

**CARTOGRAFÍA GEMORFOLÓGICA, CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN
ENTRE LOS AMBIENTES KÁRSTICOS DE LOS CAÑONES DEL RÍO
ALICANTE Y DEL RÍO NUS**

JORGE EDUARDO MONROY SUÁREZ
KAROLINE YESENIA RODRIGUEZ MOLANO

Proyecto de grado

Asesor

Marco Fidel Gamboa Ramírez

Ing. Geólogo

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
GEOLOGÍA
MEDELLÍN
2019

CONTENIDO

| | |
|---------------------------------------|----|
| RESUMEN..... | 10 |
| ABSTRACT | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| 2. PROBLEMA | 17 |
| 2.1. HIPÓTESIS..... | 17 |
| 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 17 |
| 2.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 17 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 18 |
| 4. OBJETIVOS | 19 |
| 4.1. OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 5. GENERALIDADES..... | 20 |
| 5.1. CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE | 20 |
| 5.1.1. Localización..... | 21 |
| 5.1.2. Clima | 21 |
| 5.1.3. Hidrología | 22 |
| 5.2. CAÑÓN DEL RÍO NUS..... | 23 |
| 5.2.1. Localización..... | 24 |
| 5.2.2. Clima | 24 |
| 5.2.3. Hidrografía | 25 |
| 6. MARCO TEÓRICO | 26 |
| 6.1. ENFOQUES GEOMORFOLÓGICOS | 26 |

| | |
|---|-----|
| 6.2. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN JERARQUIZADA | 28 |
| 6.2.1. Jerarquización geomorfológica | 28 |
| 6.2.2. Ambientes morfogenéticos | 30 |
| 6.2.3. Geoformas asociadas al Ambiente Kárstico | 33 |
| 6.2.4. Cuevas clasificadas según el tipo de flujo | 37 |
| 6.2.5. Estudios anteriores | 37 |
| 7. METODOLOGÍA | 39 |
| 8. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL | 43 |
| 8.1. GEOLOGÍA REGIONAL | 44 |
| 8.2. ASPECTOS GENERALES DE LA TECTÓNICA | 48 |
| 9. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL | 51 |
| 10. GEOLOGÍA LOCAL CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE Y DEL RÍO NUS. | 58 |
| | 60 |
| 11. GEOMORFOLOGÍA LOCAL | 63 |
| 11.1. CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE | 63 |
| 11.1.2.1. Formaciones exokársticas | 68 |
| 11.1.2.2. Elementos endokársticos | 84 |
| 11.2. CAÑÓN DEL RÍO NUS | 90 |
| 11.2.2.1. Formaciones exokársticas | 94 |
| 11.2.2.2. Elementos endokársticos | 106 |
| 12. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE Y DEL RÍO NUS. | 115 |
| DISCUSIÓN | 120 |
| CONCLUSIONES | 131 |

RECOMENDACIONES..... 134
REFERENCIAS 135

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localización del Cañón del río Alicante, Municipio de Maceo... | 20 |
| Figura 2. Mapa de localización del Cañón del río Nus, Municipio de Caracolí. | 23 |
| Figura 3. Esquema de Jerarquización Geomorfológica (Velásquez, 2014). | 28 |
| Figura 4. Unidades kársticas (Fernández, 2011). | 36 |
| Figura 5. Croquis de la Caverna del Nus (Feininger y Gomez, 1968)..... | 39 |
| Figura 6. Mapa geológico regional (Feininger et al, 1970)..... | 44 |
| Figura 7. Mapa geomorfológico regional tomado de las planchas geomorfológicas 132 y 148 del Servicio Geológico Colombiano. | 52 |
| Figura 8. Unidades de Relieve de la Jurisdicción de Corantioquia. Tomado de Corantioquia, 2002..... | 56 |
| Figura 9. a) Afloramiento de mármol sobre la quebrada Guardasol al SW de la zona, erosión lateral por la corriente de agua. b) Afloramiento de mármol camino hacia la caverna del Nus..... | 58 |
| Figura 10. Afloramiento de cuarcita sobre pequeña quebrada al norte de la vereda Santa Barbara..... | 59 |
| Figura 11. Afloramiento de dioritas, sobre la quebrada Alejandría. | 60 |
| Figura 12. a) Muestra de neis feldespático (nf) tomada al W del cañón del río Nus. b) Muestra de neis feldespático (Pen) al E del cañón del río Alicante. | 60 |
| Figura 13. Mapa geológico, Cañón del río Alicante. | 61 |
| Figura 14. Mapa geológico, Cañón del río Nus..... | 62 |
| Figura 15. Tomado de Desktop.arcgis.com., 2008. | 64 |
| Figura 16. a) Mapa de aspecto del Cañón del río Alicante, representa la pendiente y sus respectivos grados con tonos distintos. b) Mapa de curvatura del Cañón del río Alicante, representa las zonas cóncavas, convexas y planas. | 65 |
| Figura 17. Mapa de pendientes del Cañón del río Alicante, representa la pendiente en grados..... | 66 |
| Figura 18. Mapa geomorfológico escala 1:10.000, Cañón del río Alicante, municipio de Maceo. | 67 |

| | |
|---|----|
| Figura 19. Cauce aluvial, quebrada Alejandría al SE de la zona. | 69 |
| Figura 20. Perfil transversal de plano o llanura de inundación. | 69 |
| Figura 21. Perfil transversal de terraza de erosión, quebrada Guardasol señalada en azul. | 70 |
| Figura 22. Plano encañonado por kárstificación, ubicado en la parte centro-norte de la zona de estudio. Imagen tomada de Google Earth. | 71 |
| Figura 23. Cima kárstica al NE de la zona. | 72 |
| Figura 24. Perfil transversal de cima kárstica. | 73 |
| Figura 25. Dolinas orientadas localizadas al NE de la zona. Imagen tomada de Google Earth. | 74 |
| Figura 26. Perfil transversal de dolina. | 74 |
| Figura 27. Dolinas no orientadas localizadas al S de la zona. Imagen tomada de Google Earth. | 75 |
| Figura 28. Perfil transversal de escarpe kárstico. | 76 |
| Figura 29. Ladera kárstica al SE de la zona. | 76 |
| Figura 30. Perfil transversal de ladera kárstica. | 77 |
| Figura 31. Ladera ondulada kárstica al S de la zona. | 78 |
| Figura 32. Perfil transversal de ladera ondulada kárstica. | 78 |
| Figura 33. Lomo de karstificación al E de la zona. | 79 |
| Figura 34. Perfil transversal de lomo de karstificación. | 80 |
| Figura 35. Lomos orientados al SW-NE resaltados en rojo y lomos aleatorios resaltados en azul. Imagen tomada de Google Earth. | 80 |
| Figura 36. Planicie kárstica al SE de la zona. | 81 |
| Figura 37. Uvala al NW de la zona. | 82 |
| Figura 38. a) Uvalas orientadas al SW-NE, al NW de la zona. b) Uvalas al S de la zona. Imágenes tomadas de Google Earth. | 82 |
| Figura 39. Uvala y dolina situada a menos de 100 metros, al S de la zona. Imagen tomada de Google Earth. | 83 |
| Figura 40. a) Salón V. b) Pasillo angosto y extenso que interconecta el fondo de la caverna con el salón VII. | 85 |

| | |
|--|-----|
| Figura 41. Piedra de flujo en la pared del gran pasillo que interconecta el fondo de la caverna con el salón VI. | 86 |
| Figura 42. Salón VII, rico en ornamentación. | 87 |
| Figura 43. Estalagmita más grande de la caverna, salón II..... | 87 |
| Figura 44. a) Columna más grande de la caverna, Salón I. b) Columnas de pequeñas dimensiones desarrolladas en las paredes de los pasillos entre los salones VII y VIII. | 88 |
| Figura 45. Croquis de la caverna Guardasol levantada con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al VIII. | 89 |
| Figura 46. a) Mapa de aspecto del Cañón del río Nus, representa la pendiente y sus respectivos grados con tonos distintos. b) Mapa de curvatura del Cañón del río Alicante, representa las zonas cóncavas, convexas y planas. | 91 |
| Figura 47. Mapa de pendientes del Cañón del río Nus, representa la pendiente en grados. | 92 |
| Figura 48. Mapa geomorfológico escala 1:10.000, Cañón del río Nus, municipio de Caracolí. | 93 |
| Figura 49. Cauce aluvial, río Samaná..... | 95 |
| Figura 50. Perfil transversal de cauce aluvial. | 95 |
| Figura 51. Encañonamiento del río Samaná..... | 96 |
| Figura 52. Perfil transversal de plano encañonado por kárstificación, río Samaná, señalado en azul..... | 97 |
| Figura 53. Cima kárstica al S de la zona. | 98 |
| Figura 54. Dolina en cubeta de pequeñas dimensiones al N de la zona. | 99 |
| Figura 55. Escarpe kárstico al SW de la zona. | 100 |
| Figura 56. Perfil transversal de escarpe kárstico. | 100 |
| Figura 57. Ladera kárstica al S de la zona..... | 101 |
| Figura 58. Perfil transversal de ladera kárstica. | 101 |
| Figura 59. Ladera ondulada kárstica al S de la zona | 102 |
| Figura 60. Perfil transversal de ladera ondulada kárstica. | 102 |
| Figura 61. Lomo de karstificación bordeado por el río Samaná..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| Figura 62. Perfil transversal de lomo de karstificación..... | 103 |
| Figura 63. Uvalas al N de la zona. Imagen tomada de Google Earth. | 104 |
| Figura 64. Perfil transversal de uvala..... | 105 |
| Figura 65. Uvala y dolinas situada a menos de 100 metros, al N de la zona. Imagen tomada de Google Earth. | 105 |
| Figura 66. Piedra de flujo, salón VII. | 108 |
| Figura 67. Estalactitas, salón VI..... | 109 |
| Figura 68. Estalagmita de grandes dimensiones, salón V. | 110 |
| Figura 69. a) Columna de pequeñas dimensiones, salón VI. b) Columna de grandes dimensiones, salón V. | 111 |
| Figura 70. Unión de varias estalactitas formando cortinas con puntas destruidas, salón V..... | 112 |
| Figura 71. a) Bloques de piso en el salón V. b) Estalagmita inclinada en salón I. | 113 |
| Figura 72. Croquis de la caverna del Nus levantado con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al IX..... | 114 |
| Figura 73. Perfil regional W-E de la parte norte del área de estudio, que abarca el Cañón del río Alicante..... | 121 |
| Figura 74. Perfil regional W-E de la parte sur del área de estudio, que abarca el Cañón del río Nus. | 121 |
| Figura 75. Mapas geomorfológicos a escala 1:10.000 de los cañones del río Alicante y del río Nus. | 122 |
| Figura 76. a) Ambiente kárstico cañón del río Alicante. b) Ambiente kárstico cañón del río Nus..... | 122 |
| Figura 77. Comparación del tamaño de las columnas entre las cavernas caracterizadas. a) Caverna Guardasol. b) Caverna del Nus..... | 127 |
| Figura 78. a) Croquis de la caverna Guardasol levantado con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al VIII. b) Croquis de la caverna del Nus levantado con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al IX..... | 128 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|--|
| Tabla 1. Código de colores para los ambientes geomorfológicos según el SGC. .32 | |
| Tabla 2. Rangos usados en la reclasificación de la variable Pendiente para el cañón del río Alicante.66 | |
| Tabla 3. Rangos usados en la reclasificación de la variable Pendiente del cañón del río Nus.92 | |
| Tabla 4. Comparación exokárstica entre los cañones del río Alicante y del río Nus.124 | |
| Tabla 5. Comparación endokárstica entre las cavernas Guardasol y Nus.....129 | |

RESUMEN

El objetivo de la cartografía geomorfológica es identificar, delimitar y describir las formas del relieve, asociadas en este documento al ambiente kárstico. Esta información es la principal herramienta para estudios ambientales, geomorfológicos y de los recursos naturales. La información que se obtiene sirve como base para casos específicos tanto de evolución del relieve e investigaciones geológicas detalladas, como conocimientos de los procesos erosivos, aptitud del uso del suelo y planeación de organización territorial. Este documento presenta la cartografía geomorfológica a escala 1:10.000 y la caracterización de los principales elementos endokársticos de los paisajes kársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus, los cuales se encuentran dentro de los municipios de Maceo y Caracolí respectivamente. La metodología utilizada en este trabajo tiene como base las propuestas metodológicas del ITC y del SGC, para ello se realizaron las siguientes actividades: búsqueda de información bibliográfica, fotointerpretación, análisis de la morfometría a partir de la cartografía base y reconocimiento del terreno, el análisis, procesamiento e integración de la información y resultados.

En las áreas de estudio, se identificaron tres ambientes morfogenéticos responsables del modelado de las geoformas cartografiadas, el primero de ellos es el exógeno denudativo kárstico, donde predominan los efectos de los procesos de meteorización química y erosión en superficie; el segundo es el denudativo fluvio-kárstico, relacionado a la dinámica de los ríos y sus procesos de erosión en las rocas solubles; y el tercero es el exógeno estructural kárstico, donde las características morfológicas del terreno están relacionadas a los procesos endógenos terrestres. Para el Cañón del río Alicante se identificaron tres unidades para el ambiente exógeno denudativo fluvio-kárstico, una para el ambiente exógeno estructural kárstico y ocho para el ambiente exógeno denudativo kárstico, con un total de doce unidades geomorfológicas y para el Cañón del río Nus, una unidad para el ambiente exógeno denudativo fluvio-kárstico, una para el ambiente exógeno

estructural kárstico y ocho para el ambiente exógeno denudativo kárstico, con un total de diez unidades geomorfológicas.

Las diferentes unidades geomorfológicas identificadas son descritas detalladamente a continuación, al igual que los elementos endokársticos caracterizados en las cavernas estudiadas, también se propone una evolución geomorfológica y se realiza una comparación entre estos paisajes en donde se ponen en evidencia sus diferencias y similitudes tanto endokársticas como exokársticas.

Palabras claves: Cartografía geomorfológica, Cañón del río Alicante, Cañón del río Nus, ambientes morfogenéticos, endokársticas, exokársticas.

ABSTRACT

The objective of geomorphological mapping is to identify, delimit and describe the relief shapes associated in this document with the karst environment. This information is the main tool for environmental, geomorphological and natural resource studies. The information obtained serves as the basis for specific cases of both relief evolution and detailed geological research, as well as knowledge of erosive processes, land use suitability and territorial organization planning. This document presents the geomorphological mapping at 1:10.000 scale and the characterization of the main endokarstic elements of the karst landscapes of the Alicante river and the Nus river canyons, which are within the municipalities of Maceo and Caracolí respectively. The methodology used in this work is based on the methodological proposals of the ITC and the SGC, for this purpose the following activities were carried out: search for bibliographic information, photointerpretation, analysis of morphometry from base mapping and land recognition, analysis, processing and integration of information and results.

In the areas of study, three morphogenetic environments responsible for modeling the mapping geoforms were identified, the first of which is the karst denudative exogenous, where the effects of chemical weathering and erosion processes predominate on surface; the second is the denudative flow-karstic, related to the dynamics of rivers and their processes of erosion in soluble rocks; and the third is the karst structural exogenous, where the morphological characteristics of the terrain are related to terrestrial endogenous processes. For the Alicante river Canyon, three units were identified for the fluvio-karstic denudative exogenous environment, one for the karst structural exogenous environment and eight for the karst denudative exogenous environment, with a total of twelve geomorphological units and for the Nus river Canyon, a unit for the fluvio-karstic denudative exogenous environment, one for the karst structural exogenous environment and eight for the karst denudative exogenous environment, with a total of ten geomorphological units.

The different geomorphological units identified are described in detail below, as well as the endokarstic elements characterized in the caverns studied, also a geomorphological evolution is proposed, and a comparison is made between these landscapes where their differences and similarities are revealed both endokarstic and exokarstic.

Keywords: Geomorphological mapping, Alicante river Canyon, Nus river Canyon, morphogenetic environments, endokarstics, exokarstics.

1. INTRODUCCIÓN

El karst es un tipo de relieve que se da como resultado de procesos naturales como la disolución química y la erosión producto del agua en rocas solubles como son las calizas, yeso, dolomitas, halita, mármoles, entre otras. Su evolución y expresiones morfológicas dependen de las interacciones entre roca-agua, condiciones climáticas, topografía y la acción biológica. En estas superficies, el relieve se caracteriza por sus formas superficiales denominadas exokársticas, la cual presenta variedad de formas positivas como las lomas y montañas kársticas con tamaños que van desde estructuras milimétricas hasta los poljes de grandes extensiones y negativas como las depresiones tipo dolina y uvala, y formas subterráneas denominadas endokársticas como son las cavernas, galerías y salas (Kueny y Day, 2002).

Estas rocas presentan un recurso económico de alta importancia, ya que tienen usos en la industria de la construcción, los fertilizantes, la veterinaria, productos farmacéuticos y muchos más (Rincón y Otero, 2018), y aunque normalmente se hablan de riesgos naturales, más concretamente a accidentes geológicos, se tienden a ignorar los peligros relacionados a los terrenos calcáreos, los cuales son productos de las características morfológicas y la rápida disolución que ocurre en estas rocas cuando entran en contacto con el agua y generan un alto potencial de riesgo, ya que aumenta la inestabilidad de los suelos produciendo hundimiento o colapsos, entre otras problemáticas que, en ocasiones, se ven influenciadas por la actividad humana. Según Elorza (2014) las áreas de hundimiento se anegan afectando negativamente en la producción agrícola, así como en la infraestructura urbana y las carreteras, por lo cual se hace indispensable la elaboración de mapas que sean de utilidad para prever estas situaciones y así mismo aprovechar los beneficios que traen estos ambientes.

Debido a lo anterior, los mapas geomorfológicos son fuente de información cartográfica básica para los estudios de recursos naturales y ambientales, además

presentan una dimensión de aplicabilidad para solucionar problemas específicos (Verstappen, 1983), tales como la atenuación y el control de los procesos de erosión, la determinación de la aptitud del uso del suelo, la planeación del crecimiento de las áreas urbanas, entre otras (Tapia y López, 2001). Estos mapas se representan mediante colores y símbolos de relieve en un área específica, representando contenidos morfométricos, morfográficos, morfogenéticos y morfocronológicos. Una de las metodologías que implementa estos aspectos para la realización de mapas geomorfológicos es la del Instituto Internacional para Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC).

Uno de los lugares donde ha sido utilizada la metodología del ITC es en el Parque Nacional de Lagunas de Montebello, al sureste de México, con el fin de generar una cartografía geomorfológica que sirva como información geoespacial base para futuros trabajos de investigación sobre la calidad del agua en el parque. Esta metodología hace énfasis en el análisis geomorfogenético, que incluye aspectos como la estructura geológica del área cartografiada, la morfología, morfometría, geomorfocronología y la morfodinámica (Carvajal, 2012). Esta metodología consiste en: (1) información bibliográfica y reconocimiento del terreno, (2) análisis, procesamiento e integración de la información, y (3) resultados.

En Colombia existen muchos trabajos sobre geomorfología y procesos morfodinámicos desde varios enfoques, resaltando los aportes del ITC, en combinación con varias entidades nacionales, incluyendo el antiguo Instituto Colombiano de hidrología, meteorología y adecuación de tierras (HIMAT) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (Robertson et al., 2013), también se destaca la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC) que retoma los planteamientos de Carvajal (2007) y los sistemas del CIAF y del ITC de Holanda con algunas modificaciones. Además, los avances tecnológicos en los sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS) e imágenes satelitales de alta resolución en el país, permiten la elaboración de mapas

de las geoformas kársticas de manera semiautomatizada (Fragroso et al., 2014), sin embargo, se debe hacer un estudio complementario de trabajo de campo.

En Antioquia las principales áreas donde afloran mármoles se encuentran en Puente Linda-río Samaná, Narices, Puerto Nare, río Claro y río Alicante-Caño Regla. Los mármoles se extienden hacia el sur, hasta el departamento de Caldas (González, 1993), donde aportan una topografía característica de colinas, con la cima redondeada y laderas de alta pendiente, en varias de estas colinas se encuentran cavernas de gran magnitud originadas por disolución y otras por socavamiento de quebradas y ríos, llegando a generar formas características, como en los ríos Claro, Nus y Alicante.

Desde el punto de vista geomorfológico, los ambientes kársticos del Cañón del río Alicante y del río Nus no han recibido una caracterización adecuada, por este motivo, el objetivo de este trabajo es caracterizar, comparar y obtener los mapas geomorfológicos a escala 1:10.000 correspondientes a cada zona y, de esta manera, definir las similitudes y diferencias entre dos paisajes kársticos. Para ello se integrarán los métodos del ITC y del SGC, junto con el modelo digital de elevaciones (DEM), sistemas de información geográfica (SIG) y de posicionamiento global (GPS) e imágenes de alta resolución.

Por lo anterior, el presente proyecto permitirá un mayor detalle en la delimitación cartográfica geomorfológica y dará a conocer más acerca de la evolución geomorfológica de los ambientes kársticos, y por lo tanto servirá como información base para futuros trabajos de geología ambiental en las zonas estudiadas.

2. PROBLEMA

2.1. HIPÓTESIS

Es posible, por medio del criterio geomorfológico, determinar cuáles son las diferencias entre los ambientes exokársticos y endokársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Generalmente, cuando se habla acerca de paisajes kársticos, se tiende a generalizar todo tipo de cavernas formadas por disolución, pero estos ambientes tienen características muy diversas, tanto exokársticas como endokársticas, que permiten diferenciarlos y clasificarlos de diferentes maneras. Por lo tanto, la homogenización de este tipo de paisajes impide dar un manejo adecuado para un aprovechamiento geopotencial y la toma de mejores decisiones.

2.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las diferencias geomorfológicas entre los ambientes exokársticos y endokársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus?

3. JUSTIFICACIÓN

Dos de los principales lugares donde afloran mármoles en Antioquia son en los cañones del río Alicante y del río Nus. Estos cañones se encuentran ubicados en el oriente antioqueño, en los municipios de Maceo y Caracolí, respectivamente.

En la actualidad no existe información geomorfológica en las zonas de estudio, por lo tanto, es necesario realizar una caracterización geomorfológica allí, que permita identificar las unidades exokársticas y endokársticas. Esta información permitirá conocer la evolución geomorfológica y el comportamiento de los ambientes kársticos, asimismo, servirá como información base para futuros trabajos de geología ambiental.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo es realizar la comparación entre los ambientes exokársticos y endokársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus a partir del criterio geomorfológico.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generar un mapa geomorfológico a escala 1:10.000 de los ambientes kársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus.
- Realizar la caracterización geomorfológica de las formaciones exokársticas y endokársticas para los cañones del río Alicante y del río Nus.
- Elaborar la interpretación de la evolución geomorfológica de las áreas de estudio.
- Realizar una comparación geomorfológica entre el Cañón del río Alicante y el Cañón del río Nus, con el fin de reconocer sus diferencias y similitudes.
- Formular recomendaciones sobre el manejo de estos ambientes kársticos.

5. GENERALIDADES

A continuación, se describen las principales generalidades de cada una de las zonas de estudio: localización, clima e hidrología.

5.1. CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE

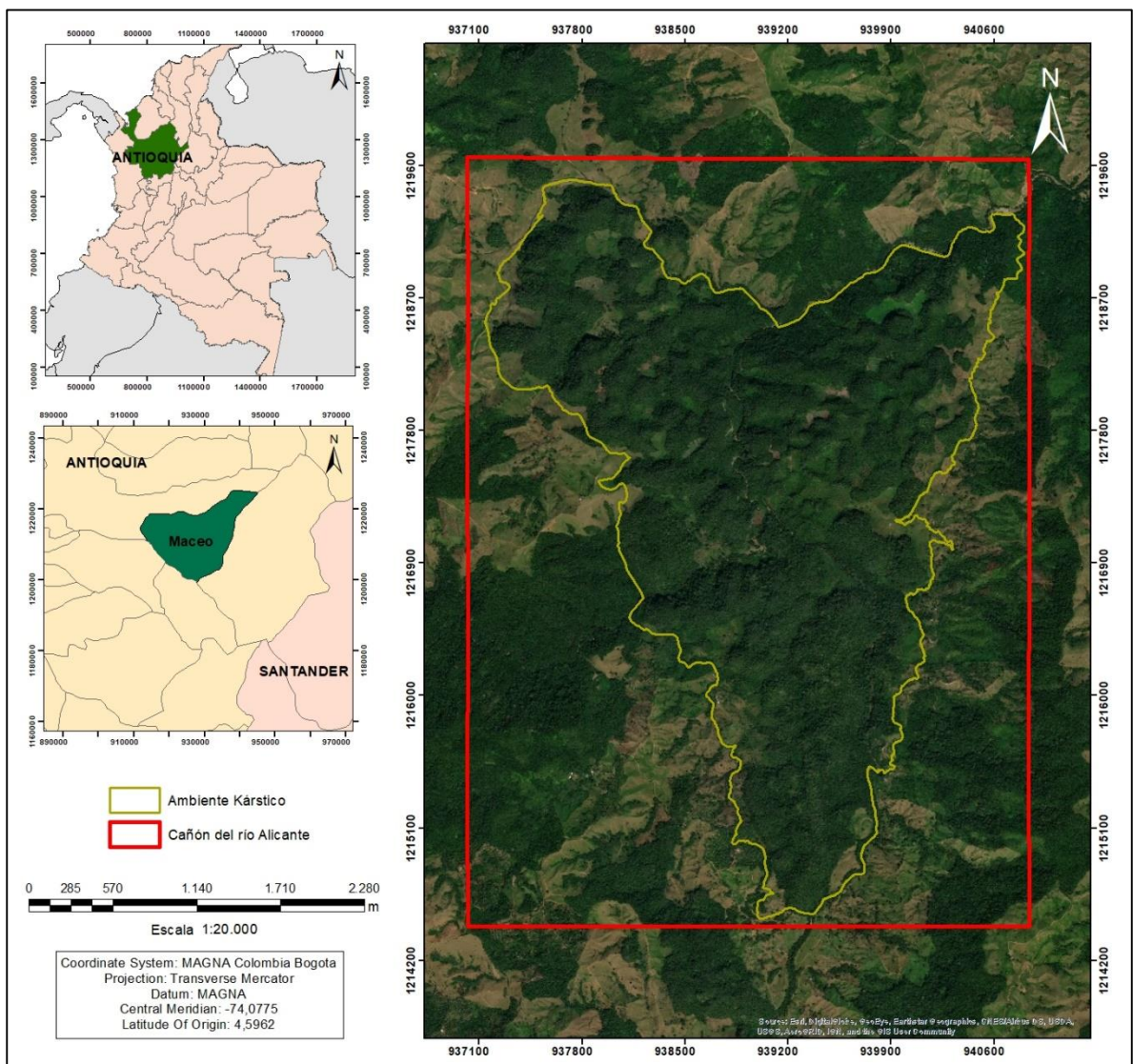


Figura 1. Mapa de localización del Cañón del río Alicante, Municipio de Maceo.

5.1.1. Localización

El área de estudio está situada entre los corregimientos La Floresta y La Susana, específicamente en los alrededores de la vereda Santa Barbara, en el municipio de Maceo, Antioquia, en la subregión del Magdalena Medio sobre la vertiente oriental de la Cordillera Central, a 134 Km de Medellín; con una altitud media de 950 msnm. Limita al norte con el municipio de Yolombó, al este con el municipio de Puerto Berrío, al sur con el municipio de Caracolí y al oeste con los municipios de San Roque y Yolombó. Está dividido en 3 corregimientos, La Susana, La Floresta y Puerto Nus, ubicados al norte, sur y oeste respectivamente, de la cabecera municipal. El área total de la cobertura de la plancha es de 21,7 km².

De acuerdo con la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la zona se encuentra ubicada entre las planchas 132-IV-B-2, 132-IV-B-4, 133-III-A-1 y 111-III-A-3 a escala 1:10.000.

El principal ordenador territorial lo constituye la Troncal de La Paz, que une las regiones del Magdalena Medio, Bajo Cauca y noreste antioqueño, a la cual confluyen los sistemas viales secundarios y terciarios, articulándose a través de esta al sistema vial nacional por la autopista Medellín – Segovia, la Troncal Occidental en Caucasia y Cáceres, y la carretera Medellín - Cisneros - Puerto Berrío, siendo esta última la vía más importante de comunicación, a una distancia de 136 kilómetros de la capital del departamento.

5.1.2. Clima

La zona de estudio está distribuida en tres pisos térmicos: zona con alta temperatura, promedio de 28°C, zona con baja temperatura, promedio de 16°C a 18°C, y zona templada con una temperatura promedio de 20°C a 24°C, en esta última se ubica la mayor parte de la población.

Según el sistema de clasificación ecológica de Holdridge por zonas de vida, al área de estudio le corresponde la formación vegetal bosque seco Tropical (bs-T), con

límites climáticos generales, una biotemperatura promedio de 23° y un promedio anual de lluvia de 2.701 mm/año.

5.1.3. Hidrología

El municipio de Maceo, por sus condiciones topográficas, de relieve escarpado, rodeado por pequeñas colinas, donde son frecuentes las hondonadas y organales, es un municipio muy rico en aguas superficiales. Posee dos fuentes colectoras de agua conformadas por el río Alicante y el río Nus, ambos localizados sobre la cuenca del río Magdalena. El territorio se puede considerar como una vasta zona del recurso hídrico, debido a que cuenta con numerosos ríos y quebradas, destacándose entre ellos: los ríos Nus, Cupiná, Alicante y Monos, y las quebradas Alejandría, Las Torres, La Manada, Mulatos, San Nicolás, La Mariela, Guardasol y Las Violetas.

5.2. CAÑÓN DEL RIO NUS

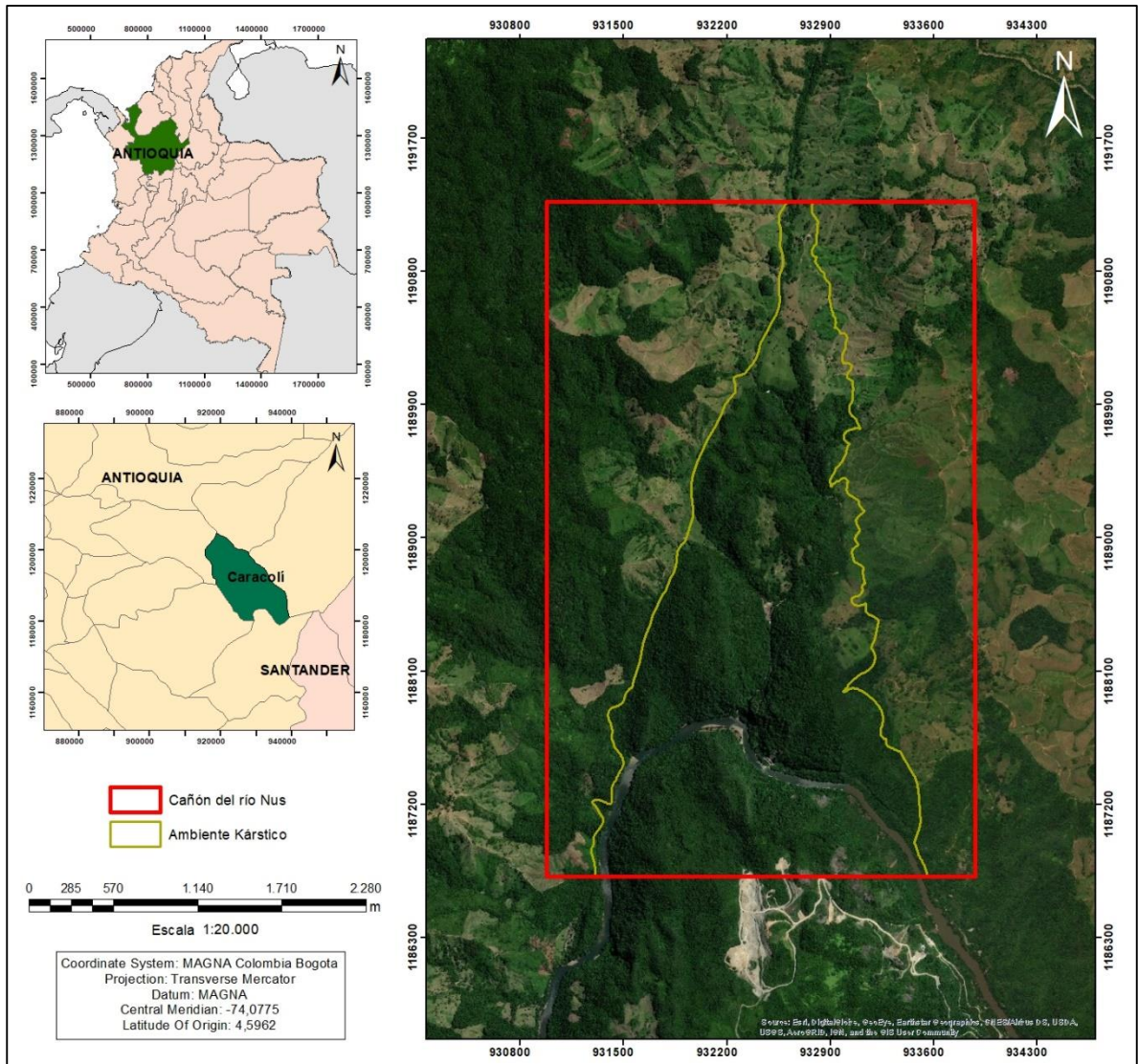


Figura 2. Mapa de localización del Cañón del río Nus, Municipio de Caracolí.

5.2.1. Localización

El área de estudio está situada entre las veredas de La Mesa y Cominales, las cuales hacen parte de Caracolí, Antioquia, en la subregión del Magdalena Medio sobre la vertiente oriental de la Cordillera Central, en la ramificación delimitada por los ríos Nare y Nus, a 146 Km de Medellín; con una altitud media de 625 msnm. Limita al norte con los municipios de Maceo y Puerto Berrío, al este con el municipio de Puerto Berrío, al sur con los municipios de Puerto Nare y San Carlos, y al oeste con el municipio de San Roque. Su división política – administrativa se compone de la cabecera urbana y de 15 veredas.

De acuerdo con la nomenclatura del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) la zona se encuentra ubicada entre las planchas 148IIB3, 1148IIB4, 148IID1 y 148IID2 a escala 1:10.000.

Por su ubicación estratégica, la región del Magdalena Medio se desarrolló históricamente como centro de confluencia de flujos de transporte; en principio el río Samaná se desempeñó como vía de comunicación con los puertos para el comercio de importación y exportación. Actualmente, la comunicación vial entre los municipios es a través de la carretera Medellín - Cisneros - Puerto Berrío, y por la Troncal de La Paz que une Puerto Triunfo y Puerto Berrío. Asimismo, continúa la comunicación fluvial entre estos dos municipios.

5.2.2. Clima

La zona de estudio está ubicada en el piso térmico cálido del territorio con una temperatura promedio de 26°C y una temperatura máxima de 30°C, allí se ubica la mayor parte de la población

La precipitación promedio es de 2.758 mm/año, los valores máximos son de 800 mm/mes, mientras que los mínimos son de 0 mm/mes, en los meses de octubre y enero respectivamente (según datos de la estación pluviográfica de EEPP de Medellín ubicada en el Municipio).

5.2.3. Hidrografía

Las aguas que drenan el municipio pertenecen a la red que alimenta el río Magdalena en su parte media, las principales corrientes de agua del municipio son los ríos Nus, Nare, Samaná Norte y Socorro, y las quebradas Las Brisas, Santa Teresa, La Reina, Quebradona, El Bagre, Sardinas y Horná.

En el área urbana el principal drenaje es el río Nus, en dirección norte - sur y luego torna en dirección oeste - este, lo que probablemente evidencie un control estructural para este río; continúa hacia el este por un valle encañonado, confluyendo sus aguas al río Samaná Norte, el cual es afluente del río Magdalena. Otro drenaje de gran importancia es la quebrada La Reina, que tiene una dirección suroeste - noreste y desemboca en el río Nus (Plan de desarrollo municipio Caracolí, 2011).

6. MARCO TEÓRICO

La geomorfología es el estudio de las geoformas y los procesos que modelan continuamente la superficie terrestre, para esto es importante analizar las características, naturaleza y evolución de las geoformas teniendo en cuenta que se encuentran expuestas permanentemente a la interacción de procesos exógenos y endógenos, las cuales se encargan de transformarlas a través del tiempo (Rosero, 2014).

Los mapas geomorfológicos se constituyen como base para estudios de caracterización del suelo y las formas del relieve, siendo de vital importancia en la evolución de amenazas de tipo geológico, particularmente de movimientos en masa, brindando así el soporte científico para alertas tempranas en situaciones de riesgos, contribuyendo de gran medida en la mitigación de efectos nefastos (Rosero, 2014).

6.1. ENFOQUES GEOMORFOLÓGICOS

La caracterización geomorfológica, actualmente, puede encontrar sus raíces en los trabajos adelantados por el Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) de Australia a finales de los 40s, donde se empleaban técnicas de fotointerpretación tradicional, incluyendo factores de geoformas, suelos y cobertura vegetal (Robertson et al., 2013). Enfoques similares han sido propuestos por varias entidades, sin embargo, cada una presenta características diferentes o ponen más énfasis en algunos factores, entre ellas está:

- El sistema ITC, que es un método analítico que comprende aspectos morfogenéticos, morfométricos, morfográficos, morfocronológicos y morfolito-estructurales y examina la geología, la litología y los procesos geomorfológicos. Las unidades geomorfológicas se identifican según la génesis de su desarrollo y se complementan con las características de su relieve, se analizan teniendo en cuenta la influencia de los factores

geológicos, los procesos reinantes y las condiciones climatológicas que hayan intervenido en su evolución. Las unidades identificadas en esta forma se limitan siguiendo su geomorfología y se acompañan con símbolos lineales, letras y/o números para adicionar la información sobre la evolución o secuencia del desenvolvimiento (Van et al., 1981).

- CIAF, que es una versión colombiana con este enfoque, constituido por estudios fisiográficos, los cuales se basan en la descripción de los paisajes físicos con elementos de geología, relieve y clima y uso de suelo, método comúnmente empleado en las clasificaciones agrológicas del IGAC (Robertson et al., 2013).
- El IDEAM desarrolló dos metodologías, la primera para el levantamiento de los Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano para escala 1:500.000, sistemas jerárquicos que combinan las categorías morfoestructurales (procesos endógenos) con los ambientes morfodinámicos (procesos exógenos). En este enfoque se prioriza los procesos morfoestructurales a través de la interpretación tectónica del relieve en un sistema jerárquico aproximado, seguido por el modelado y las condiciones biogeográficas (Robertson et al., 2013). La segunda metodología es para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 que combina el apoyo de las técnicas modernas de sensores remotos y cartografía digital junto con las técnicas tradicionales de la fotointerpretación y trabajo de campo (Robertson et al., 2013).
- El SGC presenta un enfoque más reciente en el país, constituido por la metodología para elaboración de mapas geomorfológicos que retoma los planteamientos de Carvajal (2007) y los sistemas del CIAF y del ITC de Holanda con algunas modificaciones. Aunque los enfoques del ITC, como los del SGC, proponen sistemas jerarquizados, falta un sistema de

nomenclaturas y categorías bien definidas para los niveles más detallados (Robertson et al., 2013).

6.2. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN JERARQUIZADA

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica de los cañones del río Alicante y del río Nus, se emplearán los procesos metodológicos planteados por el SGC y el ITC.

6.2.1. Jerarquización geomorfológica

Esta metodología emplea la jerarquización del International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC, por sus siglas en inglés), encontrada en el documento El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, elaborada por Verstappen & Van Zuidam (1981) y adoptada por Carvajal (2004, 2008). Esto relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, en donde el nivel más regional busca representar el origen de las geoformas y los ambientes morfogenéticos asociados, mientras que el nivel más detallado muestra las expresiones morfológicas, los procesos morfodinámicos y la influencia de la litología, además de los ambientes morfogenéticos (Velásquez et al., 2014).

La jerarquía de las unidades geomorfológicas, con base al documento de Carvajal (2012) se define así:

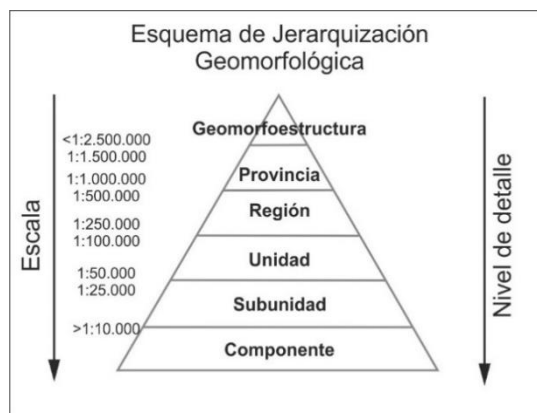


Figura 3. Esquema de Jerarquización Geomorfológica (Velásquez et al., 2014).

- **Geomorfoestructuras (escala <1:2.500.000 a >1:1.000.000)**

Corresponde a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intracontinentales, caracterizados por estructuras geológicas y topográficas regionales. Ejemplo de esta categoría son cratones, escudos, plataformas, grandes cuencas, cinturones orogénicos y valles en rift (Talero, 2014).

- **Provincia Geomorfológica (escala 1:1.000.000 a 1:500.000)**

Son conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar (Talero, 2014). Localmente, se corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas (Talero, 2014). Se definen en términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peniplanicies, cordilleras y serranías (Talero, 2014).

- **Región Geomorfológica (escala 1:250.000 a 1:500.000)**

Involucra a las geoformas relacionadas a la génesis de los paisajes, por un marco de ambiente morfogenético definido y afectado por procesos dinámicos similares (Talero, 2014). Aquí, se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas (Talero, 2014). Esta unidad de relieve está conformada por dos o más unidades geomorfológicas (Talero, 2014).

- **Unidades geomorfológicas (escala 1:50.000 a 1:100.000)**

Definida como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo de un ambiente geomorfológico en particular (Talero, 2014). Corresponde con los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, soportado por criterios genéticos, morfológicos y geométricos en función de la escala del proceso natural que lo conformó (Talero, 2014).

- **Subunidad geomorfológica (escala 1:10.000 a 1:25000)**

Esta categoría, está fundamentada en los contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos (Talero, 2014). Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos (Talero, 2014).

- **Componente o elemento geomorfológico (escala 1:2.000 a 1:10.000)**

Esta subdivisión representa el máximo nivel de detalle en la jerarquización. Determina los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno, en una subunidad geomorfológica. Igualmente puede estar definida por microrelieves asociados con una característica litológica en especial (Talero, 2014).

Teniendo en cuenta la jerarquización y considerando que la escala del presente trabajo es 1:10.000, se tomó como elemento fundamental la *Subunidad Geomorfológica*, especificada y clasificada desde un punto de vista morfogenético, por medio de las cuales se pueden separar cada uno de los ambientes geomorfológicos particulares (Talero, 2014).

6.2.2. Ambientes morfogenéticos

Para describir correctamente las unidades geomorfológicas que conforman a su vez el mapa geomorfológico, es necesario definir qué es un ambiente morfogenético y cuáles de ellos se pueden encontrar en una zona determinada (Velásquez et al., 2014).

Una geoforma es una superficie terrestre con características morfológicas distintivas, definidas en su desarrollo por un proceso en particular, que deja reflejada

una configuración típica de cada ambiente (M.O.P.T, 1990, citado por Carvajal, 2012); mientras que un ambiente morfogenético agrupa las condiciones físicas, químicas, climáticas y bióticas bajo las cuales se originaron las geoformas (Carvajal, 2012).

Para la asignación de colores se utilizó la propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

- **Ambiente morfoestructural:** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra (procesos endógenos), especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos. Incluye el ambiente neotectónico, geoformas originadas por la actividad tectónica activa y que se ha prolongado durante el Cuaternario. El color utilizado en la cartografía para los paisajes de este ambiente es púrpura (Carvajal, 2012).
- **Ambiente denudacional:** Determinado por la actividad de procesos exógenos de meteorización, procesos erosivos hídricos y por fenómenos de transporte o remoción en masa que actúan sobre geoformas preexistentes. Se identifica con color marrón en la cartografía (Carvajal, 2012).
- **Ambiente fluvial:** Corresponde a las geoformas generadas por los procesos relacionados con la actividad fluvial. Se identifica con color azul en la cartografía (Carvajal, 2012).
- **Ambiente glaciar y periglacial:** Geoformas originadas por procesos de erosión y sedimentación producida en las partes altas de las cadenas montañosas o en zonas periglaciares, las cuales generaron grandes cantidades de sedimentos que fueron acumulados en las laderas adyacentes a estas geoformas. El color de la simbología para la cartografía de este tipo de ambiente es el gris (Carvajal, 2012).

- **Ambiente antropogénico y/o biológico:** Unidades geomorfológicas producto de la actividad del hombre que modifica la superficie del terreno. Identificadas con tramas en color negro en la cartografía (Carvajal, 2012).
- **Ambiente volcánico:** Asociado en las regiones donde predominan los procesos que generan geformas volcánicas por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la tierra. El color recomendado para identificarlas en la cartografía es rojo (Carvajal, 2012).
- **Ambiente marino profundo y costero:** Determinado por las geformas construidas por la actividad de las corrientes marinas y el oleaje costero del mar. El color propuesto para la cartografía es el verde (Carvajal, 2012).
- **Ambiente eólico:** Geformas formadas por la acción del viento, en zonas desérticas, principalmente. Las geformas de este ambiente se identifican con color amarillo en la cartografía (Carvajal, 2012).
- **Ambiente kárstico:** Definido por geformas producto de la meteorización y disolución de rocas y materiales en ambientes húmedos y cálidos, tales como las calizas y la sal. Para este tipo de expresión morfológica se recomienda utilizar simbología en color naranja para la cartografía (Carvajal, 2012).

Tabla 1. Código de colores para los ambientes geomorfológicos según el SGC.

| COLOR | AMBIENTE |
|-------|-----------------------|
| | Morfoestructural |
| | Denudacional |
| | Fluvial |
| | Glaciar y periglacial |

| | |
|--|-----------------------------|
| | Antropogénico y/o biológico |
| | Volcánico |
| | Marino profundo y costero |
| | Eólico |
| | Kárstico |

6.2.3. Geformas asociadas al Ambiente Kárstico

Debido a que el objetivo principal del trabajo es cartografiar dos ambientes kársticos, se tendrá mayor enfoque a este relieve, por consiguiente, se explicarán las principales geformas que conforman este ambiente.

Según Leiva et al. (2012), estas geformas se originan a partir de la meteorización química de rocas que están compuestas por minerales solubles en agua (mármol, caliza, dolomía, yeso), las cuales dan origen a terrenos esculpidos de configuración compleja con relieves positivos y negativos. Existen diversas formas producto de este proceso, las primeras son aquellas que se originan en superficie denominadas exokársticas y son las siguientes:

- **Dolina:** Depresiones circulares o elípticas, de dimensión variable desde 1 hasta 400 m de diámetro y 1 a 200 m de profundidad, de paredes verticales o inclinadas en forma cónica, de fondo plano o no plano que presenta un sumidero o "ponors" que conecta el interior con el exterior del sistema kárstico. Localmente puede estar cubierta por agua.
- **Ponor:** Punto de absorción de agua en una dolina, úvala o polje.

- **Lomo de karstificación:** Elevaciones del terreno menores de 200 m sobre su nivel base local, de morfología alomada, alargada y alineadas, de laderas cortas a moderadamente largas, de forma convexa a complejas, con índice de relieve relativo bajo a muy bajo. Las pendientes de sus laderas varían entre muy inclinadas a abruptas.
- **Plano encañonado por karstificación:** Zona plana limitada por paredes verticales a subverticales, generado por procesos de disección y erosión fluvial y disolución intensa, la cual se concentra en las fisuras y fracturas en rocas calcáreas.
- **Polje:** Depresiones cerradas de fondo plano, localmente pueden tener montículos de calizas, son de forma alargada (largo más del doble que el ancho), limitados por escarpes de contornos irregulares; pueden estar secas o inundadas estacionalmente, generalmente son recorridas por una corriente que desaparece súbitamente por un sumidero (ponor).
- **Sima:** Cavidad vertical estrecha, de gran profundidad (hasta 1000 m), puede ser de formas lenticulares, cilíndricas o elípticas y se forman a partir de procesos de disolución concentrados en las fracturas o por el hundimiento de una dolina.
- **Torre kárstica:** Elevación del terreno aislada de roca caliza, de altura variable, generalmente de forma cónica, con punta roma o puntiaguda, que han quedado como remanentes en zonas de depresiones ovaladas o circulares como producto de procesos intensos de meteorización y disolución.
- **Uvala:** Depresión con dimensiones mayores al de las dolinas, puede alcanzar hasta 1 km de diámetro, limitada por escarpes de pendientes abruptas y actúa como zona colectora de agua en mayor escala que las

dolinas. Se forma por coalescencia de varias dolinas individuales, forma depresiones amplias, cerradas y de fondo plano o irregular.

- **Valle kárstico:** Zona deprimida de forma elongada, de fondo plano o suavemente ondulado, con bordes cóncavos bien marcados formados por disolución de rocas calcáreas.
- **Valle ciego:** Superficie cerrada, de forma elongada, limitada por laderas de pendientes suaves a inclinadas, modeladas por una corriente que desaparece súbitamente en un sumidero kárstico (ponor), este tipo de geoforma presenta un fuerte control estructural y un alto fracturamiento, lo cual favorece los procesos de disolución.
- **Mesa kárstica:** Zona plana o suavemente inclinada, limitada por paredes verticales a subverticales, generada por procesos de disección, erosión fluvial y disolución intensa, la cual se concentra en las fisuras y fracturas en rocas calcáreas. Es normal la presencia de dolinas y cualquier rasgo geomorfológico generado por karstificación.
- **Escarpe kárstico:** Ladera abrupta de altura variable, desarrollado exclusivamente en rocas de fácil disolución, como calizas, mármoles y yesos. De longitud corta a larga, de forma cóncava, convexa o recta, con pendiente escarpada a muy escarpada.
- **Ladera kárstica:** Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada de longitud corta a muy larga. El patrón de drenaje es kárstico con formación de dolinas, uvalas o cualquier tipo de geoformas desarrolladas en rocas de fácil disolución.

Las siguientes geoformas son aquellas que tienen lugar en cavidades subterráneas, se denominan endokársticas:

- **Estalactita:** Concreción larga y puntiaguda que cuelga del techo de las cavidades por la filtración de agua, donde precipitan minerales predominantemente calcáreos.
- **Estalagmita:** Precipitación de minerales por goteo de agua con sales, calizas o sílice en disolución, que se desarrollan en el suelo de algunas cavidades. Su forma suele ser alargada y puntiaguda.
- **Cortinas:** Son espeleotemas que se forman cuando el agua presenta flujo laminar sobre una determinada superficie, facilitando la pérdida de dióxido de carbono y la precipitación del carbonato cálcico.
- **Columnas:** Unión de las estalactitas con las estalagmitas.

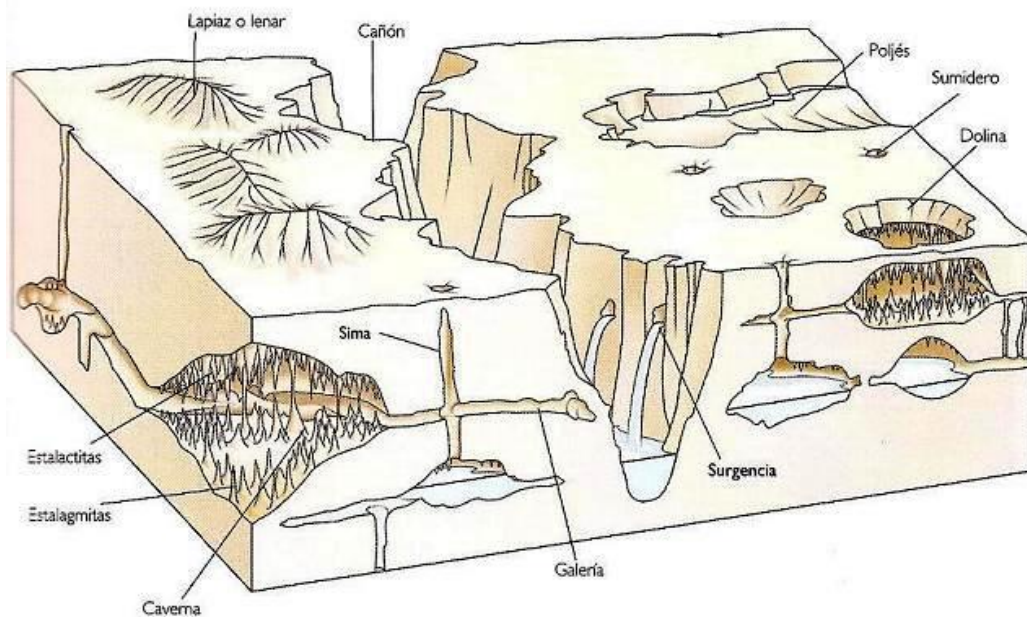


Figura 4. Unidades kársticas (Fernández, 2011).

6.2.4. Cuevas clasificadas según el tipo de flujo

Según Gutiérrez (2008), una cavidad puede ser clasificada según el contenido de flujos que reflejan el nivel freático:

- **Flujo freático:** La cavidad se encuentra totalmente cubierta por agua.
- **Flujo vadoso:** Ocurre cuando el flujo vadoso se encuentra por encima del nivel freático, y el flujo freático bajo este, es decir cuando la cavidad presenta ausencia de agua.
- **Flujo epifreático:** También conocido como flujo parafreático o flujo intermedio, la cavidad recibe este nombre cuando el agua actúa algunas veces como freática y otras como vadosa.

6.2.5. Estudios anteriores

En las zonas de estudio han sido pocos los estudios geológicos y geomorfológicos. El Inventario Minero Nacional (IMN) fue un proyecto de cartografía geológica y de investigación de recursos minerales llevado a cabo entre los años de 1964 y 1969, por la República de Colombia con la colaboración de la Agencia Internacional para el Desarrollo. Como resultado, en 1970 se publicó la cartografía del oriente antioqueño en una zona con extensión aproximada de 20.000 km, principalmente en el departamento de Antioquia, aunque incluye pequeñas partes de los departamentos de Caldas y Tolima.

La Caverna del Nus fue caracterizada por Feininger y Gómez en 1968, en donde se describieron diferentes características de esta, como salones, ornamentación, depósitos de piso, origen y edad.

Entre las generalidades se describió que esta se encuentra situada en lo alto de un peñol de mármol de bajo grado de metamorfismo, entre los ríos Nus y Samaná. La elevación de la cima de este peñol es de 460 m, y la elevación de las tres entradas

y la mayoría de los salones que presenta la caverna tienen una elevación promedio de 435 m. Por tal motivo, el techo en gran parte de la caverna es delgado, la caverna se encuentra muy por encima del actual nivel freático y, por lo tanto, el agua que entra a la caverna se reduce a la que gotea de los techos. La máxima extensión de la caverna de norte a sur es de, aproximadamente, 220 m y la máxima anchura de este a oeste es de 50 m.

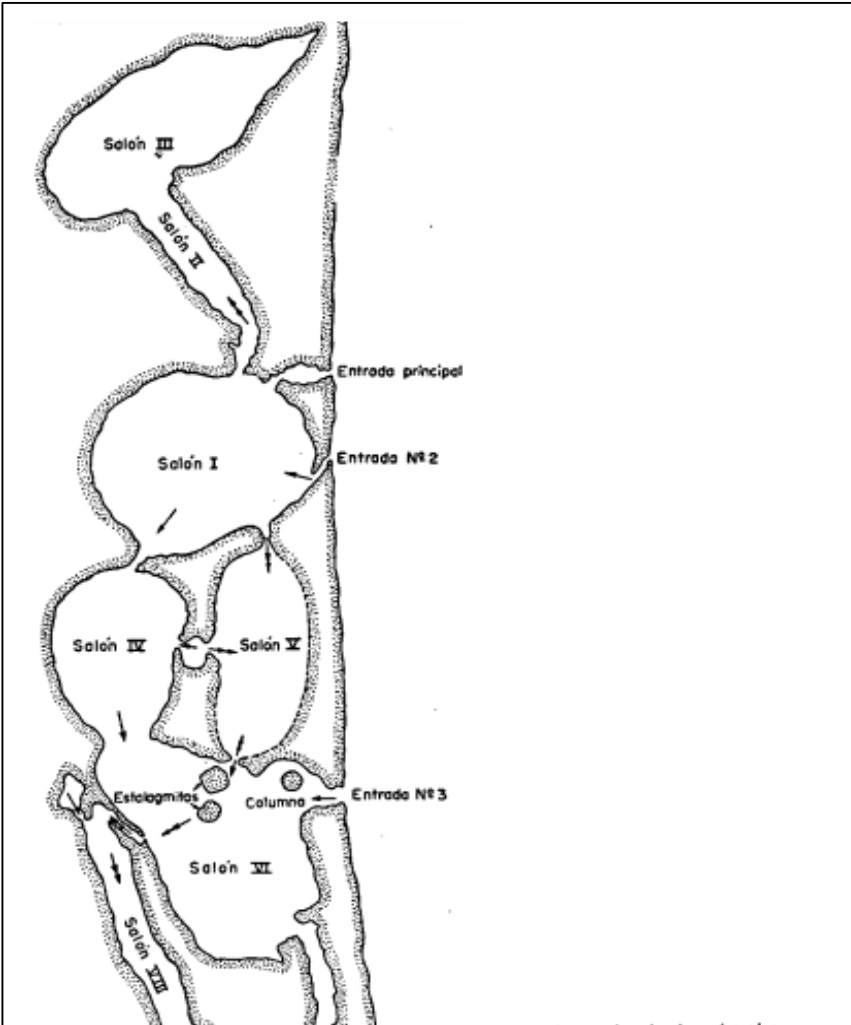


Figura 5. Croquis de la caverna del Nus (Feininger y Gómez, 1968).

7. METODOLOGÍA

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica de los ambientes de los cañones del río Alicante y del río Nus, se siguió el proceso metodológico basado en la integración de las propuestas metodológicas del ITC y del SGC, para ello la estructura que se integró en este trabajo consiste en tres actividades principales: (1) información bibliográfica, fotointerpretación, análisis de morfometría y reconocimiento del terreno, (2) análisis, procesamiento e integración de la información, y (3) resultados.

- **Selección de información básica**

Como base del trabajo, se realizó una búsqueda y recopilación bibliográfica, a esta información recolectada se le denominaron insumos necesarios, lo cual comprende los insumos básicos y los insumos temáticos. Los Insumos básicos incluyen imágenes satelitales, modelos digitales de elevación del terreno (DEM), cartografía base del IGAC (2006), localización, forma, clase y dimensiones de los accidentes

de la superficie terrestre, y sensores remotos; mientras que los insumos temáticos abarcan los mapas geológicos, los cuales ayudan en la definición y explicación de las formas de relieve en relación con las características estructurales, incluyendo los mapas de fallas (Velázquez et al., 2014). La utilización sucesiva y conjunta de estos fue fundamental para el análisis y cartografía de las formas de relieve, además, fue de ayuda la consulta de otros mapas temáticos, como de formaciones superficiales y suelos, vegetación, hidrogeológicos, entre otros (Monné, 1997).

- **Fotointerpretación básica**

En la elaboración del mapa, las fotografías aéreas se utilizaron de dos modos diferentes: por una parte, la interpretación de los fotogramas permitió identificar los elementos geomorfológicos que caracterizan el paisaje a distintos niveles de complejidad, y por otra parte, las fotografías aéreas sirvieron de base morfográfica para representar los resultados de la cartografía. Realizando la lectura de fotos y, comprobando y consultando los mapas topográfico y geológico, se delimitaron los elementos identificados: forma, dimensiones, posición y altitud "reales" (Monné, 1997). Para las áreas de estudio se utilizaron las fotografías aéreas escala 1:10.000 suministradas por Catastro, correspondientes a los códigos 1700-1704 y 1739-1745 para el Cañón del río Alicante y 1071-1075 para el Cañón del río Nus con las planchas topográficas 132-IV-B2, 132-IV-B-4, 133-III-A-1 y 133-III-A-3 para el Alicante, y 148-II-B-3, 148-II-B-4, 148-II-D-1 y 148-II-D-2 para el Nus.

- **Procesamiento digital de insumos de sensores remotos**

Con base a toda la información recolectada, se procedió a integrarla en una base de datos, para este trabajo se implementó el software ArcGIS, en el cual se georreferenció en un mismo sistema de coordenadas y, posteriormente, se procesó en forma conjunta. En esta plataforma, con ayuda del DEM, se obtuvieron otros insumos necesarios, como es el mapa de sombras, curvatura, aspecto y de

pendientes, los cuales son indispensables para la interpretación del mapa geomorfológico.

A partir de estos análisis y de la información previa, se delimitaron de manera preliminar las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta el ambiente al cual se encuentran asociadas las geoformas y las características comunes que presenten. Como producto de la interpretación se obtuvo el mapa geomorfológico preliminar a escala 1:10.000 de cada área de estudio, los cuales fueron la base para el trabajo de campo.

- **Verificación de campo**

Se realizaron dos salidas de campo, en las cuales se proporcionó el reconocimiento de las zonas de estudio y en donde se buscó la identificación e inventario de las unidades geomorfológicas que se presentan en cada área, con el fin de verificar, afinar, corregir e identificar las zonas que no se delimitaron durante la interpretación previa. Esta verificación tuvo la ventaja de permitir la integración e interpretación de diferentes variables que afectan la forma del terreno, clima, geología, morfodinámica y morfogénesis (Velázquez et al., 2014). Además, se realizó la caracterización detallada de las formaciones exokársticas y de los principales elementos endokársticos de cada zona.

- **Reinterpretación y clasificación**

Con base en la verificación de campo, se inició la fase de reinterpretación de los aspectos anteriores, lo cual incluyó una revisión en las interpretaciones de las fotografías aéreas y de los sensores remotos, todo esto con respecto a las

observaciones de campo, con el fin de redefinir las geoformas trazadas en el mapa preliminar y realizar las modificaciones pertinentes.

- **Análisis y correlación**

En esta etapa se realizó el modelo de evolución geomorfológico para cada área de estudio, con base al análisis y correlación de las geoformas, integrando los aspectos morfoestructurales y dinámicos cronológicamente, permitiendo explicar la génesis de cada paisaje geomorfológico.

- **Comparación geomorfológica**

Se desarrolló la comparación geomorfológica de los cañones del río Alicante y del río Nus, con el objetivo de reconocer sus diferencias o similitudes y definir si un ambiente kárstico se comporta de igual manera en cualquier ubicación geográfica.

- **Elaboración del mapa e informe final.**

Finalmente, se elaboró la digitalización definitiva, con las correcciones pertinentes que se realizaron en la modificación de las cartografías preliminares. En esta etapa se busca analizar los aspectos respectivos, completando la información faltante y/o corrigiendo aquella que puede estar mal digitada o errada.

8. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La región del este de Antioquia presenta gran complejidad geológica, debido a diversos factores y fenómenos que se han sucedido en su formación, destacando la presencia de fallas y fracturas. En forma global está conformada por rocas ígneas, sedimentarias, volcanosedimentarias y metamórficas.

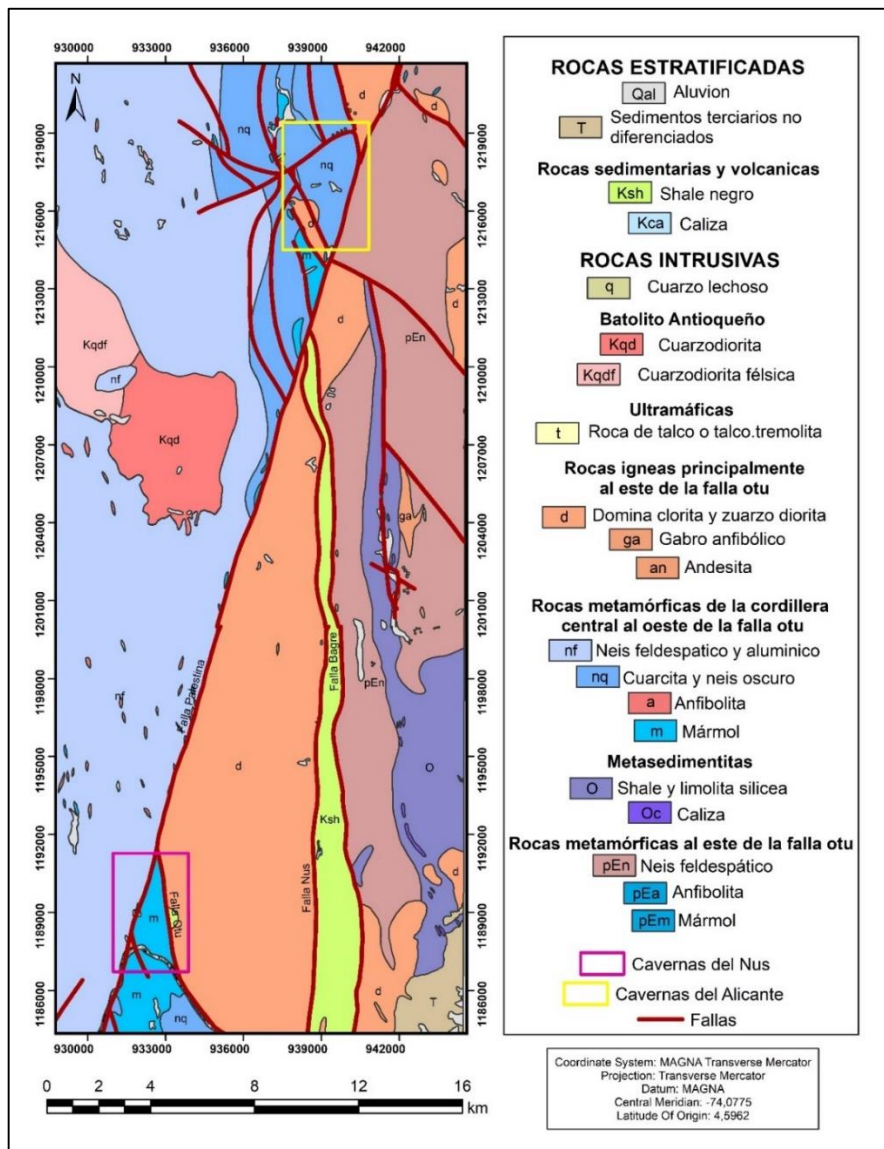


Figura 6. Mapa geológico regional (Feininger et al., 1970).

8.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio regional se encuentra ubicada al oriente de la Cordillera Central, presenta los tres tipos de roca con temporalidades desde el Precámbrico hasta el Holoceno; además, está siendo afectada estructuralmente por las fallas Palestina, Otú, Nus y El Bagre (Feininger et al., 1970).

Las rocas precámbricas fueron probablemente metamorfoseadas a facies granulita por metamorfismo regional. La mayor parte de estas son neises cuarzo-

feldespáticos (pen) de grano fino a grueso de color gris claro a rosado, estas rocas parecen haber sido formadas a partir de rocas plutónicas metamorfoseadas o de sedimentos. En menor cantidad hay presencia de roca anfibolita (pea), con lentes concordantes de un metro hasta varias decenas de metros de espesor de anfibolita bandeada, gris verdosa a negra y de grano medio, de la cual se desconoce el origen. Además, bancos de mármol (pem) de grano gruesos, de color blanco manchado por el silicio de calcio y por lo general fuertemente plegados, se encuentran esporádicamente en los neises cuarzo-feldespáticos (Feininger et al., 1970).

Las rocas paleozoicas son las más abundantes en la zona de estudio, corresponden al complejo metamórfico de la Cordillera Central al oeste de la falla de Otú. Así como su extensión, estas rocas tienen una amplia variación en su composición y son el resultado de metamorfismo regional o de contacto de diferente intensidad ocurrido posiblemente en el Paleozoico Superior. Estas rocas incluyen shales ligeramente metamorfoseados del Ordovícico. Aunque fueron distinguidas al menos diez unidades metamórficas, se seleccionaron por ser los más útiles durante la cartografía de la zona. Estos fueron los siguientes: 1) Grupo pelítico (nf, nfh): neises feldespáticos y alumínicos, esquistos sericíticos y parte de los neises hornbléndicos. 2) Grupo cuarzoso (nq): cuarcitas, cuarcitas biotíticas de color oscuro y neises cuarzosos. 3) Grupo calcáreo (m): mármoles, skarns y neises con silicatos de calcio. 4) Grupo máfico (a): anfibolitas, rocas verdes y parte de los nuevos hornbléndicos (Feininger et al., 1970).

Los esquistos sericíticos del primer grupo, fueron formados por metamorfismo regional de bajo grado a partir de limolitas y lutitas. El origen sedimentario es más claro en las muestras menos metamorfoseadas donde puede observarse aún la textura clástica. Los neises feldespáticos y alumínicos son muy heterogéneos, esto se debe tanto a las variaciones en la composición y textura de los sedimentos parentales, como a las condiciones del metamorfismo. El neis

dominante es fuertemente foliado y plegado, de color gris plata y migmatítico (Feininger et al., 1970).

Las cuarcitas hacen parte del segundo grupo y son las segundas más abundantes dentro de las unidades de rocas metamórficas. Son una de las rocas más resistentes a la meteorización y los afloramientos son abundantes (Feininger et al., 1970).

Los mármoles se encuentran principalmente al norte y sur de la zona. La mayor parte se encuentra entre la falla Otú y la falla Palestina. El tamaño de grano en el mármol varía de fino a grueso y el color de gris oscuro a blanco. Tanto el tamaño del grano como el color se relacionan con el grado de metamorfismo. En los de mayor grado de metamorfismo, ya sea regional o de contacto, el tamaño del grano varía de medio a grueso y el color es gris claro a blanco brillante. La mayoría de los mármoles están formados por un 80% de calcita, la cual fue sometida a un metamorfismo regional, localmente intensificado posteriormente por metamorfismo de contacto producido por el Batolito Antioqueño y otros plutones (Feininger et al., 1970). En la parte norte estos mármoles se formaron por metamorfismo regional de alto grado de calizas magnesianas, está compuesto de hasta un 70% de calcita principalmente, estos son abundantes en el noroeste de La Susana en el triángulo formado por la falla de Otú y los ríos Cupiná y Alicante (Feininger et al., 1970).

Lentes de skarn de uno a dos metros de espesor ocurren esporádicamente, en neises feldespáticos, alumínicos en cuarcitas principalmente hasta unos 2 km próximo del Batolito Antioqueño en su extremo noreste (Feininger et al., 1970). El skarn es masivo, de grano grueso y generalmente, blanco a verde pálido, aunque a veces está manchado por granates de color pardo. Muchos de los bloques presentan cavernas debidas a la lixiviación, por meteorización de la calcita. La mayoría de los skarn fueron producidos por metamorfismo térmico de bancos delgados de mármol en neises feldespáticos y alumínicos o en cuarcitas (Feininger et al., 1970).

Lentes y capas delgadas de anfibolita (a) se encuentran esporádicamente en los distintos tipos de rocas metamórficas. Las anfibolitas pudieron tener más de un origen. Parte de ellas son metaígneas y otras pudieron haberse formado durante el metamorfismo regional a causa de reacciones metasomáticas en el contacto entre bancos calcáreos y pelíticos (Orville, 1969).

Un plutón de diorita jurásica (d), limitado por fallas, corta rocas volcánicas de edad no determinada al este de la falla Otú, lugar donde aflora la mayoría de este conjunto de rocas ígneas de grano medio, principalmente dioritas a cuarzodioritas, las cuales son algo variables en textura y composición, pero presentan características petrográficas similares y probablemente, puedan estar relacionadas genéticamente (Feininger et al., 1970).

De las rocas cretáceas, la mayor unidad cartografiada fue el shale (ksh) orgánico de color negro, sin embargo, en algunos afloramientos meteorizados toma un tono grisáceo, además, existen unos pocos lentes de caliza finogranulares, de color gris, cortada por una red de venas de calcita de un milímetro de ancho, los cuales ocurren interestratificados con el shale en la falla de Otú y cerca ella, esta unidad tiene una gran extensión al noreste de la falla Otú, también se encuentran entre las fallas de Nus y El Bagre al este de la falla de Palestina pero en menor cantidad. Asociadas a esta unidad, se encuentran las rocas volcánicas encontradas al oriente de la falla Otú son de coloración gris claro a verdosas, masivas a filíticas, finogranulares a afaníticas y por lo general se encuentran cizalladas, fracturadas y alteradas. Su composición es, probablemente, andesítica o dacítica (Feininger et al., 1970).

El Batolito Antioqueño (kqd), conformado por cuarzodiorita de edad Cretáceo Superior, corta las rocas del Cretáceo Medio y otras más antiguas. En las montañas se encuentran ocasionalmente parches de aluviones terciarios; en los valles actuales de las corrientes se encuentran aluviones cuaternarios, muchos de ellos auríferos, los cuales están sobre las áreas de estudio (Feininger et al., 1970).

Estos aluviones cuaternarios son depósitos superficiales no consolidados que forman terrenos relativamente planos en los valles de las tierras altas o extensas planicies en el río Magdalena y sus tributarios. En los valles de las tierras altas estos depósitos son comunes sobre el Batolito Antioqueño y mármoles. Estos depósitos son una mezcla de material aluvial y coluvial y están compuestos por material meteorizado, mal seleccionado y poco estratificado o tienen solamente unos pocos horizontes bien seleccionados (Feininger et al., 1970).

8.2. ASPECTOS GENERALES DE LA TECTONICA

Las fallas son la característica dominante del área de estudio, algunas de estas alcanzan más de 100 km de longitud y pueden continuarse sobre fotografías aéreas por decenas y hasta centenares de kilómetros más allá del límite de la zona.

En la zona de estudio se encuentran cuatro tipos de fallas:

- Fallas normales
- Fallas de intrusión
- Fallas de rumbo
- Fallas relacionadas al enfriamiento del Batolito Antioqueño

8.2.1. Fallas normales

Principalmente, en la parte central este y suroeste de la zona se presentan fallas normales de fuerte buzamiento. Las fallas normales más grandes limitan un grabben de rocas sedimentarias del Cretáceo al sur de San Luis. Una de ellas es la Falla Aquitania al este, y al oeste y al sur son unas fallas sin nombre definido, las cuales probablemente presentan varios kilómetros de desplazamiento (Feininger et al., 1970).

Los neises precámbricos, las rocas volcánicas y las dioritas están cortadas por numerosas fallas normales pequeñas en la parte central este de la zona, principalmente en el área limitada por las fallas de El Bagre, Palestina, Cimitarra y por el Valle del Magdalena (Feininger et al., 1970).

La superficie recta, bien definida, que separa las rocas sedimentarias del Terciario del Valle del Magdalena y las rocas cristalinas de la Cordillera Central tienen aproximadamente 110 km de largo en esta zona, la cual se encuentra controlada, por una gran falla normal en su mayor parte. Sin embargo, esta falla no aflora y probablemente está cubierta por sedimentos terciarios y aluviones al este de las rocas cristalinas (Feininger et al., 1970).

8.2.2. Fallas de intrusión

Estas fallas fueron formadas por esfuerzos causados por la intrusión de un magma. Todas presentan aparentemente desplazamientos pronunciados y son abundantes en las rocas encajantes del Batolito Antioqueño (Feininger et al., 1970).

Los movimientos en las fallas de intrusión posiblemente finalizaron antes del enfriamiento del magma batolítico y posiblemente no se extendieron hacia el batolito. Los estudios realizados de muchos afloramientos de rocas metamórficas cerca al contacto con el batolito muestran una gran abundancia de fallas menores con desplazamientos de unos pocos centímetros. Estas fallas, en general, son escasas o no se encuentran lejos del contacto con el batolito (Feininger et al., 1970).

8.2.3. Fallas de rumbo

Las principales características estructurales regionales son las fallas de rumbo. Algunas de éstas tienen más de 100 km de longitud con desplazamientos medibles en docenas de kilómetros. Estas fallas predominan en la parte este de la zona especialmente entre el Batolito Antioqueño y el Valle del Magdalena. La mayoría tiene dirección entre N20 W y N20° E y tienen trazas muy rectas (Feininger et al., 1970).

Ocho grandes fallas de rumbo fueron cartografiadas y, en la mayoría de los casos, su edad relativa puede determinarse por las relaciones del desplazamiento. Estas fallas, de acuerdo con su probable orden cronológico, de las más antiguas a las más jóvenes son: falla Nus, falla El Bagre, falla Otú y falla Palestina (Feininger et al., 1970).

Fallas que presentan ramales de ángulo bajo, como la Palestina, se consideran genéticamente relacionadas y contemporáneas. La edad relativa de la falla Nus con respecto a la de la falla El Bagre no se conoce, y se cree que, al igual que las anteriores, posiblemente las dos son contemporáneas. La falla Otú está cubierta por el Terciario al norte en Zaragoza y al sur en Puerto Nare, esta está atravesada por la falla Palestina (Feininger et al., 1970). De las anteriores, las fallas Nus y Otú son de gran importancia en las zonas de estudio, tanto en Alicante, como en Nus.

Las fallas de rumbo, principalmente las más jóvenes, tienen la expresión topográfica más característica de todas las fallas en esta zona, por lo general están marcadas por profundos cañones y pueden cartografiarse fácilmente en las fotografías aéreas, pero sobre el terreno son menos evidentes (Feininger et al., 1970).

Las fallas de rumbo más antiguas son las de Nus y El Bagre, que están cortadas por la Otú y esta a su vez es desplazada por la Palestina (Feininger et al., 1970).

8.2.4. Fallas relacionadas al enfriamiento del Batolito Antioqueño

Fallas de pocos metros de longitud y zonas cizalladas de muchos kilómetros de longitud se encuentran en el Batolito Antioqueño, las evidencias indican que la mayoría están relacionadas al enfriamiento de estas rocas debido a los esfuerzos ocurridos dentro de este (Feininger et al., 1970).

Muchas de las fallas menores que cortan algunos diques, son a su vez cortadas por otros diques; esto demuestra que parte del fallamiento superpone el período de emplazamiento de los diques que tuvieron lugar poco tiempo después de la intrusión del magma batolítico (Feininger et al., 1970).

Las fallas pequeñas presentan direcciones muy variables y pueden ser mejor observadas donde han sido desplazadas por diques. Los desplazamientos rara vez son mayores de diez metros, generalmente solo son de unos pocos centímetros (Feininger et al., 1970).

9. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

La geomorfología del área está fuertemente influenciada por la topografía de la Cordillera Central y la Cordillera Oriental. Estas cordilleras están separadas geográficamente por la presencia del cauce del río Magdalena.

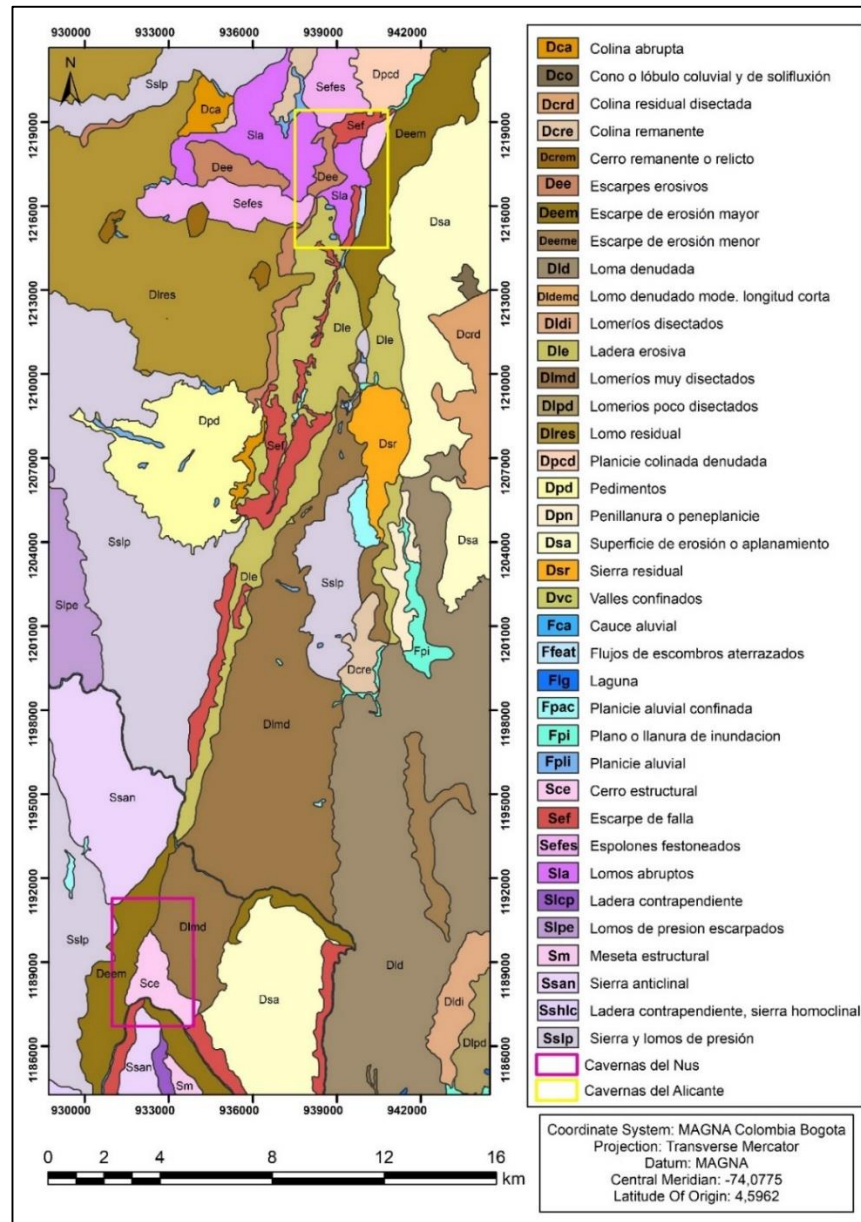


Figura 7. Mapa geomorfológico regional tomado de las planchas geomorfológicas 132 y 148 del Servicio Geológico Colombiano.

La mayor parte del área está caracterizada por una topografía montañosa fuertemente disectada y fisiográficamente madura, las pendientes varían entre 20° y 40° (Feininger et al., 1970), con respecto al relieve va desde los 100 msnm apreciándose en las cercanías del río Magdalena, hasta poco más de los 1000 msnm en dirección a la Cordillera Central. Las zonas de terrenos suavemente

ondulados se encuentran sobre sedimentos terciarios a lo largo del valle del río Magdalena en el costado suroriental del área.

Existen mármoles que presentan una topografía característica de colinas con tamaños entre 20 a 350 m de altura, generalmente, con cimas redondeadas y verticales o muy pendientes. El mejor desarrollo de esta topografía característica se encuentra al este de la falla Palestina, cerca de su intersección con la falla Otú, en donde son comunes colinas de 200 m de altura y paredes muy verticales de mármol de 250 m de altura, por donde pasa el río Samaná Norte. En algunas de estas grandes colinas se encuentran algunas cavernas formadas por disolución (Feininger et al., 1970).

La geomorfología actual de la zona es el resultado de la combinación y sucesión de procesos morfogenéticos, endógenos, relacionados con la actividad tectónica y exógenos, entendiéndose como un enlace de unidades naturales con características homogéneas de materiales, relieve y drenaje con un sentido de uniformidad relativa espacial (Moya, 2012), sin embargo la distribución de los ambientes morfogenéticos, están determinados por las características litológicas, estructurales y la disposición altitudinal de las rocas donde se han desarrollado dichas geoformas (Mesa, 2014)

Debido al paisaje actual se pudo concluir que el desarrollo y evolución del relieve se ha producido en forma secuencial donde uno o más procesos actúan conjuntamente modelando el terreno y generando nuevas unidades geomorfológicas como lo es el ambiente denudacional, el cual se desarrolla uniformemente distribuido en la mayor parte del área, y el ambiente fluvial, encontrándose remitido exclusivamente en las zonas de ocupación de cauces como lo es el río Magdalena (Mesa, 2014).

Los principales procesos documentados en la zona inician en el Mesozoico con el levantamiento de la Cordillera Central, la cual generó la conformación de una cuenca extensional con subsidencia por tectónica y sedimentación al oriente de la

zona. Este evento no generó mayor actividad en la cordillera, lo cual ayudó a conservar las fallas normales, sin embargo, causó adelgazamiento y acuñamiento de las distintas formaciones paleo, meso y cenozoicas (Paredes et al., 2015). Su fisonomía constituye dominios morfológicos reconocibles y diferenciables en el Batolito Antioqueño, los cuales son producto de la combinación de procesos tectónicos relacionados con el levantamiento y la conjugación de fallas. De esta manera se obtiene una expresión morfológica regional conformada por una vertiente montañosa con laderas suavemente empinadas a escarpadas (dependiendo del tipo de roca sobre la que se desarrolla) y limitada por una zona plana correspondiente por el río Magdalena al este (Moya, 2012).

Hacia el Cenozoico, más exactamente en el Holoceno, ocurrieron procesos erosivos y denudativos relacionados a épocas de alta pluviosidad, consecuencia de abruptos cambios climáticos, causando cambios en la vegetación, en caudales de los afluentes y en geoformas de morfología colinada que fueron erosionadas e incisadas (Velásquez et al., 2014).

Actualmente se puede establecer un predominio de unidades denudacionales y morfoestructurales sobre los ambientes fluviales y antrópicos presentes en la zona, las primeras son producto de los procesos erosivos que en el tiempo han venido modificando la superficie del Batolito Antioqueño (Moya, 2012).

El ambiente de tipo denudacional corresponden principalmente a lomeríos muy disectados (Dlmd), lomeríos disectados (Dldi) y lomeríos poco disectados (Dlpdi), estas geoformas hacia la parte occidental del área de estudio se han desarrollado sobre rocas pertenecientes al Batolito Antioqueño (Mesa, 2014). Estas unidades tienen una orientación preferencial W-E y NW-SE y comprenden aproximadamente el 60% del área de la zona (Moya, 2012).

El ambiente de tipo estructural corresponde a sierras y lomos de presión (Sslp), espolón festoneado (Sefes), ladera estructural (Sshlc), espolones festoneados (Sefes), y laderas estructurales (Sle). Las geoformas cartografiadas presentan una

tendencia general N 10° E, la cual es resultado de procesos tectónicos regionales propios de la orogenia andina, este ambiente en la zona de estudio se encuentra limitado por las fallas regionales de Palestina, y Nus (Mesa, 2014), siendo esta el elemento estructural más importante, ya que marca el límite oeste de la cuenca del Valle Medio del Magdalena y forma sobre el área superficies con laderas muy abruptas y escarpes de líneas de falla que se desplazan en dirección SW-NE paralelas al trazo de la falla, además influyen principalmente sobre rocas ígneas y metamórficas donde se observa un claro desarrollo de unidades con morfología montañosa, alomada y colinada, marcando una heterogeneidad (Velázquez et al., 2014). Las laderas que constituyen el relieve son estables, infiriendo que el paisaje ha alcanzado su condición de equilibrio; no obstante, se pueden establecer evidencias de tectónica activa como cambios en las direcciones de cauces actuales, basculamientos, presencia de terrazas colgadas y lineamientos fotogeológicos (Moya, 2012).

El ambiente de tipo fluvial, las principales unidades geomorfológicas cartografiadas corresponden a plano o llanura de inundación (Fpi), planicie aluvial confinada (Fpac) y cauce aluvial (Fca) generadas a lo largo del río Nare, Nus y Magdalena (Mesa, 2014).

El mapa geomorfológico de Corantioquia (figura 8) se basa, no solo en razones descriptivas, sino en bases genéticas, ya que el relieve está en continua evolución, por lo cual se elaboró una aproximación de las grandes unidades de relieve a escala 1:500.000, denominándose de las siguientes maneras (Corantioquia, 2002).

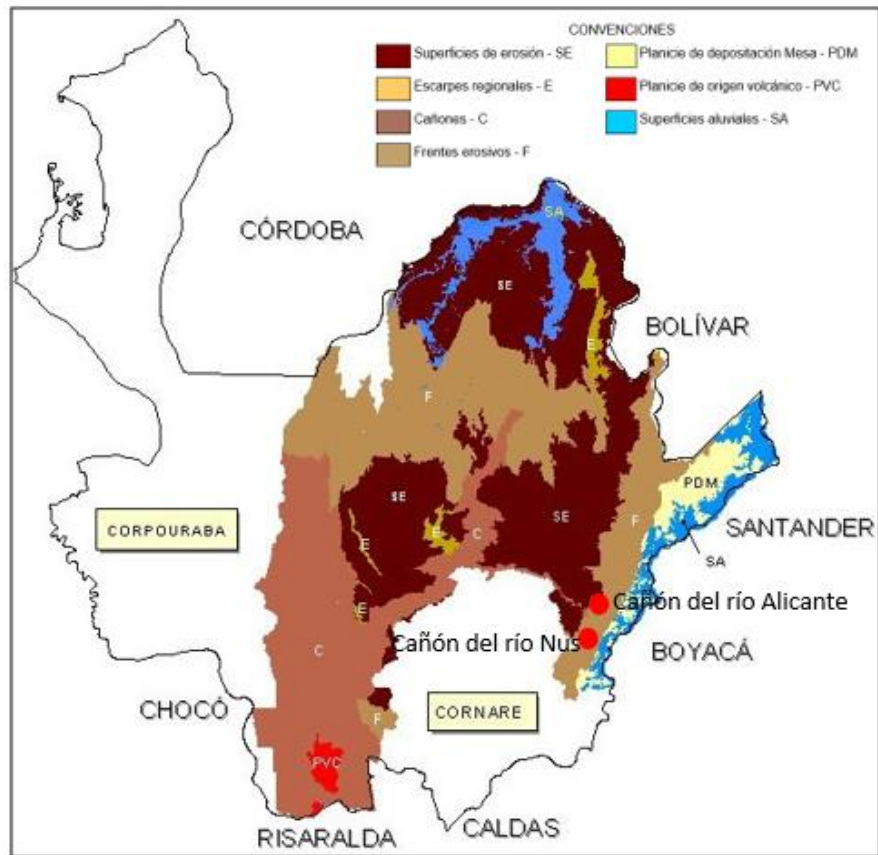


Figura 8. Unidades de relieve de la Jurisdicción de Corantioquia. Tomado de Corantioquia, 2002.

La mayor parte del área está localizada en el frente erosivo del Magdalena, seguido de la superficie de erosión San Lucas y Santa Isabel y, en menor proporción, planicie de deposición, mesa y superficie aluvial del río Magdalena.

El frente erosivo del Magdalena se localiza al oriente del departamento, se extiende desde los límites departamentales con Caldas al sur y Bolívar al norte, se identificaron dos macrounidades, una de incisión baja, ubicada al norte del río Nare y que se localiza casi en su totalidad en la Jurisdicción de Corantioquia; y otra al sur del río, esta con incisión media y correspondiente a la parte final del Cañón del río Samaná-Nare; la macrounidad con incisión alta se localiza en su totalidad en la Jurisdicción de Cornare (Corantioquia, 2002).

La superficie de erosión San Lucas se localiza en una franja alargada N-S, al oriente de la Jurisdicción desde la Serranía de San Lucas en el límite departamental con Bolívar al norte, hasta el Cañón del río Nus al sur (Corantioquia, 2002). Se ubican a alturas entre los 600 y 700 msnm, donde se observa claramente el control estructural del Sistema de fallas Palestina. Geológicamente, se encuentra sobre las rocas precámbricas del neis cuarzo feldespático de San Lucas, sobre las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca y sobre las rocas ígneas Jurásicas del Batolito de Segovia (Corantioquia, 2002).

La Superficie de erosión Santa Isabel, la cual se extiende desde el Cañón del río Nus al sur, hasta el corregimiento de Santa Isabel del Municipio de Remedios al norte. Corresponde a un sistema de colinas bajas que se encuentran aproximadamente a los 800 msnm (Corantioquia, 2002). Geológicamente, se desarrolla sobre las rocas metamórficas paleozoicas, tipo neises cuarzo feldespáticos y cuarcitas del Complejo Cajamarca (Corantioquia, 2002).

La planicie de depositación Mesa, se localiza en una faja en la margen izquierda del río Magdalena, contiguo a las zonas aluviales (Corantioquia, 2002). Esta zona corresponde con una antigua superficie de depositación que ha sido disectada moderadamente, generando un relieve colinado con una altura que varía entre 150 y 300 msnm. Los topes de las colinas permiten reconstruir el nivel de los depósitos de piedemonte que seguramente conformaban estas zonas (Corantioquia, 2002).

Por último, la superficie aluvial del río Magdalena se ubica al oriente del departamento, comprende una faja alargada paralela al río Magdalena, con terrazas de gran extensión y con una llanura de inundación relativamente restringida. Se desarrolla sobre depósitos aluviales recientes (Corantioquia, 2002).

10. GEOLOGÍA LOCAL CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE Y DEL RÍO NUS.

Las unidades de roca calcárea en el Cañón del río Alicante y el Cañón del río Nus se encuentran enmarcadas en la Cordillera Central y hacen parte del conjunto de rocas metamórficas de la Cordillera Central. El área se encuentra compuesta por materiales de edad precámbrica y paleozoica representados por gneises feldespáticos, dioritas, cuarcitas, y mármoles en los que se forman las unidades geomorfológicas objeto del estudio.

Los cuerpos calcáreos de mármol (m) presentan topografías características en los paisajes de los cañones del río Alicante y del río Nus que fueron cartografiadas en este estudio, es la unidad más abundante y representativa y, por lo tanto, son abundantes los afloramientos sobre los ríos Alicante, Samaná, Nus y las quebradas asociadas a estos (figura 9a y 9b). Son rocas metamórficas no foliadas, compuestas principalmente por calcita. Generalmente, presentan el mismo aspecto en ambos ambientes con coloraciones variadas de gris oscuro o claro a blanco.



Figura 9. a) Afloramiento de mármol sobre la quebrada Guardasol al SW de la zona, erosión lateral por corriente de agua. b) Afloramiento de mármol camino hacia la caverna del Nus.

Las cuarcitas (nq), son las segundas rocas en abundancia dentro de las unidades de rocas metamórficas, las cuales solo se encuentran en el Cañón del río Alicante, las cuarcitas son las rocas más resistentes a la meteorización y los afloramientos son abundantes en pequeñas quebradas hacia el norte y este de la vereda Santa Barbara (figura 10), se trata de una roca metamórfica no foliada, no presenta ningún tipo de textura o estructura de la roca original y está compuesta principalmente por cuarzo que, en general, posee tonalidades canela claro.



Figura 10. Afloramiento de cuarcita al norte de la vereda Santa Barbara.

Las dioritas (d), son rocas ígneas plutónicas intermedias, con textura fanerítica, de grano medio, macroscópicamente su composición es uniforme, tanto en Alicante como en Nus. Esta presenta una coloración gris verdosa oscura debido al alto porcentaje de minerales máficos, está compuesta principalmente por plagioclasa, anfíbol, cuarzo y biotita. Afloramientos de esta unidad se pueden observar en la quebrada Alejandría en dirección al río Alicante (figura 11) y en algunos sectores cercanos al río Samaná en dirección a la caverna del Nus.



Figura 11. Afloramiento de dioritas, sobre la quebrada Alejandría.

Los neises feldespáticos (Pen) pertenecientes al área de Alicante (figura 12b) son rocas metamórficas principalmente de grano medio a grueso, y están compuestos por cuarzo, plagioclasa, biotita y anfíbol, que les da un color gris-verdoso pálido característico de las rocas y las diferencias del neis feldespático (nf) del área de Nus (figura 12a), que en su mayor parte, también son de grano medio a grueso y está compuesto, principalmente, por cuarzo, plagioclasa y moscovita, que le dan coloraciones grisáceas claras.

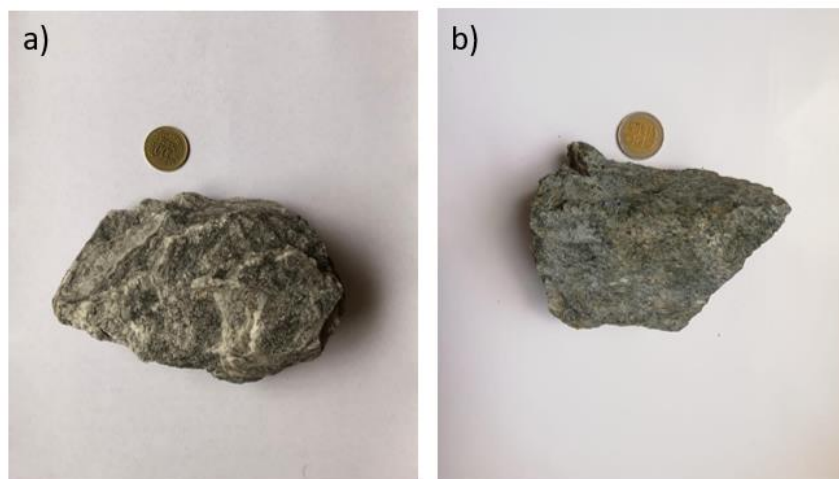


Figura 12. a) Muestra de neis feldespático (nf) tomada al W del Cañón del río Nus. b) Muestra de neis feldespático (Pen) tomada al E del Cañón del río Alicante.

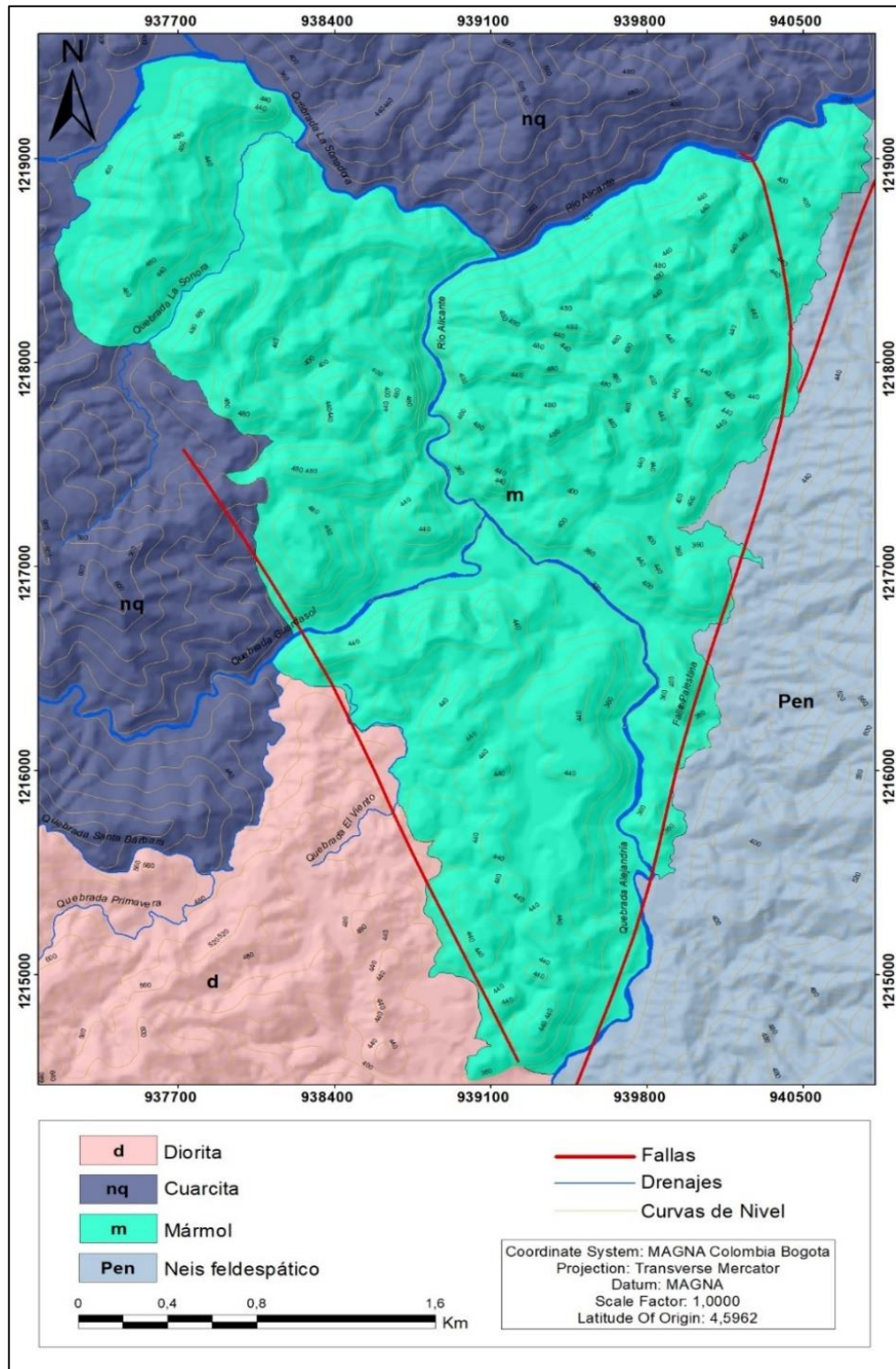


Figura 13. Mapa geológico, Cañón del río Alicante.

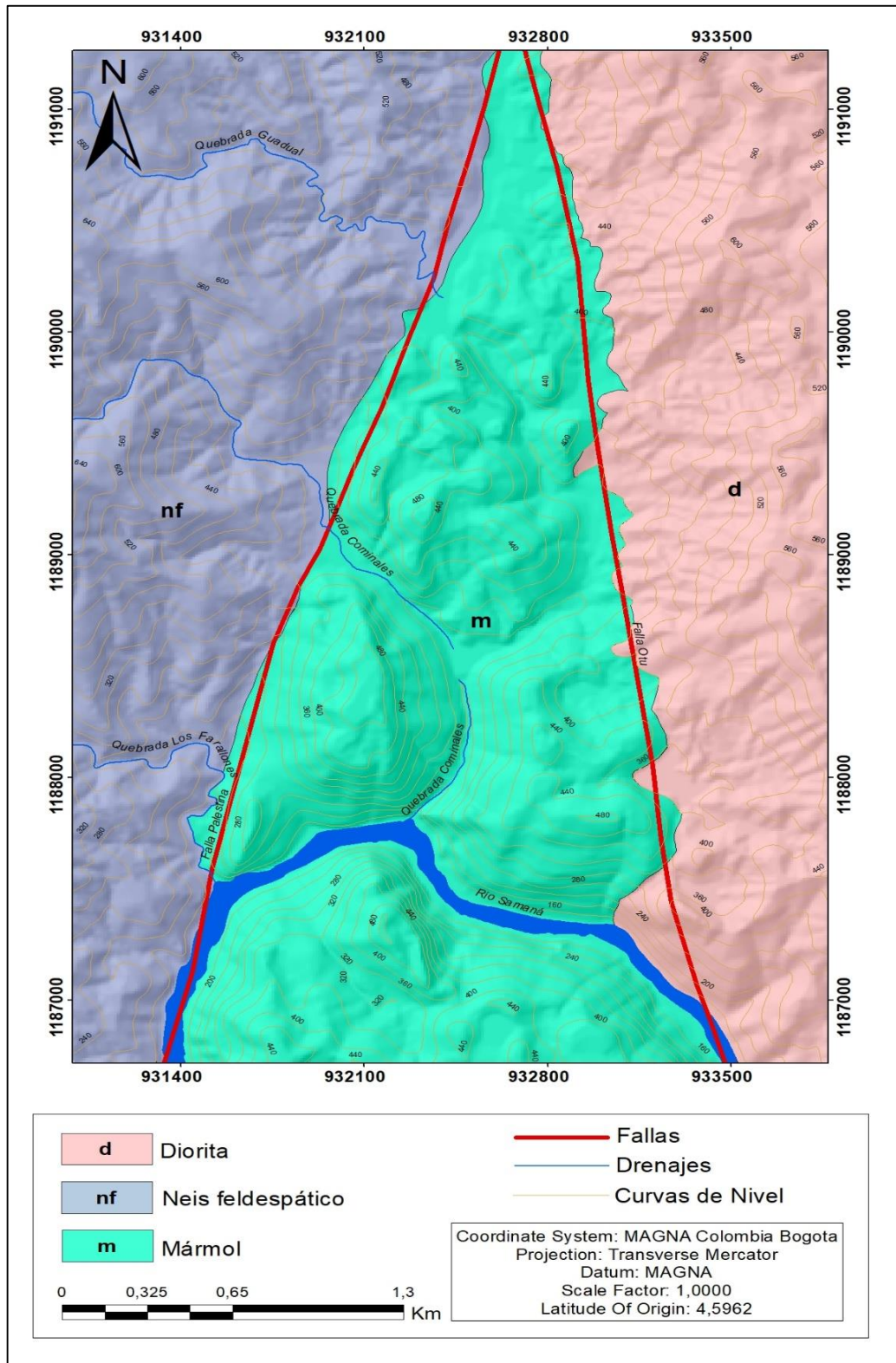


Figura 14. Mapa geológico, Cañón del río Nus.

11. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

A continuación, se describe la geomorfología correspondiente a los cañones del río Alicante y del río Nus, con su respectiva morfometría y morfología.

11.1. CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE

11.1.1. Morfometría

La morfometría es utilizada para determinar atributos configuracionales del relieve y, con base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno (Pedraza Gilsanz, 1996).

- **Mapa aspecto**

El mapa de aspecto tiene como utilidad resaltar la dirección y los grados de la pendiente de un terreno. Las categorías utilizadas para simbolizar la dirección de pendientes son tonos de diferentes colores (rojo, verde, amarillo, etc.). Por otra parte, la simbología de los grados se identifica por el brillo del tono (Blogs.esri.com, 2008).

En el mapa aspecto de la zona (figura 16a) el mayor porcentaje de las pendientes se encuentran en las zonas con direcciones hacia el norte ($337.5-22.5^\circ$ azimut), oeste ($247.5-292.5^\circ$ azimut) y noroeste ($292.5-337.5^\circ$ azimut), representadas en el mapa con color rojo, morado y azul oscuro, respectivamente. En menor porcentaje las zonas con dirección sur ($157.5-202.5^\circ$ azimut) y suroeste ($202.5-247.5^\circ$ azimut) representadas en el mapa con color celeste y azul claro, respectivamente. Por último, y en menor porcentaje, van en el sentido este ($67.5-112.5^\circ$ azimut), sureste ($112.5-157.5^\circ$ azimut), noreste ($22.5-67.5^\circ$ azimut) y plano, representadas en el mapa con color amarillo, verde, naranja y gris, respectivamente.

- **Mapa curvatura**

En el mapa de curvatura se visualiza la forma o la curvatura de la pendiente, donde una parte de la superficie puede ser cóncava o convexa.

El tipo de curvatura acentúa diferentes aspectos de la forma de la pendiente y la curvatura de perfil es el modelo que más se acopla a la visualización de este mapa. La curvatura es paralela a la pendiente e indica la dirección de la pendiente máxima que, a su vez, afecta a la aceleración y desaceleración de las corrientes por la superficie.

Un valor negativo (A) indica que la superficie es convexa hacia arriba en una celda y la corriente se desacelerará. Un perfil positivo (B) indica que la superficie es cóncava arriba en una celda y la corriente se acelerará. Un valor de cero indica que la superficie es lineal (C) (figura 15) (Desktop.arcgis.com, 2008).

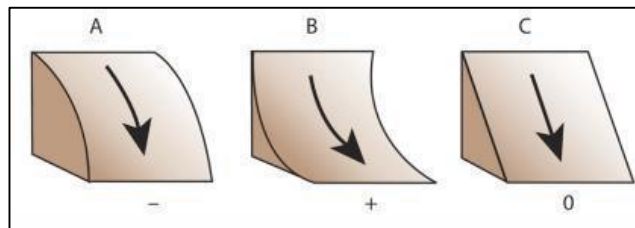


Figura 15. Tomado de Desktop.arcgis.com., 2008.

En el mapa de curvatura del área de estudio (figura 16b), se puede evidenciar que en la mayoría del mapa se encuentran zonas de valores positivos, con tonalidades azules donde se evidencian superficies cóncavas y las corrientes suelen acelerar. En menor porcentaje, hay zonas con valores negativos y de tonalidad café donde se evidencia que las superficies son convexas y las corrientes desacelerarían. Por último, y en menor proporción, se encuentran zonas con valores cercanos a cero y

de tonalidades grises, lo que indica que dicha superficie no presenta curvas y tiende a ser lineal o plana.

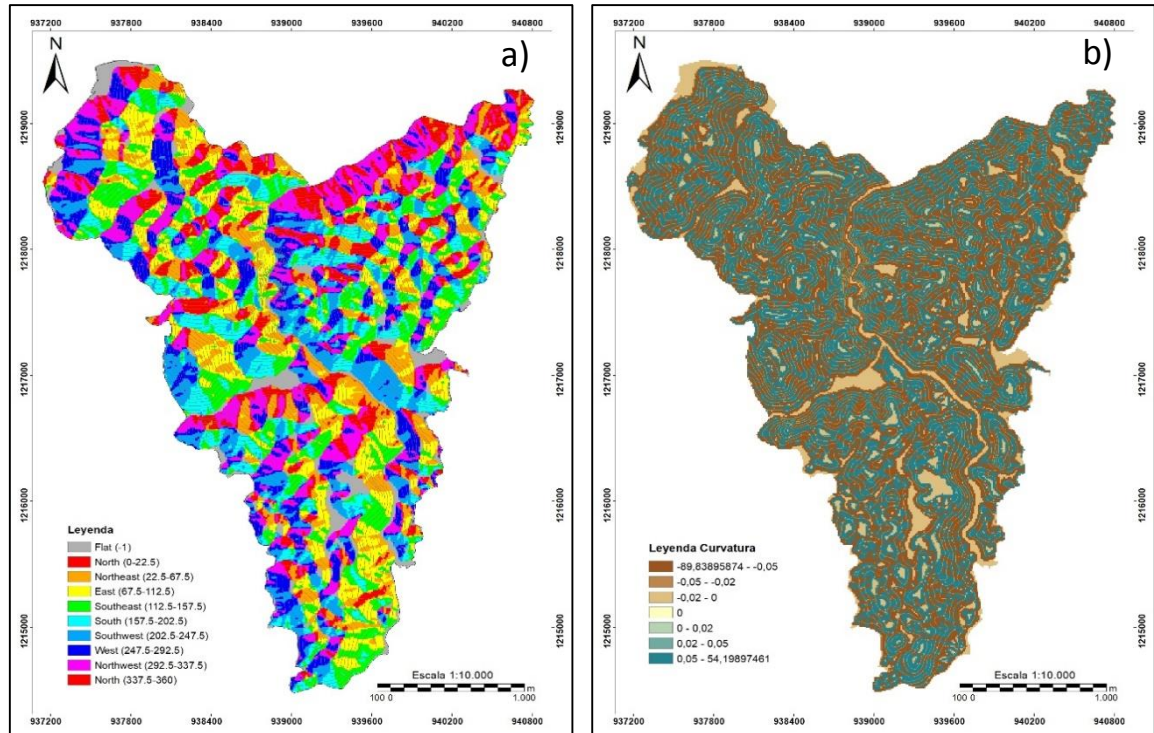


Figura 16. a) Mapa de aspecto del Cañón del río Alicante, representa la pendiente y sus respectivos grados con tonos distintos. b) Mapa de curvatura del Cañón del río Alicante, representa las zonas cóncavas, convexas y planas.

- **Mapa pendiente**

En el mapa de pendiente se calcula la tasa máxima de cambio del valor de una celda a sus vecinas, es decir, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho vecinas identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda. El ráster de pendiente de salida se puede calcular en dos tipos de unidades: grados o porcentaje (Desktop.arcgis.com, 2008).

La herramienta Pendiente se ejecuta con más frecuencia en un dataset de elevación, como se muestra en la figura 17. Las pendientes más empinadas están sombreadas en tono rojo (60-78,6°), después la pendiente irá bajando

progresivamente pasando por los tonos naranjas (40-60°), luego amarillo (30-40°) y, finalmente, presentará tonos verdes en las zonas de más baja pendiente (0-30°).

Este mapa fue reclasificado siguiendo la propuesta de Regmi (2010).

Tabla 2. Rangos usados en la reclasificación de la variable Pendiente para el Cañón del río Alicante.

| Rangos asignados en grados | Descripción |
|----------------------------|------------------------------|
| 0 - 10° | Plano a suavemente inclinado |
| 10 – 20° | Inclinado |
| 20 – 30° | Muy inclinado |
| 30 – 40° | Abrupta |
| 40 – 50° | Muy abrupta |
| 50 – 60° | Escarpada |
| > 60° | Muy escarpada |

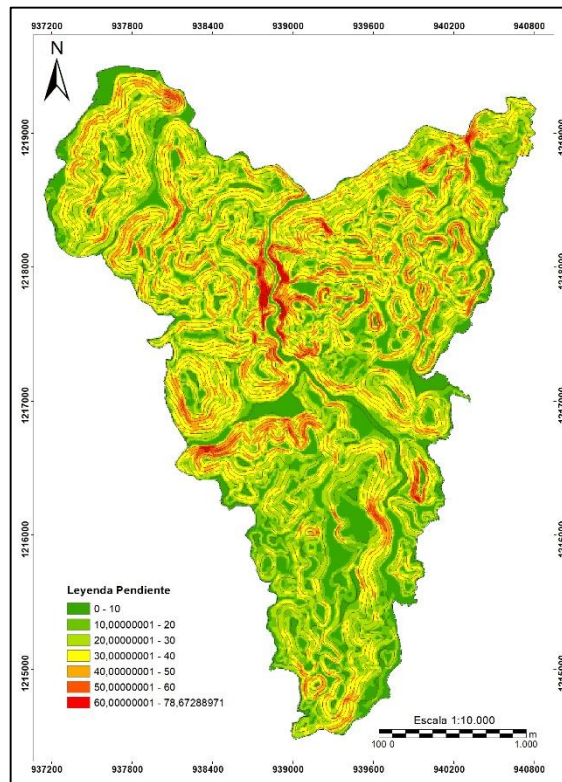


Figura 17. Mapa de pendientes del Cañón del río Alicante, representa la pendiente en grados.

11.1.2. Morfología

Las unidades que se describirán a continuación hacen parte del frente erosivo del Magdalena y superficie de erosión San Lucas, dos unidades importantes de relieve según Corantioquia, y de los ambientes denudacional, fluvial y estructural, según el SGC.

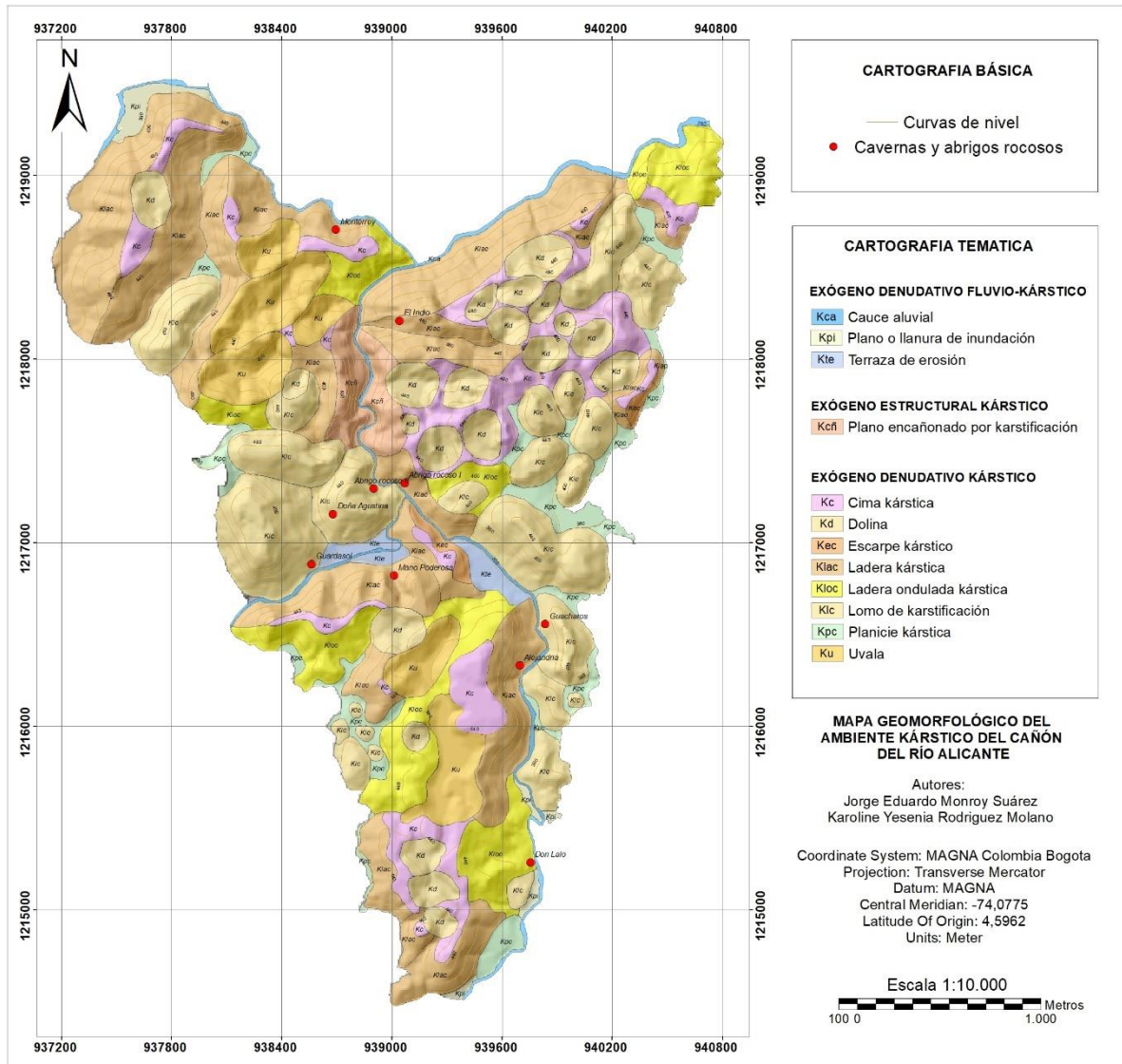


Figura 18. Mapa geomorfológico escala 1:10.000, Cañón del río Alicante, municipio de Maceo.

La separación de las zonas geomorfológicas homogéneas de la figura 18 se realizó con ayuda del análisis de modelos de elevación del terreno, cartografía base y fotografías aéreas. Se tuvieron en cuenta aspectos importantes como la pendiente, alturas, vegetación y tipo de drenaje.

11.1.2.1. Formaciones exokársticas

En el mapa geomorfológico obtenido se identificaron un total de doce unidades que se agruparon en tres conjuntos denominados: exógeno denudativo kárstico, exógeno estructural kárstico y exógeno denudativo fluvio-kárstico. La descripción de estos conjuntos y sus unidades se presenta a continuación:

- **Exógeno denudativo fluvio-kárstico**

Este conjunto incluye aquellas geoformas cuya génesis está ligada a cuerpos de agua continentales (ríos y quebradas), ya sea por procesos de erosión que le dan una nueva forma al paisaje, o por procesos de depositación y acumulación de sedimentos. A continuación, se describen las geoformas de origen fluvial.

11.1.2.1.1. Cauce aluvial (Kca)

Canal de forma irregular que ha sido excavado por corrientes constantes dentro de sedimentos. Esta unidad se relaciona con las principales fuentes que drenan el área, las quebradas Alejandría, Guardasol (figura 19) y La Sonadora, ubicadas al sureste, oeste y noroeste de la zona de estudio respectivamente y el río Alicante al norte. Presentan una superficie de 182.196,79 m² y representa el 2,06% del área total de la zona.



Figura 19. Cauce aluvial, quebrada Alejandría al SE de la zona.

11.1.2.1.2. Plano o llanura de inundación (Kpi)

Franja de terreno plana, de morfología baja y ondulada, eventualmente inundable. Se cartografiaron cuatro unidades identificadas a partir del análisis de sensores remotos, bordeando el cauce fluvial de las quebradas Alejandría y La Sonadora, localizadas al sureste y noroeste como áreas estrechas y alargadas, con superficies de 4.267,38 m² a 53.167,34 m² y representa el 0,95% del área total de la zona (figura 20).

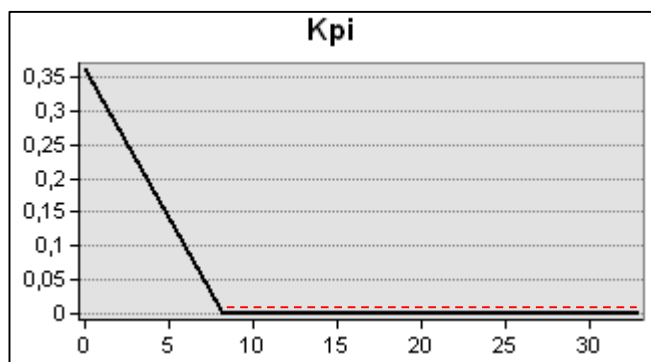


Figura 20. Perfil transversal de plano o llanura de inundación.

11.1.2.1.3. Terraza de erosión (Kte)

Se cartografiaron tres terrazas de erosión identificadas a partir del análisis de sensores remotos, son planos elongados de morfología plana a suavemente ondulada y modelada sobre sedimentos aluviales que se presentan en forma paralela a lo largo del cauce de las quebradas Guardasol y Alejandría al oeste y sureste del área de estudio, respectivamente. Presenta superficies desde 18.812,73 m² a 53.569,20 m² y representa el 1,20% del área total de la zona (figura 21).

Su origen está relacionado con procesos de erosión y acumulación aluvial dentro de antiguas llanuras de inundación, por donde fluyen las quebradas Guardasol y Alejandría.

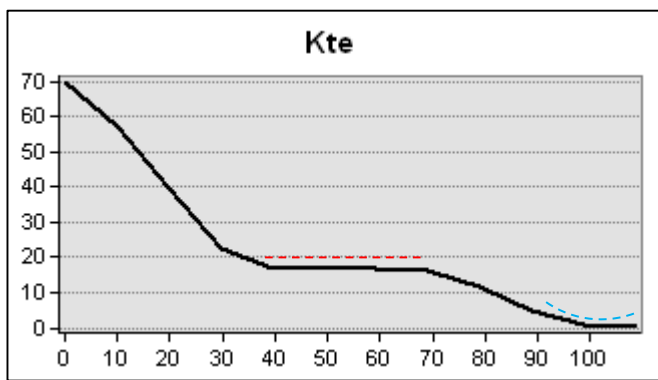


Figura 21. Perfil transversal de terraza de erosión, quebrada Guardasol señalada en azul.

- **Exógeno estructural kárstico**

Este conjunto incluye aquella geoforma que ha sido originada por la acción de la dinámica interna de la tierra, particularmente por la acción del plegamiento y fracturamiento (fallas y diaclasas) que construyen y dan forma al relieve.

11.1.2.1.4. Plano encañonado por karstificación (Kcñ)

La formación de este plano encañonado profundo característico de este paisaje se atribuye a la disolución de las rocas por medio de las fracturas asociadas a los

lineamientos de las fallas regionales como resultado del levantamiento de la Cordillera Central, por lo tanto, el control estructural es un factor importante en su formación, ya que ha causado una aceleración en la disolución.

Se delimitó a partir del análisis de sensores remotos. Está localizado en la parte más encañonada del río Alicante en el centro de la zona (figura 22), esta unidad comienza en la unión entre las quebradas Guardasol y Alejandría, está limitada por paredes muy escarpadas producto de procesos de disección, erosión fluvial y disolución intensa de las rocas calcáreas, una longitud de 686 m y una superficie de 214.861,73 m². Su orientación sugiere una relación estrecha con la falla Palestina y representa el 2,42% del área total de la zona.



Figura 22. Plano encañonado por karstificación, ubicado en la parte centro-norte de la zona de estudio. Imagen tomada de Google Earth.

- **Exógeno denudativo kárstico**

Este conjunto está constituido por estructuras que son el resultado de la intensa actividad de los procesos kársticos que han tenido lugar en la zona de estudio. Las unidades que se engloban dentro de este conjunto se encuentran distribuidas por toda la región y, en algunos casos, siguiendo la dirección de los principales

lineamientos, los cuales están enmarcados principalmente por la falla Palestina. Las unidades que se pueden distinguir dentro de este grupo son las siguientes:

11.1.2.1.5. Cima kárstica (Kc)

Se cartografiaron 16 de estas unidades localizadas en mayor cantidad al noreste y sur de la zona (figura 23 y 24), las cuales se caracterizan por presentar una superficie amplia, cuya forma varía entre recta a ligeramente convexa y se encuentra limitada por laderas que exhiben una inclinación variable, principalmente una pendiente muy inclinada y en menor proporción, está asociado a laderas con pendientes muy abruptas, su origen suele estar relacionado a procesos de meteorización y erosión. Exhiben superficies desde 3.086,53 m² hasta 382.161,01 m², las cual se aprecian al noreste rodeando las dolinas. Estas cimas pueden llegar a estar siendo afectadas por procesos de subsidencia generando dolinas, esto se puede apreciar al noreste y sur de la zona. Representa el 9,57% del área total de la zona.



Figura 23. Cima kárstica al NE de la zona.

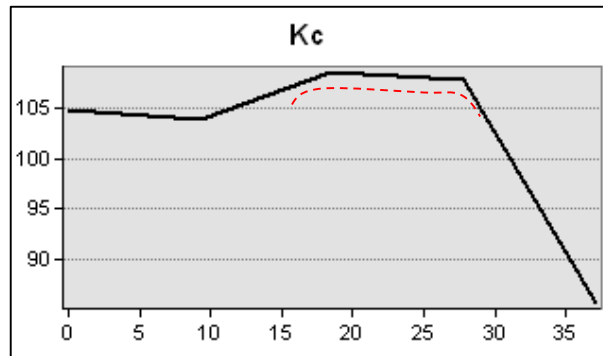


Figura 24. Perfil transversal de cima kárstica.

11.1.2.1.6. Dolinas (Kd)

El modelado exokárstico más representativo es una variedad morfológica de dolinas conocida como cockpit, características de zonas tropicales, las cuales se destacan por tener una forma estrellada y abundante vegetación, como se muestra en la imagen. Dentro de este cockpit, existen varios tipos de dolinas respecto a la forma que desarrollan, en cubeta y en embudo. Las formas más representativas en el área de estudio son las dolinas en embudo, las cuales tienen su origen y evolución por la combinación entre la disolución y subsidencia, se caracterizan por tener un diámetro mayor que su profundidad. Se cartografiaron 21 dolinas (figura 25 y 26) con dimensiones que varían desde 90 m de diámetro y poca profundidad con una superficie de 9.154,53 m², a amplias depresiones alcanzando los 360 m de diámetro con una superficie de 53.731,05 m². Presentan diferentes morfologías, como redondeadas y elípticas, se caracterizan por presentar paredes suavizadas y por la ausencia de agua en su interior. Representan el 8,96% del área total de la zona.

Las dolinas de la zona se pueden dividir según su localización en dos grupos. Por una parte, están los cuerpos que se encuentran en la porción sur del área (figura 25), presentan una distribución aleatoria, lo cual indica que su génesis no tiene relación con el sistema de fallas principal, estas dolinas se caracterizan por su morfología muy regular presentando formas elípticas y redondeadas. Por otro lado, se encuentran las dolinas que se localizan en la parte noreste del área (figura 27), la orientación preferencial de este grupo sugiere que su génesis presenta una

estrecha relación con las estructuras de la zona, principalmente con la falla Palestina. Estas dolinas se caracterizan por su morfología irregular.



Figura 25. Dolinas orientadas localizadas al NE de la zona. Imagen tomada de Google Earth.

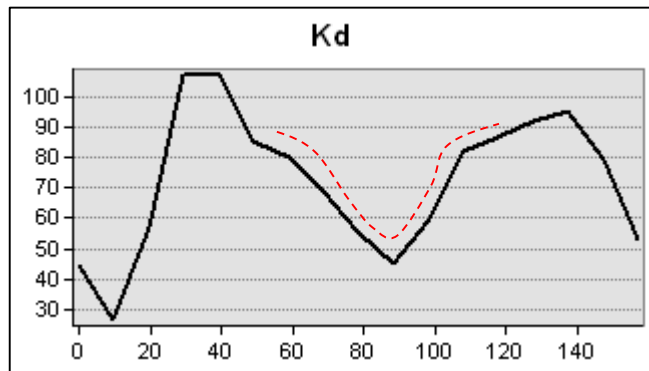


Figura 26. Perfil transversal dolina.



Figura 27. Dolinas no orientadas localizadas al S de la zona. Imagen tomada de Google Earth.

11.1.2.1.7. Escarpe kárstico (Kec)

Esta unidad se encuentra al oriente de la zona con una longitud de 350 m. Laderas con longitud corta, de forma típicamente cóncava o convexa y pendiente muy escarpada, su origen se relaciona a procesos de socavación fluvial lateral y disolución.

Se cartografiaron dos unidades identificadas a partir del análisis de sensores remotos, ubicadas al noreste de la zona de estudio con una superficie de 14.426,24 m² y en el centro bordeando 533,15 m de la quebrada Alejandría con una superficie de 33.651,25 m². Representa el 0,54% del área total de la zona (figura 28).

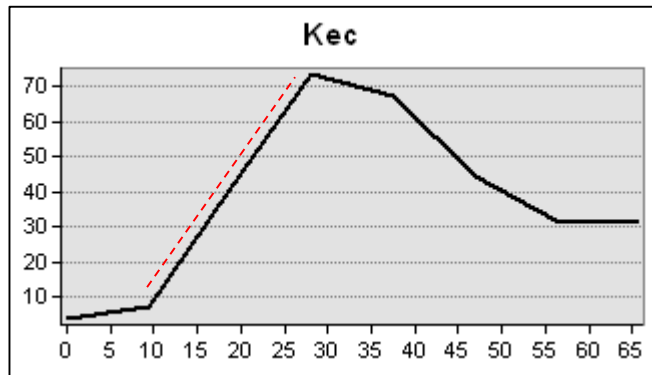


Figura 28. Perfil transversal de escarpe kárstico.

11.1.2.1.8. Ladera kárstica (Klac)

Se cartografiaron 21 unidades ampliamente distribuidas a lo largo de la zona (figura 29 y 30), se encuentran como superficies que presentan pendientes inclinadas a muy abruptas, así como longitudes que van desde cortas a largas, encontrándose en la parte norte las de mayor superficie y alcanzando áreas de 398.559,59 m² y en el centro del área de estudio se encuentra la de menor superficie con solo 8.485,60 m². La forma de estas laderas es principalmente recta, seguido de irregulares. Representan el 29,02% del área total de la zona.



Figura 29. Ladera kárstica al SE de la zona.

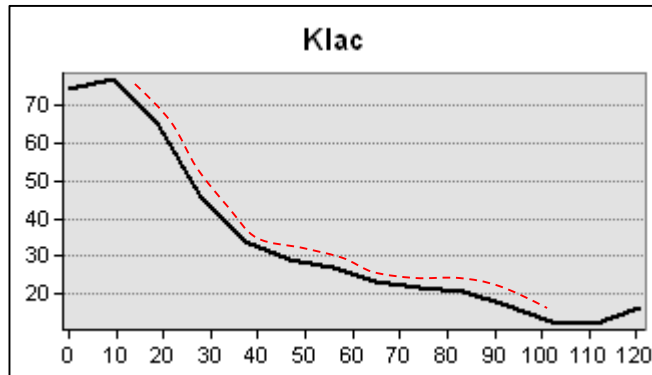


Figura 30. Perfil transversal de ladera kárstica.

11.1.2.1.9. Ladera ondulada kárstica (Kloc)

Se cartografiaron ocho laderas onduladas kársticas con una morfología alomada y pendiente inclinada a abrupta. En la parte sur se encuentran las de mayor longitud (figura 31 y 32), alcanzando áreas de 243.907,04 m² y en el occidente del área de estudio se encuentra la de menor longitud con solo 23.991,02 m². Este tipo de unidad geomorfológica presenta como patrón de drenaje representativo una variación de subdendrítico, los tramos de drenaje son relativamente cortos. Las laderas desarrolladas dentro de esta unidad geomorfológica se caracterizan por desarrollar suelos residuales de moderado espesor y depósitos coluviales. Representan el 10,42% del área total de la zona.



Figura 31. Ladera ondulada kárstica al S de la zona

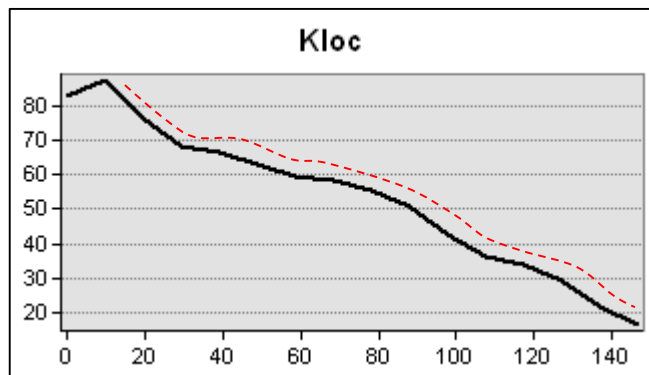


Figura 32. Perfil transversal de ladera ondulada kárstica.

11.1.2.1.10. Lomo de karstificación (Klc)

Cerros elongados de morfología alomada, laderas cortas y forma convexa, con topes redondeados, las pendientes de sus laderas son inclinadas. Siendo esta la segunda unidad más representativa de la zona de estudio, se cartografiaron once lomos de karstificación que varían de longitudes desde 200 m hasta 790 m (figura 33 y 34) con superficies desde 4.894,48 m² hasta 310.540,01 m². Se caracterizan por sus laderas irregulares. Representan el 22,16% del área total de la zona.

Los lomos de kárstificación de la zona se pueden dividir en dos grupos según su localización. Por una parte, están los cuerpos que se encuentran distribuidos en toda la zona este del área (figura 33), en sentido SW-NE, esta orientación sugiere una relación estrecha con la falla Palestina. Estos lomos se caracterizan por tener laderas regulares e irregulares y longitudes muy variadas. Además, se encuentran los lomos localizados en la parte oeste del área (figura 35), presentan una distribución aleatoria, lo cual indica que su génesis no tiene relación estructural con el sistema de fallas.



Figura 33. Lomo de karstificación al E de la zona.

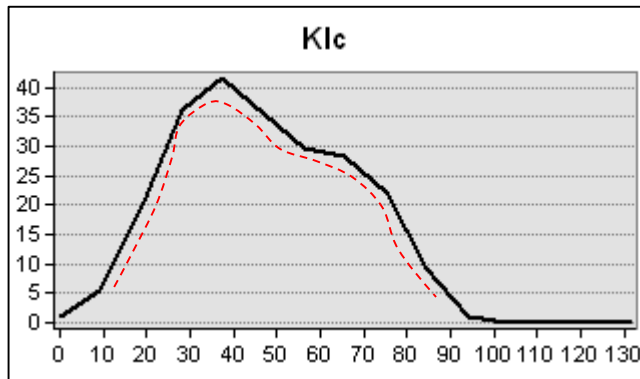


Figura 34. Perfil transversal de lomo de karstificación.

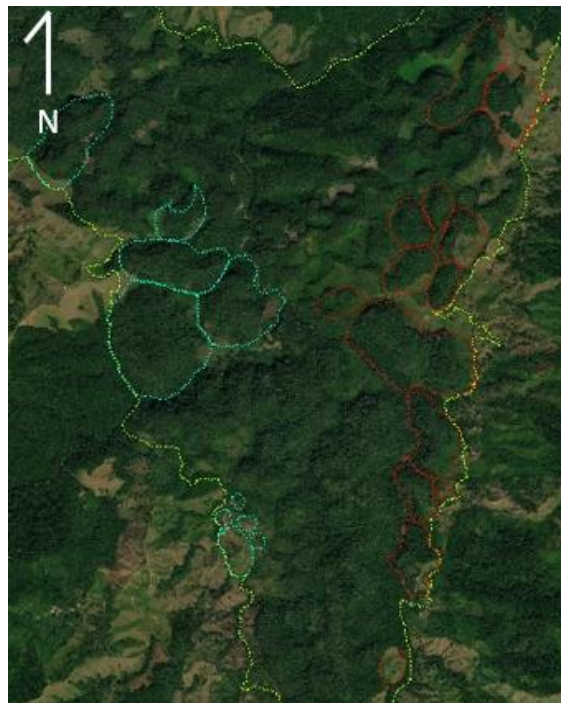


Figura 35. Lomos orientados al SW-NE resaltados en rojo y lomos aleatorios resaltados en azul. Imagen tomada de Google Earth.

11.1.2.1.11. Planicie kárstica (Kpc)

Se cartografiaron 17 unidades distribuidas aleatoriamente por toda el área de estudio a partir del análisis con sensores remotos, son zonas bajas planas o poco onduladas de pendiente plana a suavemente inclinada se encuentran

principalmente en las bases de los lomos y/o laderas, abarcan superficies de grandes extensiones alcanzando los 24.218,83 m² y de menores extensiones llegando hasta 8.994,49 m², presentan poca vegetación. Representan el 4,44% del área total de la zona (figura 36).



Figura 36. Planicie kárstica al SE de la zona.

11.1.2.1.12. Uvala (Ku)

Estas estructuras son el resultado de la coalescencia de dos o más dolinas, por lo que es muy común encontrar una uvala y una dolina situadas a menos de 100 m de distancia (figura 39). Las uvalas de este grupo presentan generalmente formas elípticas, sin embargo, las más desarrolladas llegan a tener formas muy irregulares. Se cartografiaron seis uvalas con dimensiones que varían desde 330 m de diámetro y poca profundidad, a amplias depresiones alcanzando los 630 m de diámetro, presentan diferentes morfologías como elípticas e irregulares. Se caracterizan por presentar paredes suavizadas y por la ausencia de agua en su interior.

Las uvalas de la zona se pueden dividir en dos grupos, según su localización. Por una parte, están los cuerpos que se encuentran distribuidos en toda la zona

noroeste (figura 37 y 38a) del área con una orientación SW-NE, esto puede indicar que su génesis está relacionada con los lineamientos paralelos a la falla Palestina . Estas uvalas se caracterizan por su morfología muy regular presentando formas, además en este grupo se aprecian las de mayor tamaño con una superficie de 183.718,04 m², y las de menor superficie con 54.083,98 m². También se encuentran las uvalas localizadas en la parte sur del área (figura 38b), con una orientación similar a las anteriores.



Figura 37. Uvala al NW de la zona.

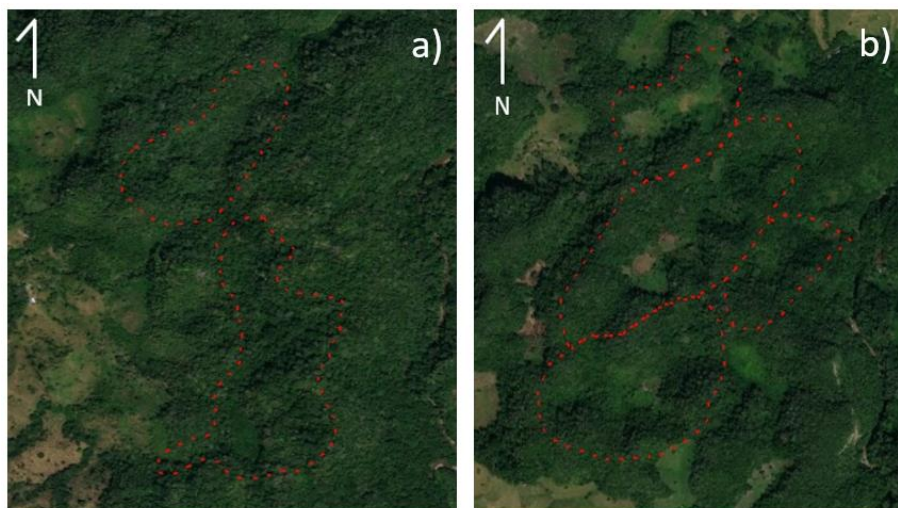


Figura 38. a) Uvalas orientadas al NW de la zona. b) Uvalas al S de la zona. Imágenes tomadas de Google Earth.

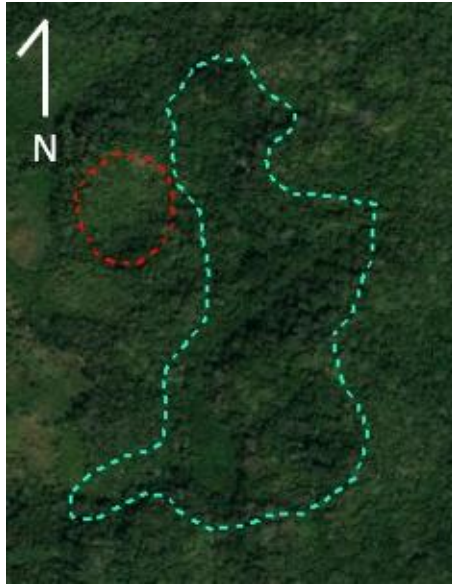


Figura 39. Uvala y dolina situada a menos de 100 m, al S de la zona. Imagen tomada de Google Earth.

11.1.2.2. Elementos endokársticos

Para la caracterización de elementos endokársticos en el área de estudio, se utiliza como referente la caverna Guardasol, la cual fue levantada con cinta y brújula.

- **Caverna Guardasol**

En su interior se encuentran albergados varios espeleotemas formados por calcita, sin embargo, presentan relativamente una densidad y dimensiones menores de estos, en comparación con la caverna del Nus.

La caverna Guardasol se encuentra situada en el suroeste de la zona de estudio, sobre el río Guardasol, cerca de la vereda Santa Barbara, lugar por donde es más fácil el acceso, desde el municipio de Maceo. Esta cuenta con una única y estrecha entrada ubicada a una elevación de 8 m sobre el nivel de la quebrada Guardasol y 380 msnm, su extensión máxima es de 188 m de norte a sur y presenta una anchura máxima de 53 m de este a oeste. Según su contenido de agua, la caverna se clasifica como epifreática, ya que sus salones y pasillos más bajos están siendo drenados por una pequeña entrada de agua proveniente de la quebrada Guardasol.

11.1.2.2.1. Salones

La caverna está formada por ocho salones, los cuales se encuentran enumerados del I a VIII en el croquis de la caverna en la figura 45. Esta caverna se encuentra constituida en general, por salones pequeños, como el que se muestra en la figura 40a. Entre estos se destacan la mayoría, a excepción del salón VI, siendo este el más extenso con una dimensión que alcanza los 30 m de longitud y 8 m de ancho, la altura de los techos en estos salones, en general, es de aproximadamente 4 m, sin embargo, algunos salones alcanzan los 10 m de altura. La caverna cuenta con pasillos angostos y extensos como los que se muestran en la figura 40b. que interconectan la estructura de un lugar a otro dándole tendencia laberíntica, la altura de los techos de estos pasillos, en general, es de aproximadamente 3 m, algunos de ellos son muy bajos alcanzando alturas de 1,5 m, aproximadamente.



Figura 40.a) Salón V. b) Pasillo angosto y extenso que interconecta el fondo de la caverna con el salón VII.

11.1.2.2.2. Espeleología

En general, es característica la presencia de estructuras espeleoémicas como piedras de flujo, estactitas y estalagmitas, estos dos últimos no son tan numerosos ni tienen muy grandes dimensiones en comparación a la caverna del Nus. En el salón VII, debido a su rica ornamentación, pueden observarse varias e interesantes estructuras estalagmíticas de pequeños tamaños (figura 42). También, son comunes la unión de estas estructuras formando columnas (figura 41), en todos estos depósitos predominan los colores grisáceos, blanco hueso y pardo claro a oscuro.

- **Piedra de flujo**

Los depósitos de piedra de flujo son muy comunes revistiendo las paredes y las demás estructuras espeleotémicas en todos los salones y pasillos caracterizados en esta caverna, estos tienen un aspecto espectacular por las diversas formas generadas a partir de la disolución de estas rocas, como se muestra en la figura 41.



Figura 41. Piedra de flujo en la pared del gran pasillo que interconecta el fondo de la caverna con el salón VI.

- **Estalactitas**

Los depósitos estalactíticos se encuentran colgando de los techos, tanto en los salones como los pasillos y paredes de la caverna, son puntiagudas y presentan longitudes de pocos metros a centímetros, y diámetros de pequeñas dimensiones. Es común la presencia de agua en ellas y se caracterizan por tener coloraciones pardas claras a oscuras, siendo las oscuras las más comunes. Las mejores exposiciones de estos pueden ser observados en el salón VII (figura 42).



Figura 42. Salón VII, rico en ornamentación.

- **Estalagmitas**

Los depósitos estalagmíticos se encuentran en el piso, tanto de los salones como en los pasillos y paredes de la caverna, la mayoría presentan puntas redondeadas y sus tamaños varían desde pocos centímetros hasta los 2 m de altura, con diámetros que no sobrepasan los 30 cm. La estalagmita de mayor dimensión en toda la caverna se encuentra en el salón IV y se muestra en la figura 43.



Figura 43. Estalagmita más grande de la caverna, salón II.

- **Columnas**

En algunos lugares las estalactitas y estalagmitas se han unido formando columnas, pueden observarse a lo largo de toda la caverna en diferentes dimensiones, desde pocos centímetros de diámetro y longitud, como se muestra en la figura 44b, hasta columnas que alcanzan los 3 m de longitud y 60 cm de diámetro, como se muestra en la figura 44a, siendo esta la más grande de toda la caverna ubicada en el salón I



Figura 44. a) Columna más grande de la caverna, salón I. b) Columnas de pequeñas dimensiones desarrolladas en las paredes de los pasillos entre los salones VII y VIII.

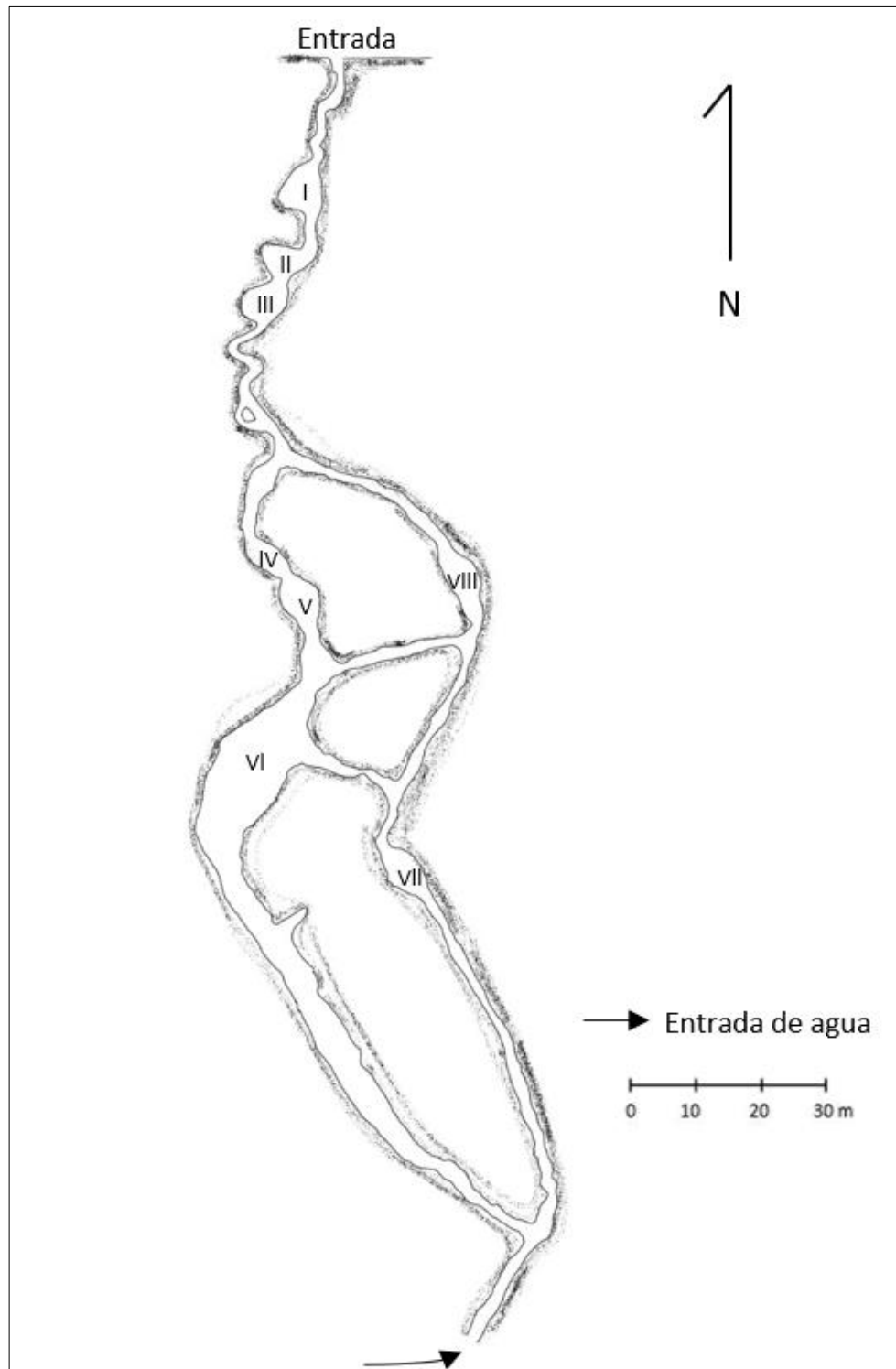


Figura 45. Croquis de la caverna Guardasol levantada con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al VIII.

11.2. CAÑÓN DEL RÍO NUS

11.2.1. Morfometría

La morfometría es utilizada para determinar atributos configuracionales del relieve y, con base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno (Pedraza Gilsanz, 1996).

- **Mapa aspecto**

En el mapa de aspecto (figura 46a) el mayor porcentaje de las pendientes se encuentran en las zonas con direcciones hacia oeste ($247.5-292.5^\circ$ azimut) y el noroeste ($292.5-337.5^\circ$ azimut), representadas en el mapa con color azul oscuro y morado, respectivamente. En menor porcentaje las zonas con dirección sur ($157.5-202.5^\circ$ azimut), este ($67.5-112.5^\circ$ azimut) y sureste ($112.5-157.5^\circ$ azimut) representadas en el mapa con color celeste, amarillo y verde, respectivamente. Por último, y en menor porcentaje, en el sentido noreste ($22.5-67.5^\circ$ azimut) y norte ($337.5-22.5^\circ$ azimut), representadas en el mapa con color naranja y rojo, respectivamente.

- **Mapa curvatura**

En el mapa de curvatura se visualiza la forma o la curvatura de la pendiente, donde, una parte de la superficie puede ser cóncava, convexa o plana.

En el mapa de curvatura (figura 46b) se puede evidenciar que en la mayoría del mapa se encuentran zonas de valores positivos de tonalidades azules donde se evidencian superficies cóncavas donde las corrientes suelen acelerar. En menor porcentaje hay zonas con valores negativos de tonalidades café donde se evidencia que las superficies son convexas y las corrientes desacelerarían. Por último, y en menor cantidad, se encuentran zonas con valores cercanos a cero y de tonalidades

grises, lo que indica que dicha superficie no presenta curvas y tiende a ser lineal o plana.

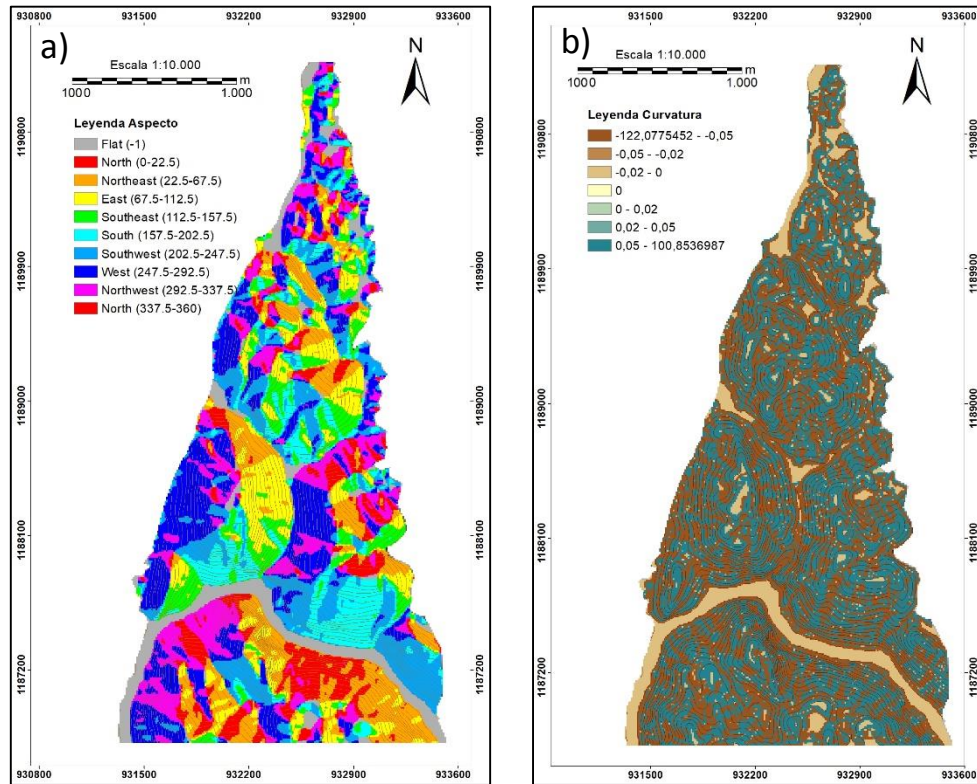


Figura 46. a) Mapa de aspecto del Cañón del río Nus, representa la pendiente y sus respectivos grados con tonos distintos. b) Mapa de curvatura del Cañón del río Alicante, representa las zonas cóncavas, convexas y planas.

- **Mapa pendiente**

La herramienta Pendiente se ejecuta con más frecuencia en un dataset de elevación, como se muestra en la figura 47. Las pendientes más empinadas están sombreadas en tono rojo ($60-78,6^\circ$), después la pendiente irá bajando progresivamente pasando por los tonos naranjas ($40-60^\circ$), luego amarillo ($30-40^\circ$) y por último, presentará tonos verdes en las zonas de más baja pendiente ($0-30^\circ$).

Tabla 3. Rangos usados en la reclasificación de la variable Pendiente del Cañón del río Nus.

| Rangos asignados en grados | Descripción |
|----------------------------|------------------------------|
| 0 - 10° | Plano a suavemente inclinado |
| 10 – 20° | Inclinado |
| 20 – 30° | Muy inclinado |
| 30 – 40° | Abrupta |
| 40 – 50° | Muy abrupta |
| 50 – 60° | Escarpada |
| > 60° | Muy escarpada |

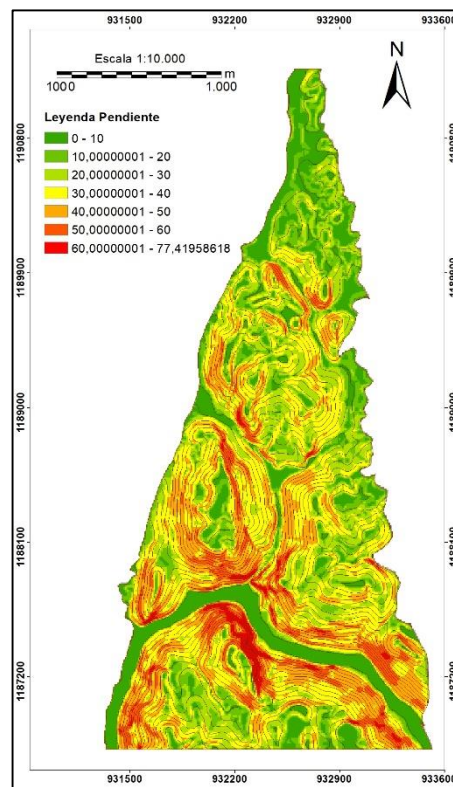


Figura 47. Mapa de pendientes del Cañón del río Nus, representa la pendiente en grados.

11.2.2. Morfología

Las unidades que se describirán a continuación hacen parte del frente erosivo del Magdalena y superficie de erosión San Lucas, dos grandes unidades de relieve según Corantioquia, y de los ambientes denudacional, fluvial y estructural según el SGC.

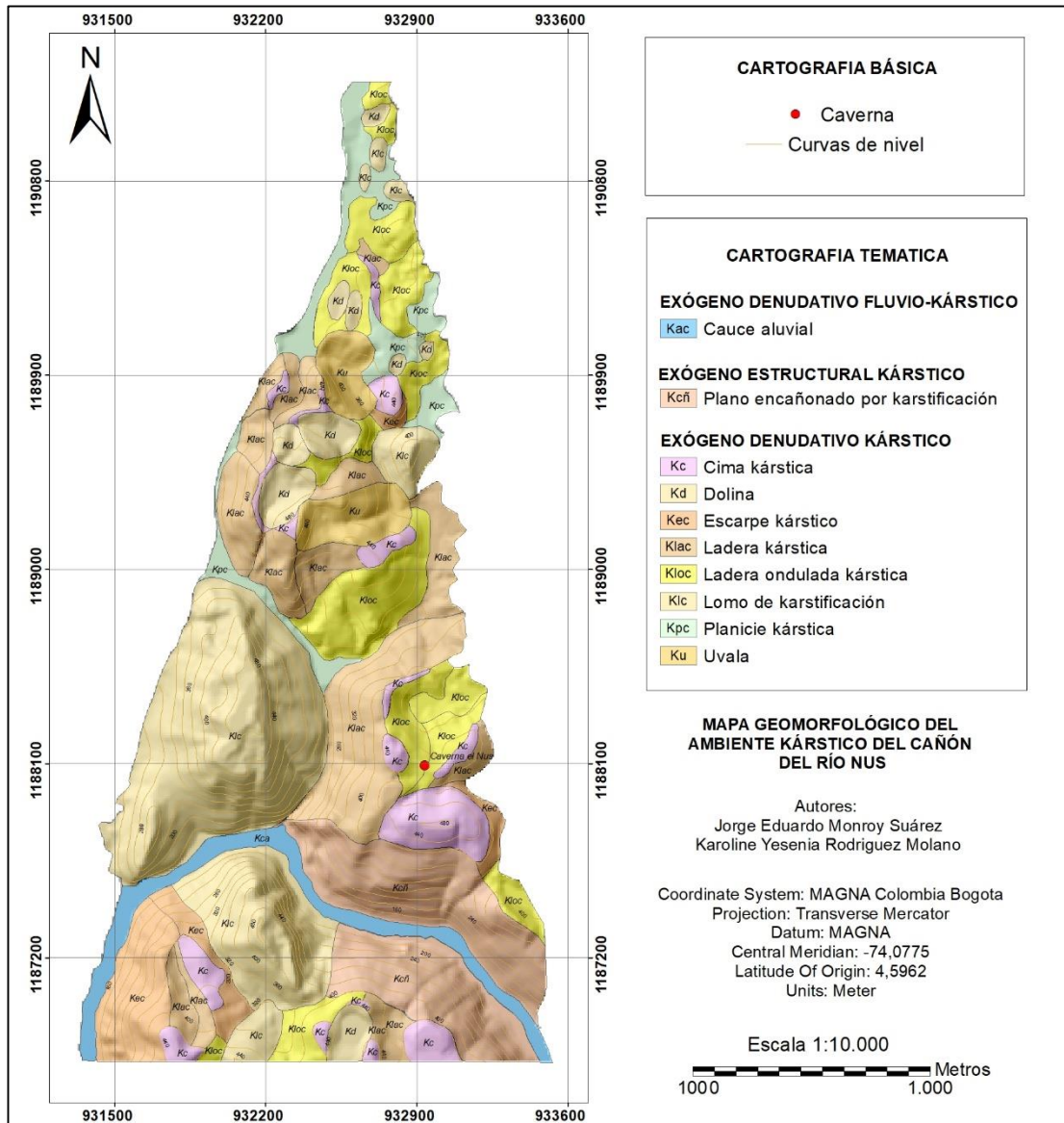


Figura 48. Mapa geomorfológico escala 1:10.000, Cañón del río Nus, municipio de Caracolí.

La separación de las zonas geomorfológicas homogéneas de la figura 48 se realizó mediante el análisis de modelos de elevación del terreno, cartografía base y fotografías aéreas. Se tuvieron en cuenta aspectos importantes como la pendiente, alturas, vegetación y tipo de drenaje.

11.2.2.1. Formaciones exokársticas

En el mapa geomorfológico obtenido para el área del Cañón del río Nus se identificaron un total de diez unidades que se agruparon en tres conjuntos, denominado exógeno denudativo fluvio- kárstico, exógeno estructural kárstico y exógeno denudativo kárstico. La descripción de este conjunto y sus unidades se presenta a continuación:

- **Exógeno denudativo fluvio-kárstico**

Este conjunto incluye aquella geoforma cuya génesis está ligada a cuerpos de agua continentales (ríos y quebradas) ya sea por procesos de erosión, que le dan una nueva forma al paisaje o por procesos de depositación y acumulación de sedimentos. A continuación, se describen las geoformas de origen fluvial.

11.2.2.1.1. Cauce aluvial (Kac)

Esta unidad se relaciona con los ríos Samaná y Nus (figura 49 y 50), principales ríos que drena el área localizados al sur y noroeste de la zona, respectivamente. Presentan una superficie de 225.818,20 m² y representa el 4,15% del área total de la zona.



Figura 49. Cauce aluvial, río Samaná.

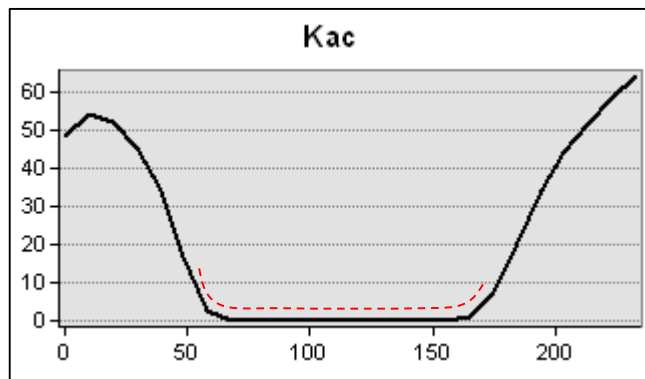


Figura 50. Perfil transversal de cauce aluvial.

- **Exógeno estructural kárstico**

Este conjunto incluye aquella geoforma que ha sido originada por la acción de la dinámica interna de la tierra, particularmente por la acción del plegamiento y fracturamiento (fallas y diaclasas) que construyen y dan forma al relieve.

11.2.2.1.2. Plano encañonado por karstificación (Kcñ)

La formación de este plano encañonado profundo característico de este paisaje se atribuye a la disolución de las rocas por medio de las fracturas asociadas a los lineamientos de las fallas regionales como resultado del levantamiento de la Cordillera Central, por lo tanto, el control estructural es un factor importante en su formación, ya que ha causado una aceleración en la disolución.

Zona plana limitada por paredes muy escarpadas socavadas por disolución de las rocas calcáreas que hacen parte de los lomos de karstificación, estos cañones son producto de la incisión de los principales ríos Nus y Samaná y sus afluentes.

Está localizado en la parte más encañonada del río Samaná (figura 51 y 52) al sureste de la zona con una pendiente muy escarpada, de longitud de 1.373,82 m y una superficie de 726.369,94 m². Representa el 13,34% del área total de la zona.



Figura 51. Encañonamiento del río Samaná

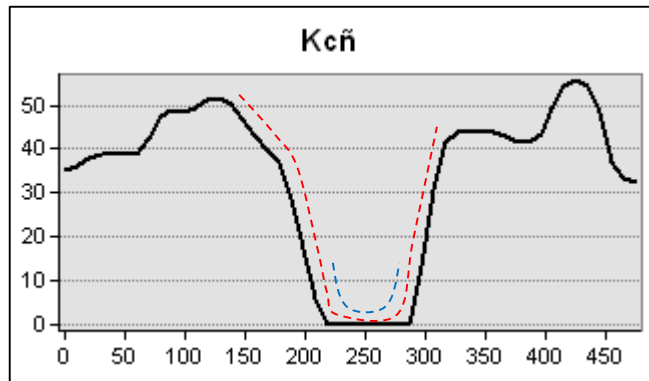


Figura 52. Perfil transversal de plano encañonado por kárstificación, río Samaná, señalado en azul.

- **Exógeno denudativo kárstico**

Este conjunto está constituido por estructuras que son el resultado de la intensa actividad de los procesos kársticos que han tenido lugar en la zona de estudio. Las unidades que se engloban dentro de este conjunto se encuentran distribuidas por la región y, en algunos casos, siguiendo la dirección de los principales lineamientos tectónicos, los cuales están enmarcados principalmente por las fallas Palestina y Otú. Las unidades que se pueden distinguir dentro de este grupo son las siguientes:

11.2.2.1.3. Cima kárstica (Kc)

En la zona, se cartografiaron 16 unidades, localizadas principalmente al este y sur de la zona, esta geofoma se observa principalmente de manera convexa y plana, se encuentra que las laderas que la limitan, presentan pendiente muy abrupta, y en menor proporción está asociado a laderas con pendientes medias. Alcanzan magnitudes desde unos pocos metros (figura 53), llegando a grandes extensiones con longitudes superiores a 400 m y superficies desde 2.617,00 m² hasta 123.118,77 m². Presenta una superficie amplia, cuya forma varía entre recta a ligeramente convexa e irregular. Se presenta limitada por laderas que exhiben una inclinación muy abrupta. Estas cimas pueden estar siendo afectadas por procesos

de subsidencia, generando dolinas, esto se puede apreciar al sur de la zona. Representa el 6,70% del área total de la zona.



Figura 53. Cima kárstica al S de la zona.

11.2.2.1.4. Dolina (Kd)

En estas depresiones, al igual que las caracterizadas en el río Alicante, las más comunes son las dolinas en embudo las cuales, se caracterizan por tener un diámetro mayor en superficie que en profundidad y presentar paredes suavizadas y ausencia de agua en su interior. Se cartografiaron nueve dolinas de tipo embudo con dimensiones que varían desde 83 m de diámetro y poca profundidad a amplias depresiones alcanzando los 300 m de diámetro con superficies desde 4.742,87 m² hasta 52.006,53 m². Las dolinas de la zona conforman en un solo grupo localizado al norte del área, presentan una distribución aleatoria, se caracterizan por su morfología muy regular presentando formas elípticas (figura 54). Representan el 4,07% del área total de la zona.



Figura 54. Dolina de pequeñas dimensiones al N de la zona.

11.2.2.1.5. Escarpe kárstico (Kec)

Esta unidad se encuentra principalmente al sur de la zona alcanzando longitudes de 900 m. Su origen se relaciona a procesos de socavación fluvial lateral y disolución. Posee laderas que presentan longitudes cortas a largas, de forma típicamente cóncava o convexa y pendiente muy escarpada mayores a 70°. Se cartografiaron cuatro unidades ubicadas al suroeste (figura 55 y 56) y este de la zona de estudio con una superficie mínima de 12.298,62 m² y máxima de 195.978,80 m². Representa el 5,60% del área total de la zona.



Figura 55. Escarpe kárstico al SW de la zona.

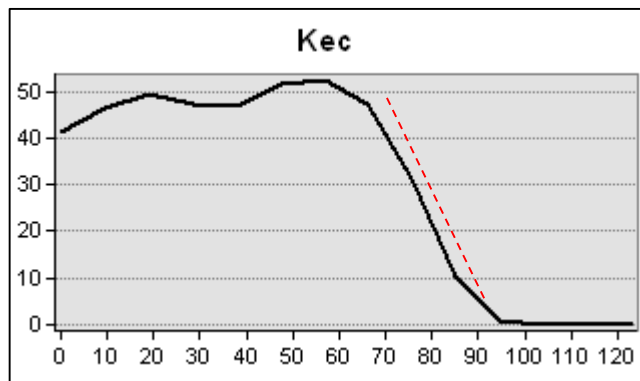


Figura 56. Perfil transversal de escarpe kárstico.

11.2.2.1.6. Ladera kárstica (Klac)

Se cartografiaron 16 unidades distribuidas principalmente en la parte central y, en menor cantidad, hacia el sur de la zona de estudio (figura 57 y 58), presentan pendientes inclinadas a muy abruptas, longitudes variadas y formas principalmente rectas a irregulares. En la parte central se encuentra la de mayor longitud con una distancia de 1.300 m y una superficie de 329.266,90 m², las superficies mínimas son de 8.895,16 m². Representa el 5,60% del área total de la zona.



Figura 57. Ladera kárstica al S de la zona.

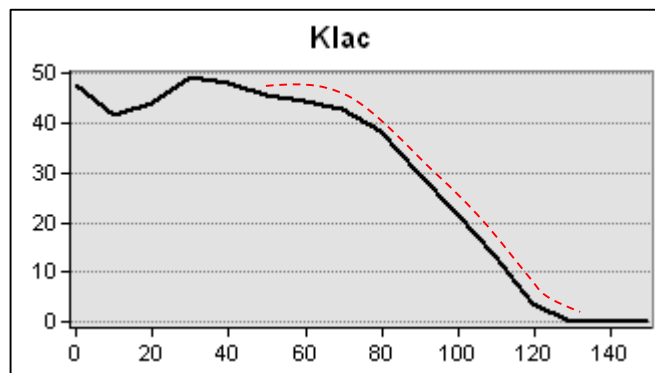


Figura 58. Perfil transversal de ladera kárstica.

11.2.2.1.7. Ladera ondulada kárstica (Kloc)

Se cartografiaron catorce laderas onduladas kársticas de morfología alomada, encontrándose en la parte central la de mayor longitud, alcanzando distancias de 660 m (figura 59 y 60) con un área de 208.190,02 m², y al norte del área de estudio se encuentra la de menor longitud con solo 140 m y 9.737,00 m² de superficie. Este tipo de unidad geomorfológica presenta como patrón de drenaje representativo subdendrítico, los tramos de drenaje son relativamente cortos. Las laderas desarrolladas dentro de esta unidad geomorfológica se caracterizan por desarrollar

suelos residuales de moderado espesor y depósitos coluviales. Representan el 4,29% del área total de la zona.



Figura 59. Ladera ondulada kárstica al S de la zona

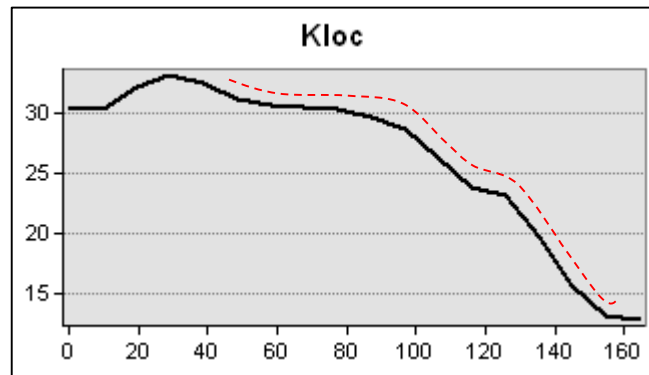


Figura 60. Perfil transversal de ladera ondulada kárstica.

11.2.2.1.8. Lomo de karstificación (Klc)

Cerros elongados de morfología alomada, laderas largas y forma convexa, con topes redondeados (figura 61 y 62). Existen siete de estos, dos de ellos de grandes dimensiones, presentan laderas largas de forma convexa que varían de longitudes

desde 30 m hasta 900 m, se caracterizan por sus laderas irregulares y moderadamente perpendiculares con superficies máximas de 902.008,48 m². En la zona norte se localizan los lomos de karstificación de menor tamaño, con áreas superiores a 5.323.80 m², mientras que a los alrededores del río Samaná, al sur, se aprecian los de mayor proporción. Estas formaciones dan lugar al encañonamiento de los ríos Samaná y Nus y representan el 25,99% del área total de la zona.



Figura 61. Lomo de karstificación bordeado por el río Samaná.

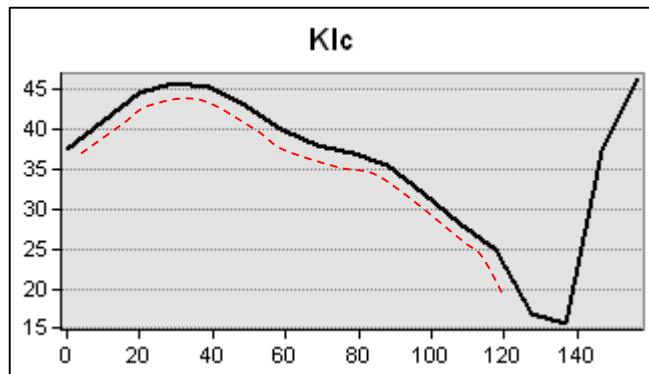


Figura 62. Perfil transversal de lomo de karstificación.

11.2.2.1.9. Planicie kárstica (Kpc)

Se cartografiaron cinco unidades a partir del análisis de sensores remotos, distribuidas aleatoriamente por el área de estudio, son zonas bajas de pendiente plana a suavemente inclinada, se encuentran principalmente en las bases de los lomos y laderas, abarcan superficies con extensiones de 26.390,54 m² hasta 128.468,67 m². Representa el 5,43% del área total de la zona.

11.2.2.1.10. Uvala (Ku)

Estas estructuras son el resultado de la coalescencia de dos o más dolinas, por lo que es muy común encontrar una uvala y una dolina situadas a menos de 100 m de distancia (figura 65).

Las uvalas de este grupo presentan formas elípticas. Se cartografiaron únicamente dos uvalas con dimensiones de 330 m de diámetro y poca profundidad y 87.483,38 m² de superficie, a 540 m de diámetro con 121.536,65 m² de superficie, presentan morfologías elípticas e irregulares, se caracterizan por presentar paredes suavizadas y por la ausencia de agua en su interior. Representan el 3,84% del área total de la zona (figura 63 y 64).

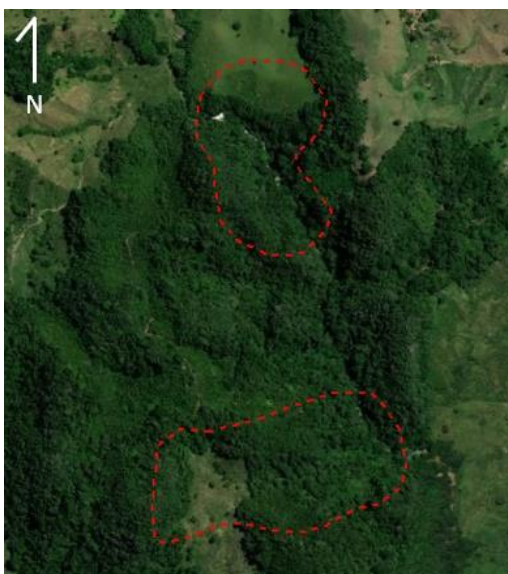


Figura 63. Uvalas al N de la zona. Imagen tomada de Google Earth.

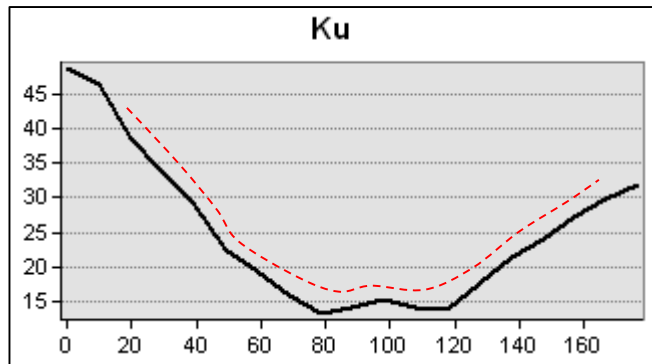


Figura 64. Perfil transversal de uvala.

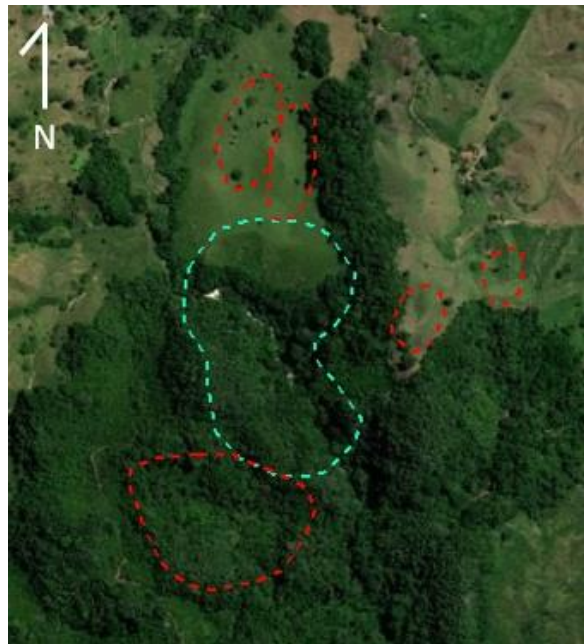


Figura 65. Uvala y dolinas situadas a menos de 100 m, al N de la zona. Imagen tomada de Google Earth.

11.2.2.2. Elementos endokársticos

Para la caracterización de elementos endokársticos en el área de estudio se utiliza como referente la caverna del Nus, la cual fue levantada con cinta y brújula.

- **Caverna del Nus**

Las formas endokársticas del área de estudio fueron caracterizadas en la caverna del Nus. Esta caverna se encuentra situada en el territorio de la vereda La Mesa del municipio de Caracolí, por donde se puede acceder por transporte terrestre. Se encuentra rodeada por los ríos Nus y Samaná por los cuales es posible el acceso en transporte fluvial, partiendo desde Puerto Nare aguas arriba del río Magdalena, Está localizada en unos de los grandes peñoles de mármol situados en la parte sureste de la zona de estudio. En su interior se encuentran albergados diversos e interesantes espeleotemas formados por calcita de grandes dimensiones.

La caverna cuenta con tres entradas, las cuales se encuentran a una altura promedio de 140 m sobre el nivel del río Samaná y 390 msnm, su extensión máxima es de 120 m de norte a sur y presenta un ancho máximo de 70 m de este a oeste.

Aunque la caverna presenta agua estancada de unos pocos centímetros de profundidad, en los salones más bajos III, VII y VIII, carece de corrientes de agua en su interior y, por lo tanto, el agua que entra está limitada a la que gotea del techo por disolución, por este motivo, se clasifica como vadosa.

11.2.2.2.1. Salones

La caverna está constituida por nueve salones los cuales fueron enumerados del I al IX en el croquis caverna en la figura 72, la mayoría de los salones se caracterizan por presentar grandes dimensiones, en donde la dimensión máxima es de 60 m de longitud por 30 m de ancho, la altura de estos salones, en general, es mayor a 5 m y, algunos de ellos, alcanzan hasta los 35 m de alto. El salón V se destaca como el

más grande y se caracteriza por presentar los espeleotemas más grandes de la caverna, como estalagmitas y columnas. Entre los salones más pequeños se destacan los salones VI y VIII.

Diferentes niveles de altura se encuentran a lo largo de toda la caverna, por lo cual su topografía varía en diferentes alturas en un mismo salón y de un salón a otro, lo cual dificulta el acceso a algunos de estos, en especial a los salones III, VIII y IX por los fuertes descensos que alcanzan hasta los 15 m de altura. Estos salones, además de sus niveles de alturas más bajos con respecto a los demás, se caracterizan por ser los únicos que contienen agua estancada de unos pocos centímetros de profundidad en su interior.

11.2.2.2. Espeleología

Todos los salones de la caverna del Nus, en sus paredes, techos y pisos se encuentran cubiertos por espeleotemas de diferentes formas y tamaños, formados por depósitos de calcita en forma de piedra de flujo, cortinas, estactitas y grandes estalagmitas y columnas, estas estructuras se encuentran en abundancia y en muy grandes dimensiones en casi todos los salones, en comparación con la caverna Guardasol, sin embargo, el salón V y VI son los más ornamentados. En todos estos depósitos predominan los colores café claro, grisáceos, blanco hueso y verdes claros por la presencia de algas sobre ellos.

- **Piedra de flujo**

Son comunes los depósitos de piedras de flujos en salones y paredes de la caverna, revistiendo depósitos de estalagmitas y estalactitas, dándoles una forma irregular, en la figura 66 se muestra un ejemplar de estos depósitos revistiendo las paredes del salón VII.

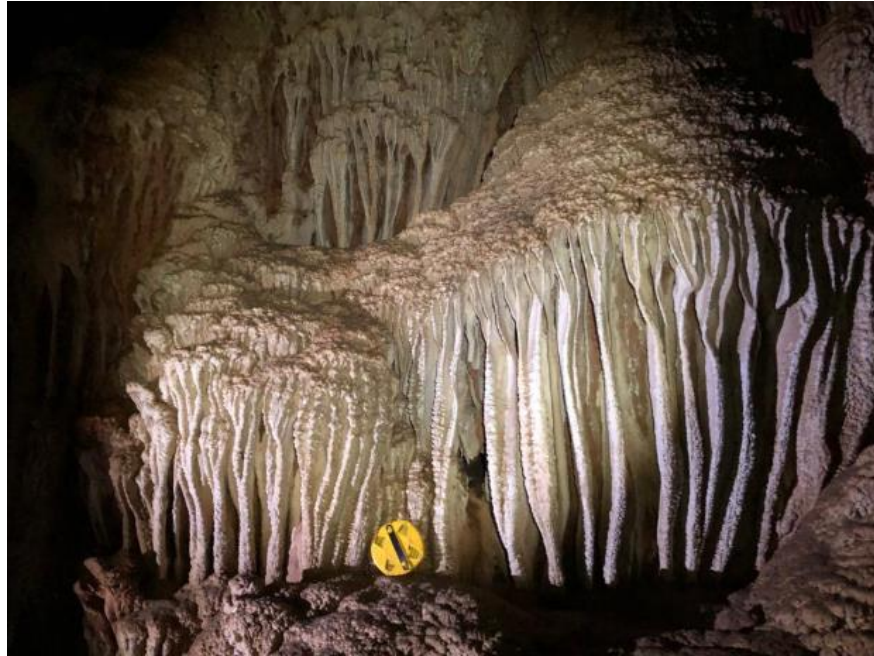


Figura 66. Piedra de flujo, salón VII.

- **Estalactitas**

Las estalactitas son las formas alargadas y puntiagudas que cuelgan de los techos y las paredes de todos los salones, algunas de ellas se encuentran revestidas por depósitos de piedra de flujo que le dan una forma irregular y puntas redondeadas. Presentan coloraciones blancas a pardas claras, en general, son secas, aunque en algunos salones contienen agua. Algunas de estas varían desde pocos centímetros hasta los 2 m de longitud con diámetros de hasta 50 cm, el salón más ornamentado con este tipo de espeleotemas es el salón VI (figura 67) que, a pesar de que muchos han sido destruidos por los turistas que visitan estas cavidades naturales, sigue siendo el más adornado de todos.



Figura 67. Estalactitas, salón VI.

- **Estalagmitas**

Estas formaciones alargadas se encuentran en el suelo de todos los salones, y son las formas más comunes de la caverna, generalmente presentan formas irregulares y puntas redondeadas por el revestimiento con depósitos de piedras de flujo, sus tamaños son muy variables, van desde pocos centímetros hasta los 9 m de altura y casi 3 m de diámetro. Las estalagmitas de mayores dimensiones se encuentran principalmente en el salón V, y el ejemplar más grande se encuentra en este mismo salón y se observa en la figura 68.



Figura 68. Estalagmita de grandes dimensiones, salón V.

- **Columnas**

Algunas estalagmitas y las estalactitas se han juntado para formar columnas, estas formaciones son muy comunes y son las estructuras más grandes de toda la caverna. Se pueden encontrar en tamaños muy variados, desde pocos metros de altura, como en la figura 69a hasta columnas que alcanzan casi 14 m de altura y 3 m de diámetro. La columna más grande se encuentra en salón V y puede observarse en la figura 69b, al frente de la entrada II, por lo cual se encuentra iluminada con luz natural, esta iluminación ha generado el desarrollo de algas sobre

esta estructura, y este es el motivo por el cual presenta una coloración verde clara que la distingue de las demás.

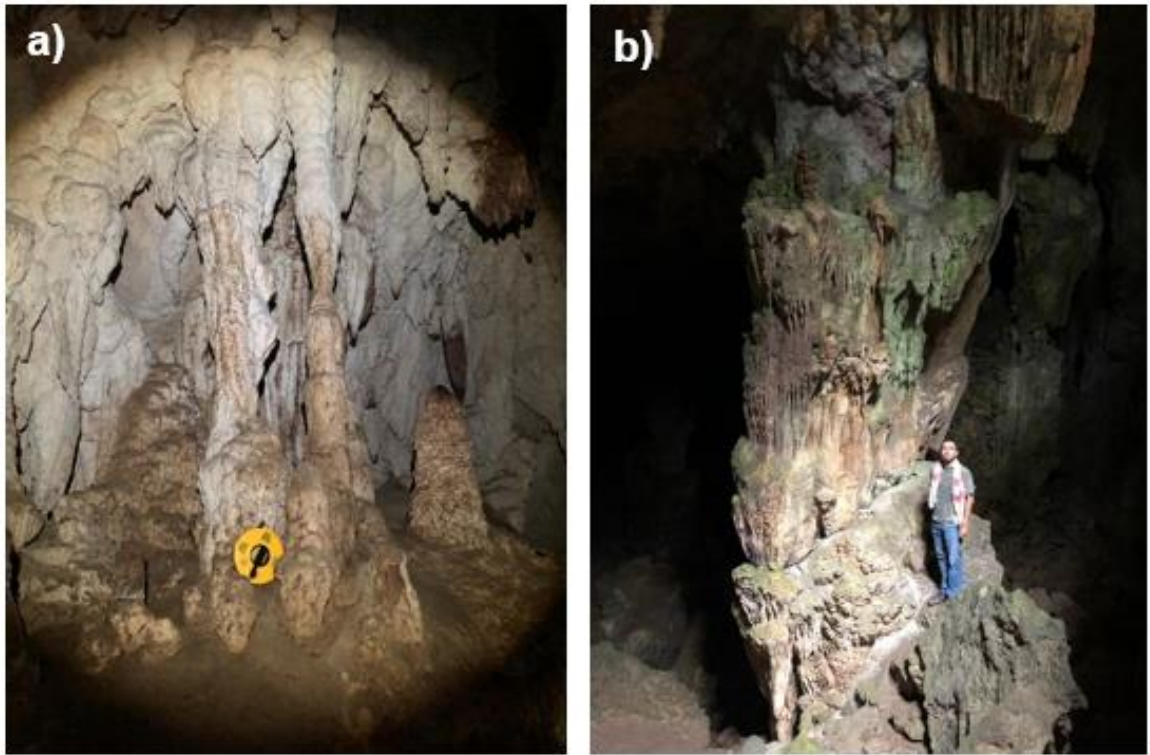


Figura 69. a) Columna de pequeñas dimensiones, salón VI. b) Columna de grandes dimensiones, salón V.

- **Cortinas**

Algunas de las estalactitas se han juntado entre sí para formar cortinas y, aunque no son tan abundantes, son comunes en el salón VI y V. Muchas de las puntas de las estalactitas formadoras de cortinas has sido destruidas por los turistas, al igual que muchos otros espeleotemas en algunos de los salones, lo anterior puede verse en la figura 70.



Figura 70. Unión de varias estalactitas formando cortinas con puntas destruidas, salón V.

- **Bloques de piso**

Los bloques en el piso son muy característicos a lo largo de la caverna, esto se ve reflejado en la mayoría de los salones en los cuales es evidente el colapso de muchas de las grandes estructuras espeleotémicas, estos bloques alcanzan longitudes de hasta 5 m y son más abundantes en el salón V, como se muestra en la figura 71a. Actualmente se pueden ver estructuras a punto de colapsar, como la gran estalagmita que se encuentra inclinada en salón I, esta puede verse en la figura 71b. En general, se caracterizan por estar por estar cubiertos por lodo pegajoso pardo oscuro, posiblemente formado por el agua que gotea lentamente de los techos que se mezcla en gran parte con el excremento de la fauna cavernícola. La destrucción de estas estructuras sugiere, que actualmente los procesos geológicos que actúan sobre la caverna están influenciando en mayor medida su destrucción.

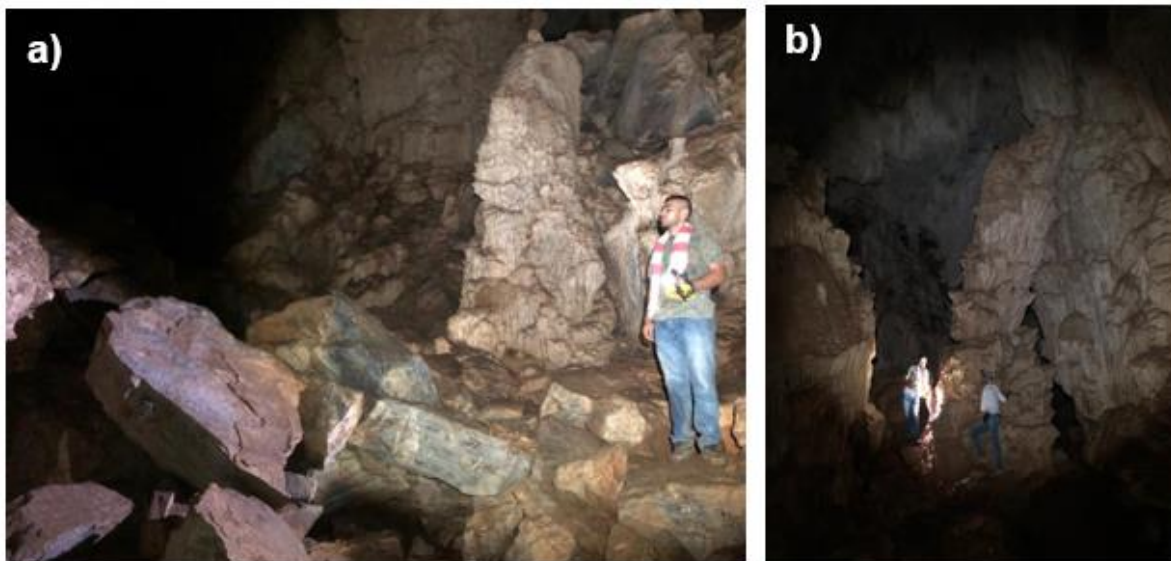


Figura 71. a) Bloques de piso en el salón V. b) Estalagmita inclinada en salón I.

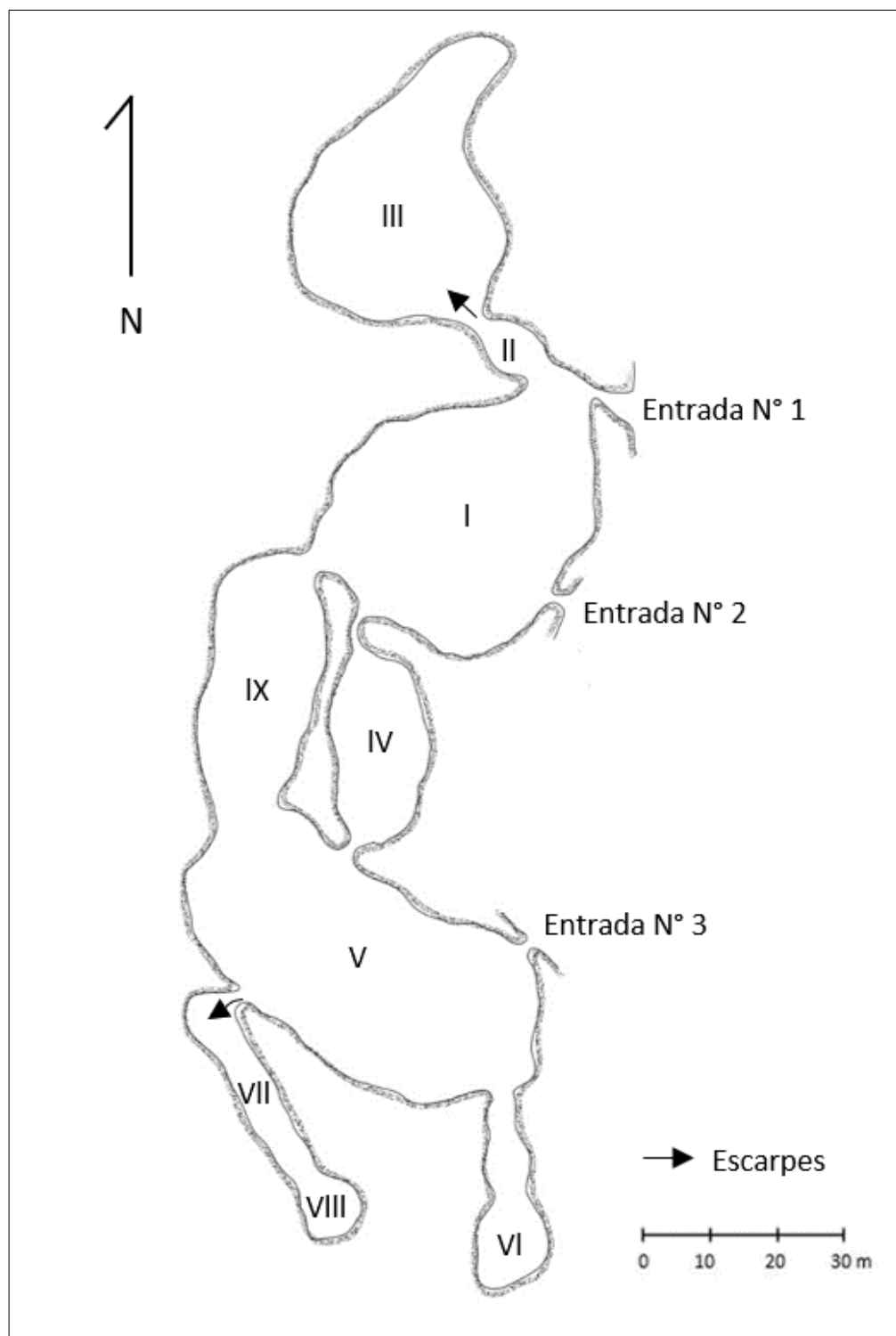


Figura 72. Croquis de la caverna del Nus levantado con cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al IX.

12. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA CAÑÓN DEL RÍO ALICANTE Y DEL RÍO NUS.

El área de estudio se encuentra ubicada al oriente de la Cordillera Central, está compuesta por rocas ígneas y metamórficas con temporalidades desde el Precámbrico hasta el Jurásico, además, está siendo afectado estructuralmente por las fallas Palestina y Otú (Feininger et. al, 1972).

La geomorfología actual de la zona es el resultado de la combinación y sucesión de procesos morfogenéticos de origen endógeno, relacionados con la actividad tectónica producto del levantamiento de la Cordillera Central, y exógenos, relacionados a la dinámica de la Tierra en superficie.

La distribución de este ambiente kárstico está determinada por las características litológicas y estructurales, y la ubicación latitudinal de las rocas donde se han desarrollado dichas geoformas, factores indispensables para la modelación de este terreno y la generación de las unidades geomorfológicas identificadas actualmente. Estas características han dado como resultado los paisajes actuales del Cañón del río Alicante y del Cañón del río Nus.

Como resultado de procesos tectónicos regionales propios de la orogenia andina, estos ambientes kársticos se encuentran limitados entre las fallas regionales Palestina y Otú. Lo anterior se ve reflejado en los contactos entre los cuerpos karstificados con los neises feldespáticos precámbricos (Pen), neises feldespáticos paleozoicos (nf) y las dioritas jurásicas (d). Entre estas rocas carbonatadas, se encuentran los cañones del río Alicante y del río Nus. Según Feininger et. al, (1970), se trata de mármoles que hacen parte de las rocas metamórficas paleozoicas de la Cordillera Central que se formaron a partir de calizas relativamente puras, por metamorfismo regional de alto grado, posteriormente intensificados por metamorfismo de contacto producido por el Batolito Antioqueño y otros plutones.

El desarrollo del paisaje se ha producido a partir de una serie de procesos que actuaron conjuntamente modelando el terreno y generando las diferentes unidades geomorfológicas. Dichos procesos fueron inducidos inicialmente por el ambiente denudacional, el cual fue desarrollando geoformas exokársticas en los cañones del río Alicante y del río Nus desde la formación de los mármoles y, eventualmente, el ambiente fluvio-kárstico trabajaba en la formación de cavidades subterráneas como algunas de las cavernas actualmente vadosas en Alicante y la caverna vadosa del Nus, en las cuales las condiciones climáticas tropicales y los procesos de disolución bajo el nivel freático fueron los factores más importantes para su génesis.

Lo anterior se ve evidenciado, específicamente, en la caverna del Nus, debido a la falta de un patrón de drenaje preferencial, puesto que los salones se encuentran distribuidos al azar. Además, la presencia de agua estancada en algunos de los salones más bajos sugiere que la caverna se formó por disolución bajo el nivel freático que en algún momento la cubrió por completo. La formación de esta caverna ocurrió antes del levantamiento de la Cordillera Central, evento que, consecuentemente, formó los cañones por los que se encuentra rodeada actualmente, estos procesos fueron responsables del aislamiento de la caverna en la parte más alta de la montaña en donde se encuentra situada hoy en día, totalmente por encima del nivel freático y a una altura de aproximadamente 140 metros por encima del nivel de los ríos Samaná y Nus. Los procesos geológicos que actúan en esta caverna, actualmente están trabajando en su destrucción, más que en su desarrollo; esto se infiere a partir de las grandes estructuras espeleotémicas, formadas durante millones de años, colapsadas en los pisos de los diferentes salones en su interior y, además, la similitud en forma y tamaño de las tres entradas que existen en la caverna con los pasajes de un salón a otro en su interior, permiten inferir que en algún momento estas fueron el camino hacia a otros salones al este de la caverna actual, los cuales ya han sido destruidos por colapso y erosión (Feininger y Smeaton, 1968).

El levantamiento de la Cordillera Centra, fue la principal influencia para la formación de estos cañones. Estos ambientes kársticos, que posterior a este evento quedaron ubicados en la parte alta de la montaña, fueron incisados profundamente por corrientes de agua que aprovecharon las estructuras que favorecieron la disolución más efectiva de estas rocas a profundidad, dando origen a ríos encañonados con tendencia recta siguiendo principalmente lineamientos paralelos a las fallas regionales. Hacia la zona norte, en donde se encuentra el Cañón del río Alicante, dicha orogenia tuvo diferentes pulsos de levantamiento que se ven reflejados en la superficie de erosión San Lucas, descrita por Corantioquia en el 2002, en tres pequeñas superficies de erosión en forma escalonada que hacen parte de esta y que se evidencian en el perfil regional de la figura 73, y en la existencia de cavernas vadosas a diferentes alturas en Alicante, mientras que, en la zona sur, en donde se encuentra el Cañón del río Nus, se evidencia un único pulso de levantamiento abrupto reflejado en esta misma superficie, en el perfil regional de la figura 74, también, en la predominancia de cavernas vadosas en las partes altas como la del Nus y en la disección muy profunda de las corrientes de agua que dio origen a los cañones actuales. Como resultado de estos eventos, actualmente se identificaron unidades geomorfológicas asociadas al ambiente estructural correspondientes a los planos encañonados por kárstificación (Kcñ); y denudacional fluvio-kárstico, correspondientes a cauces aluviales (Kca) y, además, planos o llanuras de inundación (Kpi) y terrazas de erosión (Kte) en las partes más bajas de estos paisajes.

Posteriormente, comienza la acción de la disolución de las rocas por medio de las fracturas atribuidas a los lineamientos resultantes de la actividad tectónica regional, y se forman cavidades kársticas con direcciones preferenciales por el control estructural. Lo anterior se ve evidenciado en la formación de la caverna Guardasol en Alicante, la cual presenta dimensiones muy pequeñas, en comparación a las de la caverna de Nus, con forma alargada y siguiendo una red de drenaje con dirección preferencial con base a los lineamientos perpendiculares derivados de la falla

Palestina. En esta caverna, dentro de la cual hay presencia de flujos de agua, siguen trabajando actualmente diferentes procesos geológicos que estimulan su desarrollo.

El ambiente de tipo denudacional, ha dado origen a las geoformas más particulares y características del área del Cañón del río Alicante, las cuales están uniformemente distribuidas por toda la zona, estas geoformas son una variedad morfológica de dolinas conocidas como cockpit, se trata de un conjunto de dolinas con forma rugosa y estrellada donde las precipitaciones y las condiciones tropicales fueron los principales factores de control genético. Este ambiente denudacional corresponde a unidades similares en ambos ambientes como cima kárstica (Kc), dolina (Kd), escarpe kárstico (Kec), ladera kárstica (Klac), ladera ondulada kárstica (Koc), lomo de karstificación (Klc), planicie kárstica (Kpc) y úvala (Ku). Algunas de estas unidades presentan direcciones preferenciales influenciadas por los lineamientos de la zona principalmente paralelos a las fallas Palestina.

Hacia el Cenozoico, más exactamente en el Holoceno, según Velásquez et al. (2014), se presentaron intensos procesos erosivos y denudativos relacionados a épocas de alta pluviosidad, consecuencia de abruptos cambios climáticos, los cuales causaron cambios en la vegetación, en caudales de los afluentes y en geoformas de morfología colinada que fueron erosionadas e incisadas. Este importante evento pudo haber estimulado el aumento en la vegetación la cual concentró más CO₂ en el suelo durante la descomposición de la materia orgánica aumentando su acidez y, por lo tanto, se produjo más disolución, iniciando una meteorización química más que actuó de manera agresiva en los cuerpos metamórficos solubles. Esto dio lugar al desarrollo más efectivo de las geoformas exokársticas cartografiadas en ambos paisajes.

Hoy en día algunas localidades se encuentran cubiertas por sedimentos terciarios del Valle del Magdalena y, actualmente, estos paisajes kársticos se encuentran en continuo modelamiento y los procesos de meteorización química continúan trabajando en la formación de nuevas geoformas asociadas a la disolución de estas rocas carbonatadas y cavidades naturales de las mismas, sin embargo, este

proceso es mayor en el Cañón del río Alicante que en el Cañón del río Nus, ya que en Nus, debido al bajo nivel base actual, los procesos de disolución son menores, y predomina la erosión.

DISCUSIÓN

Los ambientes kársticos de los cañones de los ríos Alicante y Nus han desarrollado una variedad de geoformas como resultado de la interacción de los diferentes procesos exógenos, como la intensa meteorización química influenciada por el ambiente tropical en donde se encuentran, y endógenos, relacionados a procesos tectónicos regionales asociados al levantamiento de la Cordillera Central, que han actuado conjuntamente y de manera diferente en cada paisaje a lo largo del tiempo.

Aunque generalmente la meteorización química actúa de manera similar en este tipo de rocas solubles, en algunos sitios actúa de manera más agresiva y diferente. Lo anterior se ve evidenciado en las diferencias geomorfológicas tanto en superficie como en el subsuelo entre los paisajes kársticos del Cañón del río Alicante y del Cañón del río Nus. En este caso, específicamente, el factor más importante que estimula dichas disimilitudes es la diferencia entre los pulsos de levantamiento tectónico que ocurrieron para cada zona y que dieron origen a estos cañones.

En la zona norte, en donde se encuentra ubicado el Cañón del río Alicante, diferentes pulsos de levantamiento se ven reflejados en las tres superficies de erosión en forma escalonada que se evidencian al W del perfil regional de la figura 73, mientras que, en la zona sur, en donde se encuentra en el Cañón del río Nus, se evidencia un único pulso de levantamiento abrupto, reflejado en una única superficie de erosión al W del perfil regional de la figura 74.

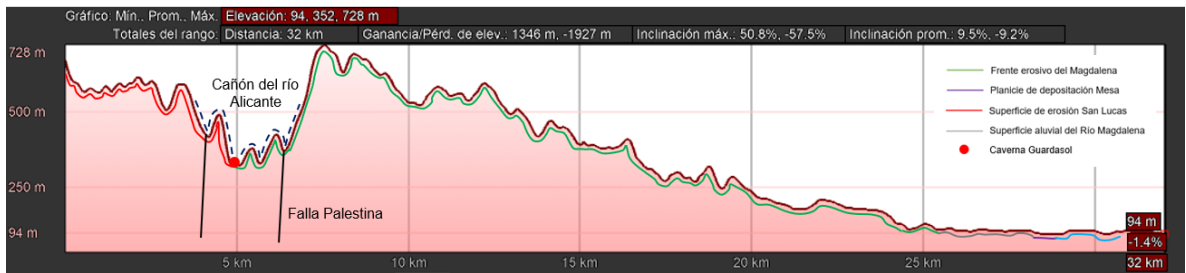


Figura 73. Perfil regional W-E de la parte norte del área de estudio, que abarca el Cañón del río Alicante.



Figura 74. Perfil regional W-E de la parte sur del área de estudio, que abarca el Cañón del río Nus.

En superficie, las diferencias pueden verse reflejadas en los mapas geomorfológicos de cada paisaje (figura 75), para el Cañón del río Alicante fueron cartografiadas doce unidades diferentes, entre estas se encuentran: en el ambiente estructural, plano encañonado por kárstificación (Kcñ); en el ambiente denudativo fluvio-kárstico, cauces aluviales (Kca), plano o llanura de inundación (Kpi) y terraza de erosión (Kte); en el ambiente exógeno denudativo kárstico, cima kárstica (Kc), dolina (Kd), escarpe kárstico (Kec), ladera kárstica (Klac), ladera ondulada kárstica (Koc), lomo de karstificación (Klc), planicie kárstica (Kpc) y úvala (Ku). Para el cañón del río Nus, fueron cartografiadas diez unidades geomorfológicas, en estas están incluidas las nombradas anteriormente, con excepción de plano o llanura de inundación (Kpi) y terraza de erosión (Kte) para el ambiente denudativo fluvio-kárstico.

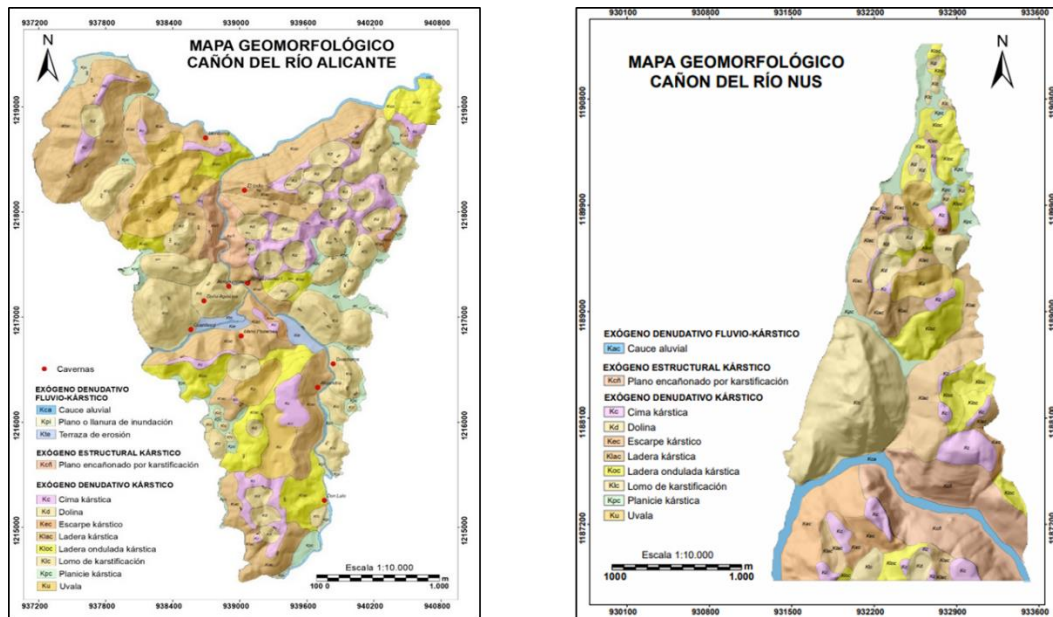


Figura 75. Mapas geomorfológicos a escala 1:10.000 de los cañones del río Alicante y del río Nus.

Aunque en ambos paisajes se encuentran unidades geomorfológicas similares, las diferencias en el aspecto general (figura 76) de un paisaje con respecto a otro se encuentran definidas por geformas representativas propias de cada zona.

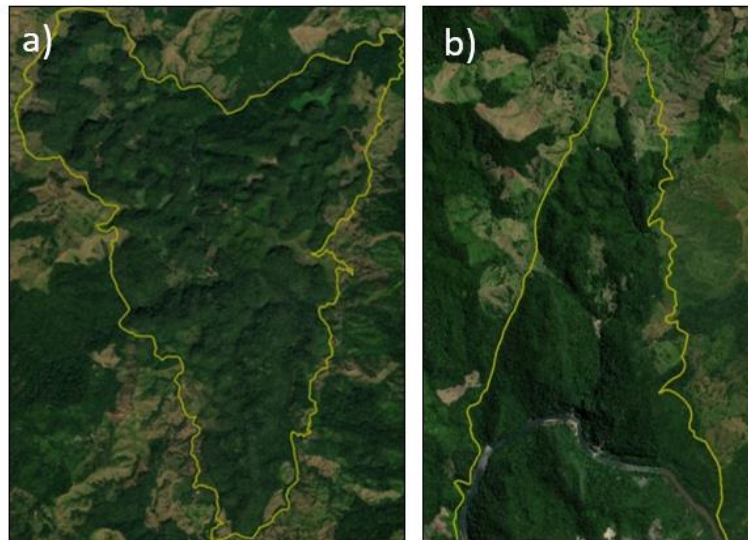


Figura 76. a) Ambiente kárstico Cañón del río Alicante. b) Ambiente kárstico Cañón del río Nus.

En el Cañón del río Alicante, el conjunto denudativo kárstico presenta un dominio de una variedad morfológica de un conjunto de dolinas denominadas cockpit, son las geoformas más representativas del lugar y estas se encuentran distribuidas de manera uniforme en gran parte de la zona dándole un aspecto rugoso y estrellado, dentro de esta particular formación fueron identificadas 21 unidades de dolinas (Kd) con dimensiones que varían desde 90 m de diámetro y poca profundidad, a amplias depresiones que alcanzan los 360 m de diámetro. La forma varía entre redondeadas y elípticas, se caracterizan por presentar paredes suavizadas y por la ausencia de agua en su interior. Estas unidades típicas de esta zona cubren casi el 10% del área, el 90% restante está distribuido uniformemente en las demás unidades. Hacia la zona norte, en donde se encuentra el Cañón del río Alicante, los diferentes pulsos de levantamiento durante de la orogenia de la Cordillera Central son un factor importante para el desarrollo de estas geoformas características, ya que permitieron que el nivel base variara mucho en el tiempo y, por lo tanto, que los procesos de disolución interactuaran con las rocas a diferentes niveles constantemente en esta zona, en donde los procesos de disolución continúan muy activos actualmente.

En el Cañón del río Nus los ambientes morfogenéticos responsables del modelado más representativo del área son el ambiente estructural y el denudativo fluvio-kárstico, que han dado lugar a profundos planos encañonados por kárstificación (Kcñ). Estos cañones son más profundos y escarpados en el río Nus, en donde alcanzan los 200 m de altura con respecto al nivel del río, en comparación a los del río Alicante, en donde las laderas presentan menores inclinaciones y el lugar de más profundidad no supera los 150 m. El otro ambiente es el denudativo kárstico, conformado principalmente por laderas kársticas (Klac), laderas onduladas kársticas (Kloc) y grandes lomos de kárstificación (Klc). En la zona sur, específicamente en el Cañón del río Nus, se evidencia un único pulso de levantamiento abrupto, lo que pudo haber sido un factor importante para la formación de estos cañones profundos, ya que un rápido levantamiento pudo haber provocado la aceleración en la disolución y, consecuentemente, una rápida

disección muy profunda de las corrientes de agua que dio origen a los cañones actuales.

Tabla 4. Comparación exokárstica entre los cañones del río Alicante y del río Nus.

| Características | Cañón del río Alicante | Cañón del río Nus |
|---------------------------------|---|---|
| Ambientes morfogenéticos | <ul style="list-style-type: none"> - Exógeno denudativo fluvio-kárstico. - Exógeno estructural kárstico. - Exógeno denudativo kárstico. | <ul style="list-style-type: none"> - Exógeno denudativo fluvio-kárstico. - Exógeno estructural kárstico. - Exógeno denudativo kárstico. |
| Unidades geomorfológicas | <ul style="list-style-type: none"> - Tres unidades en el ambiente exógeno denudativo fluvio-kárstico: cauce aluvial, plano o llanura de inundación, terraza de erosión - Una unidad exógeno estructural kárstico: plano encañonado por kárstificación. - Ocho unidades en el ambiente exógeno denudativo kárstico: cima kárstica, dolina, escarpe kárstico, ladera kárstica, ladera ondulada kárstica, lomo de kárstificación, planicie kárstica, uvala. | <ul style="list-style-type: none"> - Una unidad en el ambiente exógeno denudativo fluvio-kárstico: cauce aluvial. - Una unidad en el ambiente exógeno estructural kárstico: plano encañonado por kárstificación. - Ocho unidades en el ambiente exógeno denudativo kárstico: cima kárstica, dolina, escarpe kárstico, ladera kárstica, ladera ondulada kárstica, lomo de kárstificación, planicie kárstica, uvala. |

| | | |
|---|---|---|
| Geoformas representativas | - Variedad de dolinas cockpit. | - Laderas kársticas, laderas onduladas kársticas y grandes lomos de kárstificación. |
| Procesos geológicos que predominan | - Disolución. | - Erosión. |
| Profundidad de los cañones | - 150 m de altura con respecto al nivel base. | - 200 m de altura con respecto al nivel base. |
| Levantamiento tectónico | - Diferentes pulsos de levantamiento. | - Un pulso de levantamiento abrupto. |
| Tipos de cavernas | - Vadosas y epifreáticas. | - Vadosas |

Así como es evidente una gran diferencia en superficie, de igual manera, es evidente una diferencia subterránea entre estos ambientes, reflejada en las cavernas aquí caracterizadas correspondientes a cada uno, en la distribución y dimensiones de los salones, pasillos, espeleotemas, contenido de agua, número de entradas, densidad de la fauna cavernícola y características que reflejan su génesis y los procesos geológicos que definen el futuro de estas.

En el subsuelo se puede comprobar como el agua va profundizando su erosión, creando redes subterráneas por donde circula el agua, en donde pueden llegar a formarse grandes galerías y espectaculares formas espeleotémicas. Esto se evidencia en la caverna de Guardasol, ubicada sobre la quebrada Guardasol en el área del Cañón del río Alicante, y la caverna del Nus, sobre los ríos Samaná y Nus en el área del Cañón de río Nus.

La caverna Guardasol se encuentra a 8 metros sobre el nivel de la quebrada Guardasol, cuenta con una única y estrecha entrada, lo que limita la luz en el interior de la cavidad, a diferencia de esta, la caverna del Nus se encuentra,

aproximadamente, a 140 metros sobre el nivel de los ríos Samaná y Nus, y cuenta con tres entradas diferentes de amplias dimensiones, las cuales iluminan la caverna en algunos de los salones más grandes, esta iluminación causa, además, la presencia de algas en los espeleotemas que la reciben directamente, dando un color verdoso a algunos de estos depósitos, este puede verse en la figura 69b.

Esta diferencia entre los niveles de alturas entre los ríos y las cavernas son de gran importancia para clasificarlas de acuerdo con su contenido de agua y así mismo, determinar el nivel freático. La caverna Guardasol se definió como epifreática, ya que es caracterizada por salones y pasillos que se inundan periódicamente, esta presencia de agua causa una mayor disolución entre las fisuras, por lo que se forma una red de salones más o menos laberíntica, a diferencia de la caverna del Nus, la cual se encuentra totalmente por encima del nivel freático, por lo que carece de flujos de agua en su interior y se define como vadosa.

Es claro que la caverna del Nus presenta unas dimensiones mucho mayores en comparación a la caverna Guardasol. En el Nus se presentan enormes salones en donde las dimensiones alcanzan una longitud de 60 metros, un ancho de 30 metros y techos de hasta 30 metros de alto en el salón más grande, además, presenta salones que están casi a 15 metros por debajo del nivel de las entradas principales, reflejando una intensa y prolongada disolución a través de millones de años, la cual ha sido mucho menor en la caverna Guardasol que, por el contrario, cuenta con salones de pequeñas dimensiones, en comparación a las anteriores, en donde las dimensiones alcanzan una longitud de 30 metros, un ancho de 8 metros y techos que no superan los 10 metros de alto en el salón más grande, todos casi al mismo nivel de la entrada. En esta caverna la densidad de fauna es mayor, con respecto a la caverna del Nus, debido a la gran cantidad de animales cavernícolas.

Esta diferencia en el desarrollo de estas cavidades se ve reflejada también en las dimensiones de los espeleotemas, la caverna del Nus está formada por grandes depósitos de calcita, donde las estructuras más grandes y representativas son las estalagmitas que tienen hasta 9 metros de altura y las columnas que alcanzan 14

metros de altura, ambas se encuentran en el salón V. Por el contrario, la caverna Guardasol tiene estructuras de unos pocos metros, en donde las más representativas son las columnas, y la más grande tiene 3 metros de altura y se encuentra en el salón I, esta diferencia puede observarse en la figura 77.

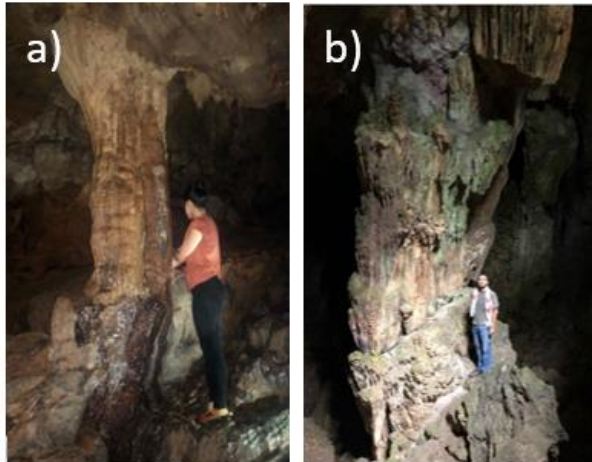


Figura 77. Comparación del tamaño de las columnas entre las cavernas caracterizadas. a) Caverna Guardasol. b) Caverna del Nus.

En cuanto a la formación de cada una, el origen de la caverna Guardasol se le atribuye principalmente a la disolución de la roca por medio de las fracturas influenciadas por los lineamientos de la zona, ya que esta presenta un drenaje preferencial controlado por diaclasas, con una tendencia alargada en dirección NW – SE, además, el hecho de que esté sobre el nivel freático pone en evidencia que los procesos geológicos actuales siguen trabajando en su desarrollo. En cuanto a la caverna del Nus, por el contrario, no hay un patrón de drenaje ordenado y los grandes salones están distribuidos al azar, lo que sugiere que la principal causa de su formación fue la disolución bajo un nivel freático muy constante a lo largo del tiempo, además, la caverna presenta una gran cantidad de bloques de grandes dimensiones en el piso, por estructuras espeleotémicas colapsadas y algunas inclinadas, a punto de hacerlo también. La destrucción de estos depósitos, formados por los procesos de disolución a lo largo de millones de años, sugieren que

actualmente los procesos geológicos que se están desarrollando en la caverna están influenciando mayormente su destrucción que su desarrollo.

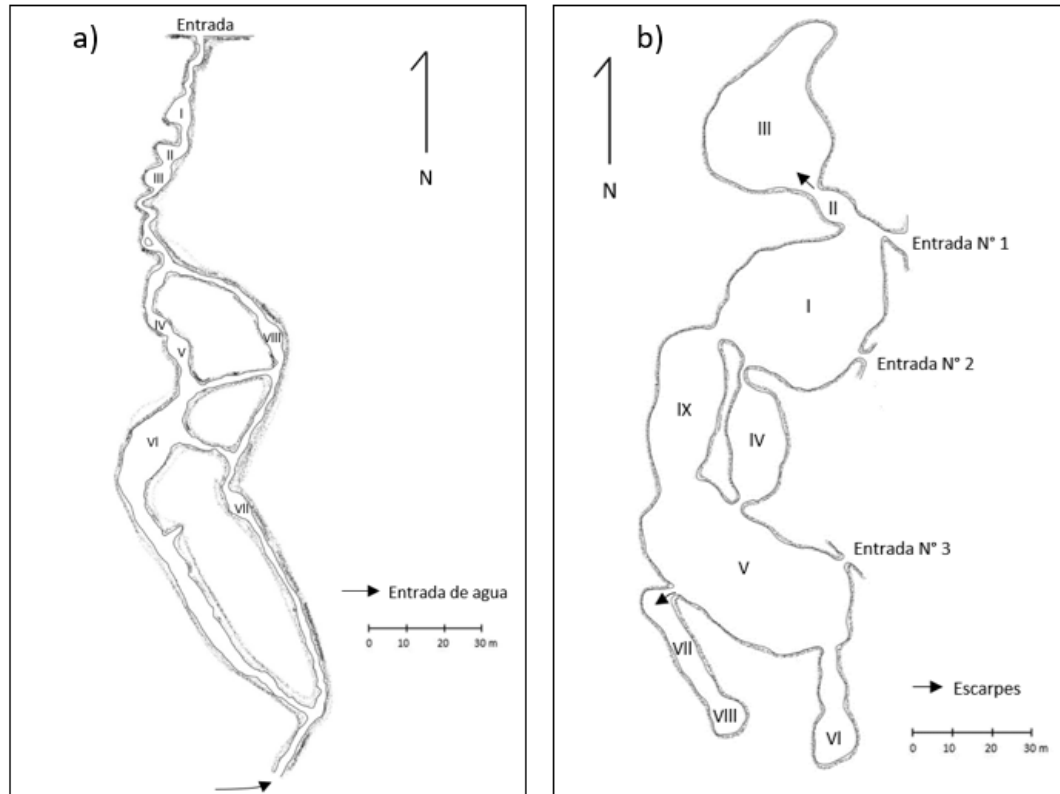


Figura 78. a) Croquis de la caverna Guardasol levantado a cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al VIII. b) Croquis de la caverna del Nus levantado a cinta y brújula en campo. Salones enumerados del I al IX.

La existencia de cavernas vadosas en Alicante y en Nus indican que estuvieron bajo el nivel freático o fueron epifreáticas en algún momento, antes del levantamiento tectónico asociado a la Cordillera Central, pero, posterior a este evento, los niveles freáticos quedaron por debajo del nivel de las cavernas, específicamente en Nus. La existencia de cavernas epifreáticas en Alicante en la actualidad indica que los procesos geológicos actuales asociados a la formación de estas cavidades se encuentran activos.

Tabla 5. Comparación endokárstica entre las cavernas Guardasol y Nus.

| Características | Caverna Guardasol | Caverna del Nus |
|--|--|---|
| Tipo de caverna | - Epifreática. | - Vadosa. |
| Altura entre el nivel base y las cavernas | - 8 metros sobre el nivel de la quebrada Guardasol y es epifreática. | - 140 metros sobre el nivel de los ríos Samaná y Nus y es vadosa. |
| Distribución de los salones y pasillos | - Orientación preferencial NW-SE. | - Están distribución al azar. |
| Número de salones | - 8 salones. | - 9 salones. |
| Número de entradas | - 1 entrada. | - 3 entrada. |
| Dimensión del salón más grande | - 30 metros de longitud, 8 metros de ancho y 10 metros de alto. | - 60 metros de longitud, 30 metros de ancho y 30 metros de alto. |
| Espeleotemas | - Estalagmitas. - Estalactitas. - Columnas. - Piedra de flujo. | - Estalagmitas. - Estalactitas. - Columnas. - Piedra de flujo. - Cortinas. - Depósitos de piso. |
| Dimensión de los espeleotemas más grandes | - Columnas de 3 metros de altura y 60 centímetros de diámetro y estalagmitas de 2 metros de altura y 30 centímetros de diámetro. | - Columnas de 14 metros de altura y 3 metros de diámetro y estalagmitas de 9 metros de altura y 3 metros de diámetro. |

| | | |
|---|---|--|
| Dimensión máxima de la caverna | - 188 metros de norte a sur y una anchura máxima de 53 metros de este a oeste | - 120 metros de norte a sur y una anchura máxima de 70 metros de este a oeste. |
| Fauna cavernícola | - Mayor. | - Menor. |
| Génesis | - Disolución de la roca por medio de las fracturas influenciadas por los lineamientos de la zona. | - Disolución bajo un nivel freático muy constante a lo largo del tiempo. |
| Procesos geológicos que predominan | - Procesos de disolución que continúan trabajando en su desarrollo. | - La disolución se encuentra inactiva y predomina la erosión. |

CONCLUSIONES

- Por medio del criterio geomorfológico fue posible determinar las diferencias entre los ambientes exokársticos y endokársticos de los cañones del río Alicante y del río Nus.
- La metodología propuesta para la elaboración de la cartografía geomorfológica de los ambientes kársticos del Cañón del río Alicante y el Cañón del río Nus permitió presentar un mapa geomorfológico a escala 1:10.000 para cada zona, en donde se identificaron doce unidades para la primera y diez para la segunda.
- Estos ambientes kársticos no fueron identificados en los mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 realizados por el Servicio Geológico Colombiano que abarcan las zonas de estudio, pero debido a que comprenden una gran extensión regionalmente, son muy destacados y pudieron haber sido detallados a dicha escala.
- Las unidades geomorfológicas cartografiadas en el área de estudio fueron atribuidas a tres ambientes morfogenéticos principales. El estructural kárstico, donde las características morfológicas del terreno están relacionadas a los procesos endógenos asociados a la tectónica regional; el denudativo kárstico, el cual abarca las geoformas asociadas a los efectos de los procesos de meteorización química y erosión en superficie; y por último, el denudativo fluvio-kárstico, que consiste en la dinámica de los ríos y sus procesos de erosión en las rocas solubles, influenciados por los principales redes hídricas de las zonas como el río Alicante, Samaná, Nus y las quebradas asociadas a estos.
- De este análisis se concluye que las unidades geomorfológicas cartografiadas en los ambientes kársticos del cañón del río Alicante y del río Nus, presentan una heterogeneidad morfológica muy amplia, a pesar de la homogeneidad litológica y la estrecha relación genética entre estos mármoles, y que también es claro, que presentan más diferencias que

similitudes, dichas diferencias son evidentes tanto en las geoformas desarrolladas en superficie como en las cavidades subterráneas. Esto podría explicarse por la interacción de los diferentes procesos exógenos, principalmente influenciados por el ambiente tropical en donde se encuentran, el cual intensifica los procesos de disolución, y endógenos, relacionados a procesos tectónicos regionales asociados al levantamiento de la Cordillera Central, que han actuado conjuntamente y de manera diferente en cada paisaje a lo largo de la historia geológica y geomorfológica evolutiva de las zonas. Estos procesos tectónicos han desarrollado un importante control estructural que ha jugado un papel muy importante en la aceleración de la disolución y en la formación de las geoformas regionales.

- Hacia la zona norte, en donde se encuentra el Cañón del río Alicante, la orogenia responsable de la formación de estos cañones, tuvo diferentes pulsos de levantamiento que se ven reflejados en las diferentes superficies de erosión en forma escalonada al W del perfil regional realizado, y en la existencia de cavernas vadosas a diferentes alturas en Alicante, por lo tanto, los procesos de disolución han interactuado con las rocas a diferentes niveles constantemente y esto ha permitido el desarrollo de las geoformas características de esta zona en donde los procesos de disolución están activos actualmente.
- En la zona sur, en donde se encuentra ubicado el Cañón del río Nus, ocurrió un único pulso de levantamiento abrupto, reflejado en una única superficie de erosión al W del perfil regional realizado, y en la predominancia de cavernas vadosas en las partes altas como la del Nus, este pulso abrupto hacia el sur provocó la disección más rápida y muy profunda de las corrientes de agua que dio origen a los cañones actuales.
- La caverna del Nus, por sus grandes dimensiones y la ausencia de un drenaje preferencial refleja que estuvo bajo un flujo de agua muy constante asociado a su génesis, pero la ausencia de corrientes de agua y el colapso

de sus estructuras hoy en día, son la evidencia de que los procesos geológicos que actúan actualmente sobre ella son erosivos.

- La existencia de cavernas epifreáticas en Alicante en la actualidad denota que los procesos disolución, actualmente siguen activos y se encuentran formando cavidades con orientaciones preferenciales favorecidas por las estructuras regionales.

RECOMENDACIONES

- Es indispensable tener en cuenta los mapas geomorfológicos y los estudios realizados en los ambientes kársticos, como el presente informe, para estudios ambientales, planificación y ordenamiento del territorio, ya que estas formaciones permiten el desarrollo de grandes cavidades subterráneas que, por la disolución de la roca carbonatada, puede provocar colapso del suelo y daños estructurales en terrenos.
- Debido a que los dos lugares tienen potencial geoturístico, existen algunas amenazas antrópicas sobre las formaciones endokársticas, por lo tanto, es necesario tomar medidas de protección sobre estos ambientes dirigidas a la actividad turística, ya que en Nus, por ejemplo, los procesos de disolución ya no están activos y se debe tener cuidado en la preservación de las estructuras, dado que no se están regenerando.
- Debido a la privatización de los predios que poseen sectores significativos de los sistemas kársticos en una región, es conveniente que exista una incorporación entre la población y los gobiernos locales en las acciones enfocadas a la gestión y manejo de los recursos naturales y actividades pertinentes a la preservación de estos.
- Es necesario un glosario para aquellas personas que no tengan conocimiento acerca del tema, debido a la terminología técnica utilizada para las descripciones de un ambiente kárstico. El glosario propuesto por el Servicio Geológico Colombiano puede ser una referencia.
- Debido a que el acceso hasta estos cañones se dificulta por el transporte y los costos elevados del mismo, específicamente al del Nus, los municipios deberían implementar acciones destinadas a mejorar este aspecto para un geoaprovechamiento de estas zonas.

REFERENCIAS

- [1] Blogs.esri.com, 2008. Aspect-slope map | ArcGIS Blog. [online] Available at: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2008/05/23/aspect-slope-map/> [Accessed 13 Mar. 2017].
- [2] Carvajal, J.H., 2012. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano
- [3] Corantioquia, 2002. Mapa geomorfológico de amenazas y de áreas degradadas de la Jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000.
- [4] Desktop.arcgis.com, 2008. Cómo funciona Pendiente—Ayuda | ArcGIS for Desktop. [online] Available at: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm> [Accessed 13 Mar. 2017]
- [5] Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., Vesga, J., 1970. Memoria explícita. Oriente de Antioquia, cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9, y J-10. Planchas 132 Yolombó – 148 San Carlos – 168 Argelia (Aquitania) – 188 La Dorada – 177 Amalfi. Escala 1:100.000.
- [6] Feininger, T. y Gómez, H. 1968. Caverna del Nus, departamento de Antioquia. Boletín Geológico, 16 (7): 97-111.
- [7] González, H., 1993. Mapa Geológico del departamento de Caldas, escala 1:250.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS. Santafé de Bogotá.
- [8] Gutiérrez Elorza, M., 2008. Geomorfología. Pearson educación S.A. Madrid.
- [9] Kueny, J.A., Day, J.M., 2002. Designation of protected karstlands in central America: a regional assessment. Journal of cave and karst studies, 64 (3): 165-174.
- [10] Leiva, O. Y., Moya, H. G., Trejos, G. A., Carvajal, J. H. 2012. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimiento en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.

- [11] Peña-Monné, J.L., 1997. Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Geoforma Ediciones.
- [12] Mesa L.D., 2014. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 148 – San Carlos. Servicio Geológico Colombiano.
- [13] Moya H.G., 2012. Informe, mapa de geomorfología de la plancha 132 Yolombó, escala 1:100.000, departamento de Antioquia. Servicio Geológico Colombiano.
- [14] Rincón, J.P., Otero, D., 2018. Las regiones kársticas, una opción para el desarrollo sostenible en Santander, Colombia. Reporte Técnico, Geología, Universidad Industrial de Santander.
- [15] Robertson K.G., Jaramillo, O., Castiblanco, M.A., 2013. Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000. IDEAM.
- [16] Rosero, O., 2014. Aplicación metodológica servicio geológico colombiano SGC para la elaboración del mapa geomorfológico a escala 1:100.000 de la subcuenca del río Opongoy, municipios de Tangua y Pasto – Departamento de Nariño. Trabajo de grado.
- [17] Talero, C.A., 2014. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa esc 1:100.000. Plancha 166 – Jericó. Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía.
- [18] Tapia-Varela, G., López-Blanco, J., 2001. Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100.000. Revista México de Ciencias Geológicas, 19 (1): 50-65.
- [19] Van Zuidam, R., Mensua Fernández, S., Van Zuidam F.I., 1981. Consideraciones sobre el Sistema de la cartografía geomorfológica del ITC, aplicado a un mapa geomorfológico sedimentario, en el Valle del Ebro.
- [20] Velázquez, S.K., Velandia, F., Castellanos, E., Chaparro, J.I., Buitrago, J., Bayona, N.A., Neiza, N.L., 2014. Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 136-Malaga, departamento de Santander y Boyacá. Servicio Geológico colombiano.

- [21] Velásquez, S.K., Velandia, F.A., Chaparro, J.L., Hernández, D.Y., Buitrago, J., Bayona, N.A., Neiza, N.L., 2014. memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. plancha 110 – Pamplona, Departamentos de Santander y Norte de Santander. Servicio Geológico colombiano.
- [22] Verstappen, H.T., 1983. Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development. Ámsterdam, Elseiver: 437.
- [23] Verstappen, H.T., Van Zuidam, R.A., 1992. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, Una base para la evaluación de recursos y riesgos naturales. Revised ed. Enschede, ITC, 10: 89.