Las Alsacias: (A) Spirostreptidae. (B) Cranidae. (C) Crustacea. (D) Gryllidae. (E) Pselliodidae. (F) Newportiidae.

### 2.3.8 Estado de geoconservación de las cavidades y valoración del patrimonio subterráneo.

**2.3.8.1. Patrimonio geológico.** Se realizó la valoración de las cavernas teniendo en cuenta la metodología para la valoración del patrimonio geológico y paleontológico inmueble creada por

el IGME y adoptada por el SGC (2016), con esto se evaluó el valor científico, turístico y didáctico de cada caverna.

**En la caverna de Las Alsacias:** los estudios arrojaron resultados para el interés científico de 7 (alto) para el interés didáctico de 6.75 (alto) y para el interés turístico de 6.5 (alto); todos estos valores confirman el alto valor que presenta la caverna de las Alsacias para el desarrollo de proyectos e iniciativas didácticas, turísticas y sobre todo científicas siendo este el valor patrimonial más alto de esta caverna. (Ver apéndices 1 y 2)

**En la caverna de El Nitro:** destaca el interés patrimonial principalmente para actividades turísticas y didácticas, debido a su utilidad ya definida por la comunidad (turismo). El componente turístico dio un valor de: 6.75 (alto), el componente didáctico dio un valor de: 6.25 (medio), y el componente científico dio un valor de: 3.25 (medio). (Ver apéndices 3 y 4)



Figura 45: Geoturismo en la caverna de El Nitro (Zafra Otero et al. 2018). (A) Equipos de protección. (B) Turistas conociendo un sistema kárstico.

### **2.3.8.2 Análisis DAFO: Geoconservación y Geoturismo en Zapatoca.**

**En el Nitro:** Se evidencia una alta afectación antrópica por el turismo incontrolado con la presencia de grafitis, rompimientos de espeleotemas; también se usa la caverna para actividades turísticas desde hace muchos años, por eso actualmente el pueblo ha tomado el control permitiendo a la Defensa civil guiar a las personas dentro de la misma y adecuando infraestructuralmente para el turismo los espacios dentro de la cavidad. También se destaca la presencia de gran cantidad de fauna especialmente de murciélagos (5 especies) los cuales presentan 4 tipos de alimentación incluyendo: frugívoros, insectívoros, nectívoros y hematófagos; la protección de estos animales es muy importante para conseguir un equilibrio del ecosistema en el municipio (Control de plagas, polinización y dispersión de semillas).

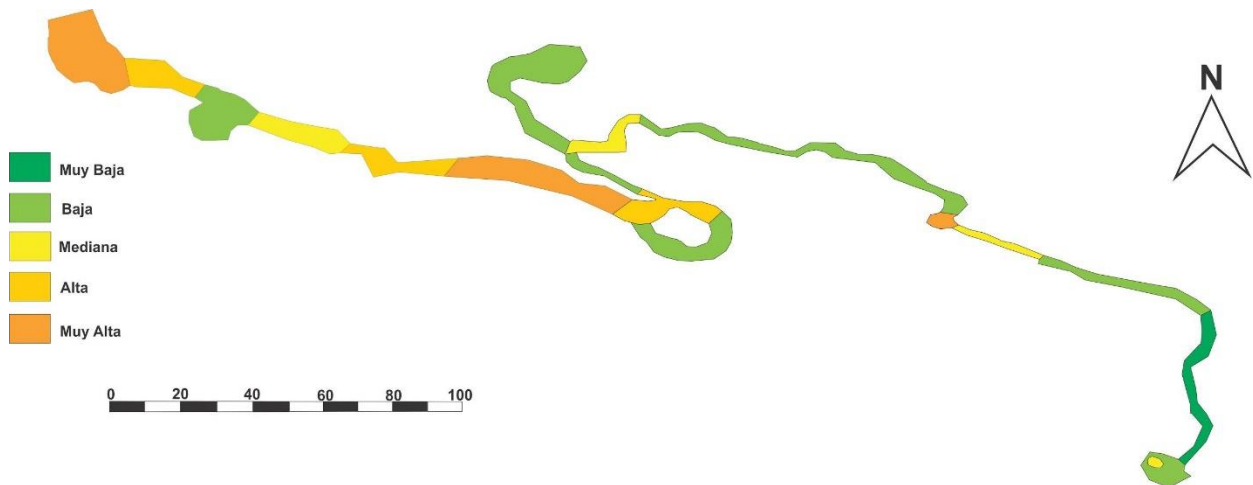
**En las Alsacias:** Presenta un grafiti en la entrada y algunas señales para guiar el camino, el resto de la caverna se encuentra muy bien conservada, tiene bastante cantidad de agua en ella con muy buena calidad, no entra gente muy seguido allí, es bastante espaciosa y presenta una buena cantidad de espeleotemas, neotectónica (fallas), bioespeleología, fósiles y geomorfología paleofluvial; todo esto altamente conservado para futuros estudios científicos y actividades académicas.

| Debilidades                                                                                                                                                  | Amenazas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Nitro: Entorno altamente afectado por acciones antrópicas.</p> <p>Alsacias: No posee infraestructura para el turismo.</p>                                 | <p>Nitro: Gran cantidad de turismo constante que podría afectar las áreas de protección y los animales de la caverna.</p> <p>Alsacias: Nula regulación de su entrada, susceptible a saqueo de espeleotemas.</p>                                                                                                                                |
| Fortalezas                                                                                                                                                   | Oportunidades                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>Nitro: Posee infraestructura para turismo y guías calificados.</p> <p>Alsacias: Entorno altamente conservado, presenta geodiversidad y biodiversidad.</p> | <p>Nitro: Caverna en la que se puede realizar turismo sostenible y geoeducación, fundamentales para el desarrollo sostenible de la región.</p> <p>Alsacias: En esta caverna se pueden realizar gran cantidad de estudios científicos en: paleo climatología, geología estructural, sedimentología, hidrogeología, paleontología y biología</p> |

*Figura 46: Análisis DAFO de las cavernas.*

Al tener una afectación clara la Caverna de El Nitro fue estudiada a profundidad para realizar un proceso de protección y conservación adecuado, realizando un modelo de geoconservación con mapas de afectaciones y zonas de protección.

Para ver la mejor manera de conservar la caverna de El Nitro se realizó un análisis de la afectación (mapa) para manejar su debido y más óptimo proceso de recuperación y como resultado dio el siguiente modelo de Geoconservación. (Zafra et al. 2018).



*Figura 47: Mapa de afectación Caverna de El Nitro Zafra et al. 2018*

El mapa de afectación fue realizado teniendo en cuenta 3 factores principales: Arrojo de basuras, uso de aerosoles y rotura con daño de espeleotemas.

Las zonas a proteger y preservar son: Salón de las arañas, quebrada del pez ciego y salón de los “diamantes”; no aparecen en los mapas presentados y representan un interés científico en los ámbitos de la espeleología, geología y biología; estos salones serán habilitados solo para investigación y proyectos científicos en este modelo pues la presencia de turistas en estos lugares puede dañar el registro geológico, desequilibrar los ecosistemas y el acuífero kárstico.

Descripción de las zonas de protección en la Caverna del Nitro (Zafra et al. 2018):

- Salón de las arañas: Es también llamada la galería superior, y en él habitan diferentes especies de arañas, murciélagos, gusanos y raíces. En ella hay fracturas falladas. Es una galería frágil que debe ser protegida.

- Quebrada del pez ciego: Es un hábitat frágil por la presencia de los peces ciegos, en la quebrada hay espeleotemas transportados que pueden ser objeto de investigación
- Salón de los “Diamantes”: Salón con brillantes cristales de calcita, aragonito y yeso que recubren sus paredes. Presenta alta importancia para estudios geológicos.



Figura 48: Afectaciones ambientales de las cavernas. (A) Grafitis en la caverna de El Nitro. (B) Grafitis en la entrada de la caverna de Las Alsacias. (C) Grafitis y espeleotemas rotos en la caverna de El Nitro.

**2.3.9 Actividades de geoeducación.** Se desarrollaron actividades de geoeducación para compartir con los habitantes del municipio los mapas realizados, las Georutas subterráneas, los planes de geoconservación; se expuso sobre la importancia de la geología y las rocas en la sociedad, y también sobre la geoconservación e importancia de las cavernas para el cambio climático y el calentamiento global.

**En la caverna de las Alsacias:** se realizó una jornada de introducción a la geoespeleología con estudiantes de geología de la Universidad Industrial de Santander y del semillero de patrimonio geológico, en esta salida técnica realizada se pudo observar: ciclo del karst, fallas geológicas, formación de espeleotemas, principios básicos de geología, principales geoformas kársticas, paleontología, hidrogeología, geoformas fluviales, fauna y flora cavernaria. Esta actividad contó con la presencia de 15 estudiantes de diferentes semestres de geología, permitió difundir esta rama de las geociencias tan poco estudiada y aclaró muchos conceptos en sedimentología, estratigrafía y estructural base para el estudio de la carrera. Se espera que de la misma puedan salir diferentes artículos científicos referentes a diversos temas de interés y fenómenos naturales que se presentan en esta caverna.

**Para la caverna de El Nitro:** se realizó la capacitación de algunos guías turísticos pertenecientes a la defensa civil en temas de: geología, geoespeleología (Hidrogeología Kárstica), fósiles guía de la fm Rosablanca, como identificar una roca carbonatada, geoconservación y patrimonio geológico y paleontológico. También se les recalcaron las buenas prácticas del espeleólogo que consisten en: Recoger las basuras, no rayar las paredes, no fumar, no romper ni dañar ningún espeleotema y respetar toda fauna y flora presente en la caverna. Se espera que con la capacitación realizada los guías puedan replicar la información recibida y realizar geoeducación con los visitantes de la caverna dándole un valor agregado al recorrido espeleoturístico. La actividad tuvo la presencia de 23 personas y culminó con la donación de un reflector tipo LED para el turismo, los mapas de la caverna y una estalagmita de 45 cm cortada que será expuesta en la entrada de la caverna con fines de geoeducación.

Finalmente se realizó una intervención directa en la Caverna de El Nitro con una jornada geoespeleológica para los turistas presentes, en esta jornada se incluyeron grupos de familias,

amigos y personas de todas las edades desde niños hasta ancianos, antes de que los grupos entraran a la caverna se les explicaba que era una roca caliza, como se forman los espeleotemas, algunos resultados de la tesis (SEM y mapas), la importancia de las cavernas y como cuidarlas.



*Figura 49: Actividades de geoeeducación entorno a estos sistemas kársticos. (A) Jornada de capacitación en temas de geología con los guías de la caverna de El Nitro pertenecientes a la Defensa Civil de Zapatoca. (B) Geoeeducación directa brindada a turistas y visitantes de la caverna de El Nitro. (C) Estudiantes de geología de la Universidad Industrial de Santander apreciando un sistema kárstico.*

**2.3.8 Discusión.** Las cavidades hipogeas siguiendo a Nuñez (1970) y con el aval de la Sociedad Espeleológica de Cuba designan los nombres de la cavidad por el orden de su tamaño:

- Abrigo rocoso: Cavidad que deja espacio para guarecer a un hombre o un grupo de estos.
- Gruta: Salón subterráneo.

- Cueva: Constituida por varios salones y galerías hasta de un kilómetro de longitud.
- Caverna: Galerías y salones cuyo desarrollo va de 1 a 10 kilómetros de longitud.

Teniendo en cuenta la clasificación de Nuñez se confirma que estas dos cavidades son cavernas pues en su interior tienen más de 1 kilómetro de longitud. Esto va en contra del nombre que se le ha dado tradicionalmente en el pueblo (cueva de El Nitro) pero es necesario recalcar la diferencia de estas dos clasificaciones para mantener un orden y un buen manejo de la información, estas dos cavernas son ubicadas en la formación Rosablanca por su contenido fosilífero y el tipo de roca caliza en las que se desarrollan, estos siguen las composiciones propuestas por Guzmán G. (1985) en la columna estratigráfica de la parte superior de la formación Rosablanca la cual está compuesta de intercalaciones entre calizas micriticas y biomicriticas que representan oscilaciones marinas. Esto niega el mapa H-12 que según las coordenadas de la caverna de El Nitro aparece en la formación Paja y el libro de Cavernas de Santander 2013 en el que ubican a la caverna de Las Alsacias en la formación Tablazo. A su vez afirma el libro de Cavernas de Santander 2013 que pone a El Nitro en Rosablanca, el H12 que pone a Las Alsacias en Rosablanca y a Pimiento R. 2007 que también ubica a Las Alsacias en Rosablanca.

Se recalca la importancia de realizar análisis arquitectural de los espeleotemas antes de trabajar isotopos para mayor claridad en los resultados. Se plantean estas dos cavernas como geotopos o patrimonio de la región que deben ser protegidos y usados como tal. También se propone replicar este tipo de trabajos en otras cavidades de interés acompañándolos con geoeeducación y socialización de los proyectos con las comunidades aledañas para procurar por el desarrollo sostenible de las regiones.

### 3. Conclusiones

- Zapatoca es una región kárstica rica en geoformas epigeas, pero también hipogeas lo que significa que en la zona aún hay muchas cavernas por encontrar, investigar y explorar.
- Los mapas de las cavernas son una herramienta muy útil para la realización de actividades de investigación pues están nos brindan una representación real del subsuelo y nos permiten obtener información más ordenada, también son fundamentales a la hora de realizar actividades de geoeducación y geoturismo para que el visitante pueda entrar con confianza sabiendo lo que le espera dentro de la misma.
- Estas cavernas se desarrollan en el miembro superior de la formación Rosablanca.
- Las dos cavernas tienen regímenes estructurales bien definidos: El Nitro por fallas normales y Las Alsacias por fallas de rumbo e inversas.
- Las paleoprecipitaciones pertenecientes a el área de estudio han sido muy variadas observándose una dinámica bastante alta en el régimen climático donde se observan alternancias entre periodos secos, húmedos y estables; y cambios composicionales.
- El área de estudio presenta rocas con importancia en la industria de las piedras preciosas, esto se evidencia con la presencia de rodocrosita y zircones detríticos en los espeleotemas estudiados; y malaquita en las calizas.
- Zapatoca está sufriendo un calentamiento y un descenso en las precipitaciones desde hace 30 años hasta ahora.

- El agua subterránea perteneciente a las dos cavernas se considera potable por sus valores de TDS y PH, siendo el agua de Las Alsacias de más calidad que la de El Nitro; el agua estancada de estas cavernas siempre fue más neutra que el agua que fluía.
- Las dos cavernas estudiadas son patrimonio geológico de la región y por lo tanto deben ser salvaguardadas bajo la legislación colombiana.
- Las actividades de geoeducación son base para la realización de cualquier proyecto geológico pues estas le dan la sostenibilidad necesaria, permiten a la comunidad conocer más sobre sus recursos naturales y les enseñan cómo protegerlos.

#### **4. Recomendaciones**

Teniendo en cuenta que la geoespeleología es una rama tan poco estudiada en las ciencias de la tierra la primera recomendación se basa en que todos deberíamos leer e informarnos más sobre este tema, pues no se conoce lo que no se comprende. También es importante mencionar que no solo el municipio de Zapatoca cuenta con gran cantidad de cuevas y cavernas, sino que muchos más municipios del departamento de Santander o incluso de Colombia cuentan con estos maravillosos recursos. Por lo tanto, se recomienda comenzar a realizar investigaciones y trabajos de este tipo en otras cavernas del país, permitiendo desarrollar bibliografía, mapas, empresa turística, educación e investigación en torno a estos sistemas.

En cuanto a la caverna de El Nitro se recomienda usarla para actividades turísticas principalmente pues la misma ya cuenta con adaptaciones y el personal calificado que estará listo para enseñar y ayudar ante cualquier emergencia, teniendo en cuenta las zonas planteadas para protección y conservación. En la caverna de Las Alsacias se recomienda seguir realizando

investigaciones en diferentes temáticas científicas (sedimentología, paleontología, estructural, biología e hidrogeología) con base en toda la teoría y material aquí expuesto.

Se recomienda realizar una datación isotópica (U-Th) y el estudio de proxys climáticos (isotopos O y C) de los espeleotemas estudiados, para tener una información paleoclimática absoluta y más completa del área de estudio.

La zona de estudio tiene potencial para yacimientos de piedras preciosas y minerales metálicos como el Cobre, se hace necesario un proyecto de exploración y prospección en busca de Zircones, Rodocrosita y malaquita (mena de cobre).

Para apaciguar el cambio climático en el área de estudio se recomienda comenzar a realizar labores de reforestación.

Se recomienda realizar geoeducación en estos lugares con personas que conozcan estos sistemas subterráneos y sean guías de las cavernas pues ellos serán los que más fácilmente puedan replicar y enseñar la información aprendida a los turistas que los visitan cada fin de semana.

Finalmente se invita a todos los lectores a que protejamos la naturaleza y en especial estos sistemas kársticos pues como ven nos brindan mucha información del pasado geológico, generan altos ingresos por actividades turísticas y son el patrimonio geológico inalienable, imprescriptible e inembargable con el que contamos los colombianos y que debemos cuidar para que todas las futuras generaciones puedan apreciar.

### Referencias Bibliográficas

- Acero, D., Velandia, F., Ramírez, J. (2007). Geoespeleología en el noroeste de la Provincia Guanentina, Departamento de Santander. Programa de Exploración de Aguas Subterráneas. Ingeominas. Informe Interno. Bogotá.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (2012), Cuenca Valle medio del Magdalena. Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos Pozo: Infantas-1613, Evaluación Petrofísica ShaleXpert Pozos: Catalina-1 y Cocuyo-1 Diciembre de 2012 p.40.
- Archila Mendoza, A.; Gelvez, J.; Zafra-Otero, D.; Barajas Rangel, D.; Herrera, J.; Ríos Reyes, C.; Castellanos, O. 2018. Geoespeleología y valoración de la cueva de Doña Lucrecia (Rionegro, Santander) para establecer su interés científico. Memorias: I Congreso Colombiano de Espeleología y VIII Congreso espeleológico de América Latina y el Caribe. 115-118 p.
- Ardila Rodríguez C. (2006). *Trichomycterus sandovali*, (Siluriformes: Trichomycteridae) Una nueva especie de pez cavernícola para el departamento de Santander – Colombia. Peces de Santander. Gobernación de Santander. Bucaramanga, Octubre de 2006.
- Arribas-Mocoroa M. Et al. Atlas de Petrología Sedimentaria © 2007-2018, <https://webs.ucm.es/info/petrosed/rc/cla/index.html>
- Bedoya Carolina, Hefer Nomesqui 2013. Estratigrafía, quimioestratigrafía y petrografía de la formación Rosablanca: implicaciones para la identificación de eventos anóxicos oceánico en la cordillera oriental Colombiana. Universidad de Caldas. Facultad de ciencias exactas Geología.

- Brilha, J. 2004. A Geologia, os Geólogos e o Manto da Invisibilidade. *Geologia USP, Comunicação e Sociedade*, 6, 257-265.
- Brilha, J. 2009. A Importância dos Geoparques no Ensino e Divulgação das Geociências. *Geologia USP, Publicação Especial*, 5 (Geociências), 27-33.
- Caballero, V; Parra, M; Mora, A.R; 2010. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el Eoceno tardío- Oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del magdalena.
- Carcavilla L, y R. Ruiz López de la Cova. La geoconservación en Castilla-La Mancha. Estado actual y perspectivas de futuro. *Rev. C. & G.*, 23 (3-4), 11-26. 2009.
- Carol A. Hill and Paolo Forti – Cave mineralogy and the NSS: past, present, future. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, no. 1, p. 35–45.
- Carvajal et al. 2004. Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica. Proyecto compilación y levantamiento de la información geomecánica, Volumen 1.
- Clifford Ollier 2012, Problems of geotourism and geodiversity
- Cediel, F. 1968. El Grupo Girón, una molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental. *Boletín Geológico*, 16(1-3): 5-96.
- Chivelet M., Belen Muños-Garcia, A. Cruz, Ana ortega, Maria Turrero 2017. Speleothem architectural analysis: Integrated approach for slagmite-based paleoclimate research.
- Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A. J., y Taborda, A. 1995. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena

Valley, Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 79 (10): 1421-1443.

Decreto 1353 de 2018, Colombia, Por el cual se Adiciona el capítulo 10 al Título V de la parte 2 del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía en lo relacionado con la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación y se dictan otras disposiciones.

Diaz Jimena (2009). Nathalia Maria Contreras, Jorge Eduardo Pinto, Francisco Velandia, Carlos Julio Morales, Gloria Hincapie. Evaluación hidrogeológica preliminar de las unidades de la Mesa de Los Santos, 2Boletín de Geología Vol. 31, N° 1, enero - junio de 2009, 68p.

Ehsan S., Mohd ShafeeaLeman, Rawshan AraBegum, Geotourism: A Tool for Sustainable Development of Geoheritage Resources Sofia

Etayo, F y Clavijo, J., Proyecto cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas.

Fernando Gázquez y José María Calaforra, 2016 Los espeleotemas: un archivo de información paleoambiental de los últimos millones de años.

Frisia S. 2014 Microstratigraphic logging of calcite fabrics in speleothems as tool for palaeoclimate studies Sciences, SELS, The University of Newcastle, Callaghan, NSW Australia.

Fuertes Gutiérrez I., Emilio de la Calzada Lorenzo, Tránsito Llamas Martínez, Ángeles Tejerina Fernández, Miguel Ángel Crespo Fernández, Laura Pereiras López, Teresa Crespo Toral, Laura Domínguez Valentín y Luis Cabezas Lefler, Geosites with educational interest. Potentiality of urban spaces for teaching Geology, Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2016 (24.2) – 195

Geo-Education: Essential preparation for an interconnected world.

<https://www.nationalgeographic.org/education/geo-education-essential-preparation-interconnected-world/>

Gilli, E. (2015). Karstologie - Karsts, grottes et sources. DUNOD Editeur, Paris, 2011, 256 p., Coll. « Sciences Sup ».

Gilli E., Mangan C., Mudry J., - 2012 - Hydrogeology : Objectives, Methods, Applications 320 Pages - Science Publishers - CRC (Taylor & Francis group) .

Ginés 1990 Utilización de las morfologías de lapiaz como Geoindicadores Ecológicos en la Sierra de Tramuntana (Mallorca).

Gomez-Cruz Arley de Jesús, Hermann D. Bermúdez, Francisco J. Vega (2014). A new species of *Diaulax* Bell, 1863 (Brachyura: Dialucidae) in the Early Cretaceous of the Rosablanca Formation, Colombia . Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 67, núm. 1, 2015, p. 103-112.

Gómez, P. J. A. (1977). Fotogeología de la zona Barbosa – Landazuri. Boletín de Geología, UIS, Vol.2, No. 25, pp. 99 – 106

Guerrero, J. 2002. A Proposal on the Classification of System Tracts: Application of Allostratigraphy and Sequence Stratigraphy of the Cretaceous Colombian Basin. Part 1: Berrisian to Hauterivian. Geologia Colombiana, 20: 325.

Guzmán G. (1985): Los grifeidos infracretácicos *Aetostreon couloni* y *Ceratostreon boussingaulti*, de la Formación Rosablanca, como indicadores de oscilaciones marinas. - INGEOMINAS, Publ. Esp. N. 16, XII, 16 p., 2 lam., 9 figs. Bogota.

HOSE, T. A. Geotourism – Selling the earth to Europe. En Marinos, K. e Stournaras, T. (Eds) Engineering geology end the Environment. Balkema, Rotterdam pp. 2955-2960. 1997.

- Hoyos Rodríguez M.A ; Muñoz Saba Y. Cavernas en Santander: Fauna y aprovechamiento estratégico, XI Congreso Colombiano de Geología 2007, Bucaramanga.
- Ian J. Fairchild, Andy Baker. *Speleothem Science: From Process to Past Environments*, First Edition. Ian J. Fairchild, Andy Baker. © 2012 Published 2012 by Blackwell Publishing Ltd.
- IGAC 1996. *Diccionario Geográfico de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 3ª ed., Tomo 4 Bogotá D.C., Colombia 2. 526p
- Ingeominas 1985. *Reseña explicativa del mapa geológico preliminar de la plancha 135 (San Gil) escala 1: 100.000 Bogotá 1985 República de Colombia Ministerio de Minas y Energía Instituto Colombiano de Geología y Minería.*
- Jiménez G. 2016. López O, Jaimes L, Umaña RM. Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías de basamento en el Valle Medio del Magdalena. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 40(155):312-319, abril-junio de 2016. 314-315 p.
- José Augusto Trejo Castro & Noris Marcano Navas, 2016. *Ecoturismo y Geoturismo: alternativas estratégicas para la promoción del turismo ambiental sustentable venezolano*
- Julivert M. 1958. *La Morfoestructura de la Zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S. A.). Boletín de Geología número 1. Universidad Industrial de Santander.* 6 p.
- Julivert, M.. *La Morfoestructura de la Zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). Boletín de Geología, [S.l.], v. 1, abr. 2014.*
- Kambesis, P., 2003, *Subterranean field studies in Lechuguilla Cave, New Mexico, South-Central Section (37th) and Southeastern Section (52nd): Geological Society of America Joint Annual Meeting, Abstract*

- Kambesis P. 2007– The importance of cave exploration to scientific research. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 69, no. 1, p. 46–58.
- Llopis Lladó N., 1970 – Fundamentos de la hidrogeología kárstica (Introducción a la geoespeleología).
- Lobo, H. Sallun Filho W., Vieira Verrisimo, C., Panisset Travassos L., Vaz de Figueiredo, L., Rasteiro , M. Espeleoturismo: oferta e demanda em crescente expansão e consolidação no Brasil. En Ministerio de Turismo de Brasil. Segmentación del turismo: experiencias, tendencias e innovaciones. 158 pp. 2010.
- Manosso, F. Potencial del geoturismo y la geodiversidad en la Serra do Cadeado, Paraná, Brasil. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. Volumen 21, pp. 322 – 338. 2012.
- Martinez – Rosas J.L. 2014, Geoeducación y Geocultura. Una aproximación a las articulaciones entre cultura, educación y globalización en el sistema mundo.
- Medellin, R. ; Wiederholt, R ; Hoffman, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological conservation* 211.
- Mendoza P., J.E. (1990): Geología y Comportamiento Geoquímico del Uranio en la Formación Giron, en 180 parte meridional del Anticlinal de Los Cobardes (Santander).- *Geol. Colombiana*, 17, pp.183-195, 5 figs., Bogota.
- Mendoza-Parada et. al, 2009. El Sistema Cárstico de la Formación Rosablanca Cretácico inferior, en la provincia santandereana de Vélez, Colombia. *Geología Colombiana revista Universidad Nacional de Colombia* p 1-44.
- Morales, J.L. 1958. General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG habitat of oil symposium*, pp. 641-695.

- Moreno & Sarmiento 2002, Diciembre, 2002 Estratigrafía Cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara -San Gil (Santander), Colombia. Geología Colombiana No. 27 p 50-62.
- Moreno-Murillo, J.M., Salazar L., Rodríguez-Orjuela, G., Mendoza-Parada, J.E. Reconocimiento Geoespeleológico de la provincia de Velez Santander, XI Congreso Colombiano de Geología 2007, Bucaramanga.
- Muñoz – Saba Yaneth et al 2013. Cavernas de Santander Guía de Campo. Serie de guías de campo del instituto de ciencias naturales, Universidad Nacional de Colombia No. 13
- N. Santangelo & P. Romano & A. Santo 2014, Geo-itineraries in the Cilento Vallo di Diano Geopark: A Tool for Tourism Development in Southern Italy
- Núñez Jimenez A. 1970. Cuevas y carsos. Editorial científica técnica. La Habana Cuba, 431 p.
- Okonkwo E.E., Ezekaka Afoma, Igwemadu Martha, Cave Tourism and its Implications to Tourism Development in Nigeria: A Case Study of Agu-Owuru Cave in Ezeagu.
- Parra, M., Mora, A., Sobel, E. R., Strecker, M. R., y González, R. 2009. Episodic orogenic-front migration in the northern Andes: constraints from low-temperature thermochronology in the Eastern Cordillera, Colombia: Tectonics, 28: 1-27
- Patarroyo P. 1997. Barremiano Inferior en la Base de la Formación Paja, Barichara, Santander - Colombia. Geología Colombiana No. 22, Octubre, 1997. 137 p.
- Paolo Forti 2011. Caves: The Most important geotouristic features in the world, The Third Global Geotourism Conference.
- Pennington D. Wayne 1981. Subduction of the Eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. 10 November 1981, IGR solid earth Volume 86, Issue B11 <https://doi.org/10.1029/JB086iB11p10753>

- Pimiento Rueda R. 2007, Geoespeleología en la caverna Don Juan (Alzacia) en el municipio de Zapatoca, Santander. XI Congreso Colombiano de Geología 2007, Bucaramanga.
- Ramos & Fernandez 2016, Geoconservación, Geoturismo y Espeleoturismo: Análisis de dos sistemas cavernarios en Argentina.
- Renzoni. G. y Ospina, C., 1969.- Geología del Cuadrángulo J-12. Informe 1546. Serv. Geol. Nal., Bogotá, 36 p.
- Royero, J., Clavijo, J., 2001. Memoria explicativa mapa geológico generalizado del departamento de Santander. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.
- Sanchez & Ortega 2015 , Perspectivas para el uso y aprovechamiento de cavidades naturales en la provincia del Napo, a partir de procesos educativos, investigativos y turísticos. Boletín Científico TENA.
- Serrano Cañadas, E. y Ruiz Flaño, P. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiernes Caracena (Soria). Boletín de la A.G.E. N.º 45. pp. 79-98. 2007.
- Taboada A. 1998, C. Dimaté y Fuenzalida A. Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción, Física de la Tierra 155N: 02144557 1998, 128p.
- Valdivieso Gonzalo & Zafra Diego 2018, Beneficios y problemáticas que puede generar un manejo público de un catastro espeleológico. Memorias: I Congreso Colombiano de Espeleología y VIII Congreso espeleológico de América Latina y el Caribe. 36-39p.
- Virginia Martinez-Pillado, Arantza Aranburur, Iñaki Yusta, Heather Stoll y Juan Luis Arsuaga., 2010. Clima y ocupaciones en la Galería de Estatuas (Atapuerca, Burgos) en los últimos 14.000 años: Relatos de una estalagmita.

- Ward, D. E., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz J., Restrepo, H., Gómez E. (1977). Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Escala 1: Ingeominas.
- Zafra-Otero Diego, Barajas Daniel, Gelvez Jorge, Guzmán Juan Diego 2018. Modelo de geoconservación y geoturismo de la Caverna del Nitro (Zapatoca, Santander). II Simposio Internacional del Karst.
- Zafra-Otero Diego, Gelvez Jorge, Rios-Reyes Carlos A. 2018. Importancia del estudio de cavernas: Geoespeleología y potencial kárstico en Santander. Poster Research Day U18 Ideas para transformar el mundo. DOI: 10.13140/RG.2.2.32649.70249.
- Zafra-Otero Diego, Ríos Reyes C. A., Archila Mendoza A., Barajas Rangel D., González M. 2018. Geoespeleología y georuta subterránea de La Caverna del Nitro (Zapatoca, Santander). Memorias: I Congreso Colombiano de Espeleología y VIII Congreso espeleológico de América Latina y el Caribe. 109-114 p.
- Zafra-Otero Diego, Rodríguez K., Gelvez, J., Guzmán J., Ríos-Reyes Carlos A. 2018. Caracterización de los periodos del ciclo kárstico de la Caverna de las Alsacias (Don Juan) con fines de geoconservación a partir de geoeducación en el municipio de Zapatoca, Santander. Memorias: I Congreso Colombiano de Espeleología y VIII Congreso espeleológico de América Latina y el Caribe. 65-69 p.

## Apéndices

**Apéndice A:** Tabla 1 Valoración de criterios Las Alsacias.

|                                                                    |   |
|--------------------------------------------------------------------|---|
| Representatividad                                                  | 4 |
| Características de localidad tipo                                  | 1 |
| Grado de conocimiento científico del lugar                         | 1 |
| Estado de conservación                                             | 4 |
| Condiciones de observación                                         | 4 |
| Rareza                                                             | 1 |
| Diversidad geológica                                               | 4 |
| Contenido didáctico / uso didáctico 0                              | 2 |
| Infraestructura logística                                          | 4 |
| Densidad de población                                              | 1 |
| Accesibilidad                                                      | 1 |
| Espectacularidad o belleza                                         | 4 |
| Tamaño del geotopo                                                 | 4 |
| Fragilidad del geotopo                                             | 2 |
| Uso tradicional                                                    | 0 |
| Simbolismo                                                         | 1 |
| Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural | 4 |
| Contenido divulgativo / uso divulgativo                            | 4 |
| Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas   | 4 |
| Entorno socioeconómico                                             | 1 |
| Proximidad a zonas recreativas                                     | 2 |

**Apéndice B:** *Tabla 2 Resultados valoración Alsacias*

| <b>Parámetros y valor</b>                                          | <b>Científico</b> | <b>Didáctico</b> | <b>Turístico</b> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Representatividad                                                  | 120               | 20               | 0                |
| Características de localidad tipo                                  | 10                | 5                | 0                |
| Grado de conocimiento científico del lugar                         | 15                | 0                | 0                |
| Estado de conservación                                             | 40                | 20               | 0                |
| Condiciones de observación                                         | 40                | 20               | 20               |
| Rareza                                                             | 15                | 5                | 0                |
| Diversidad geológica                                               | 40                | 40               | 0                |
| Contenido didáctico / uso didáctico 0                              | 0                 | 40               | 0                |
| Infraestructura logística                                          | 0                 | 60               | 20               |
| Densidad de población                                              | 0                 | 5                | 5                |
| Accesibilidad                                                      | 0                 | 15               | 10               |
| Espectacularidad o belleza                                         | 0                 | 20               | 60               |
| Tamaño del geotopo                                                 | 0                 | 20               | 20               |
| Fragilidad del geotopo                                             | 0                 | 0                | 20               |
| Uso tradicional                                                    | 0                 | 0                | 0                |
| Simbolismo                                                         | 0                 | 0                | 10               |
| Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural | 0                 | 0                | 20               |
| Contenido divulgativo / uso divulgativo                            | 0                 | 0                | 40               |
| Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas   | 0                 | 0                | 20               |
| Entorno socioeconómico                                             | 0                 | 0                | 5                |
| Proximidad a zonas recreativas                                     | 0                 | 0                | 10               |
| Suma                                                               | 280               | 270              | 260              |
| Valores sobre 10                                                   | 7                 | 6,75             | 6,5              |
| Patrimonio                                                         | Alto              | Alto             | Alto             |

**Apéndice C:** *Tabla 3 Parámetros de valoración El Nitro*

|                                                                    |   |
|--------------------------------------------------------------------|---|
| Representatividad                                                  | 1 |
| Características de localidad tipo                                  | 1 |
| Grado de conocimiento científico del lugar                         | 1 |
| Estado de conservación                                             | 1 |
| Condiciones de observación                                         | 1 |
| Rareza                                                             | 1 |
| Diversidad geológica                                               | 4 |
| Contenido didáctico / uso didáctico 0                              | 4 |
| Infraestructura logística                                          | 4 |
| Densidad de población                                              | 1 |
| Accesibilidad                                                      | 1 |
| Espectacularidad o belleza                                         | 1 |
| Tamaño del geotopo                                                 | 4 |
| Fragilidad del geotopo                                             | 2 |
| Uso tradicional                                                    | 4 |
| Simbolismo                                                         | 2 |
| Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural | 4 |
| Contenido divulgativo / uso divulgativo                            | 4 |
| Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas   | 4 |
| Entorno socioeconómico                                             | 1 |
| Proximidad a zonas recreativas                                     | 2 |

**Apéndice D:** *Tabla 4 Resultados Valoración El nitro*

| <b>Parámetros y valor</b>                                          | <b>Científico</b> | <b>Didáctico</b> | <b>Turístico</b> |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| Representatividad                                                  | 30                | 5                | 0                |
| Características de localidad tipo                                  | 10                | 5                | 0                |
| Grado de conocimiento científico del lugar                         | 15                | 0                | 0                |
| Estado de conservación                                             | 10                | 5                | 0                |
| Condiciones de observación                                         | 10                | 5                | 5                |
| Rareza                                                             | 15                | 5                | 0                |
| Diversidad geológica                                               | 40                | 40               | 0                |
| Contenido didáctico / uso didáctico 0                              | 0                 | 80               | 0                |
| Infraestructura logística                                          | 0                 | 60               | 20               |
| Densidad de población                                              | 0                 | 5                | 5                |
| Accesibilidad                                                      | 0                 | 15               | 10               |
| Espectacularidad o belleza                                         | 0                 | 5                | 15               |
| Tamaño del geotopo                                                 | 0                 | 20               | 20               |
| Fragilidad del geotopo                                             | 0                 | 0                | 20               |
| Uso tradicional                                                    | 0                 | 0                | 40               |
| Simbolismo                                                         | 0                 | 0                | 20               |
| Asociación con otros elementos del patrimonio natural y/o cultural | 0                 | 0                | 40               |
| Contenido divulgativo / uso divulgativo                            | 0                 | 0                | 40               |
| Potencialidad para realizar actividades turísticas y recreativas   | 0                 | 0                | 20               |
| Entorno socioeconómico                                             | 0                 | 0                | 5                |
| Proximidad a zonas recreativas                                     | 0                 | 0                | 10               |
| Suma                                                               | 130               | 250              | 270              |
| Valores sobre 10                                                   | 3,25              | 6,25             | 6,75             |
| Resultados                                                         | Medio             | Medio            | Alto             |