

Valoración del Patrimonio Geológico en el municipio de Mogotes, sureste de Santander.

Cristian Felipe Hernández Fernández y Silvia Fernanda Rodríguez Ramírez

Trabajo de Grado para Optar Título de Geólogo(a)

Director

Carlos Alberto Ríos Reyes

Doctor en Ciencias Aplicadas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios, a mis padres, hermanos y a todas las personas que me acompañaron durante el aprendizaje de esta hermosa ciencia.

CRISTIAN FELIPE HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Dedicatoria

A Dios, a mis queridos padres, a mi hermana, mis compañeros, docentes y demás familiares que me han acompañado a lo largo de este proceso. En especial, quiero dedicar este proyecto a una mujer luchadora y ejemplar que me cuida desde el cielo: esto es para ti, nonita.

SILVIA FERNANDA RODRÍGUEZ RAMÍREZ

Agradecimientos

A Dios, por permitir que la realización de este proyecto fuese posible, a pesar de las adversidades presentadas a lo largo del presente año.

A la Universidad Industrial de Santander y, específicamente, a la Escuela de Geología por los aportes a la educación durante cada una de las etapas del pregrado.

Al doctor Carlos Alberto Rios Reyes, director de este proyecto, que confió su idea de investigación a los elaboradores de este proyecto y realizó valiosos comentarios a lo largo del mismo.

Al doctor Juan Diego Colegial, por sus aportes valiosos durante la revisión de este proyecto, que permitieron enfocar de mejor manera los objetivos de mismo.

A mi familia, en especial a mis padres por permitirme cumplir mis metas, mediante su contribución económica, familiar y afectiva.

A Nathalia, por ser un apoyo muy especial para mí.

A Freddy y don Jesús, dos personas muy amables que nos colaboraron durante las actividades de campo, abriéndonos las puertas de su casa durante la visita a Mogotes.

CRISTIAN FELIPE HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Agradecimientos

A Dios, por guiarme a lo largo de mi vida y hacer posible que este y todos mis logros sean alcanzados.

A la Universidad Industrial de Santander y, específicamente, a la Escuela de Geología por los aportes realizados a mi formación profesional.

Al doctor Carlos Alberto Ríos Reyes, director de este proyecto, quién nos confió su idea de investigación y apoyó a lo largo del desarrollo del mismo mediante el aporte de valiosos comentarios y correcciones.

Al doctor Juan Diego Colegial, por su disposición, paciencia y conocimientos compartidos a lo largo de la carrera y especialmente, por los valiosos aportes realizados a este proyecto.

A mis padres, por los esfuerzos realizados en pro de brindarme la oportunidad de formarme como profesional, apoyarme tanto emocional como económicamente a lo largo del proceso y por ser mi mayor motivación, soporte y ejemplo diario. Los amo.

A todos los compañeros que me acompañaron y apoyaron a lo largo de la carrera haciendo de esta una etapa inolvidable. En especial a mi amigo y compañero de tesis, Pepi, , por su amistad, apoyo y confianza para realizar este y muchos otros trabajos juntos.

A don Jesús y doña Rosalba que nos recibieron muy amablemente en su casa durante los días de campo.

A los demás profesores, familiares y personas que han contribuido en mi formación.

SILVIA FERNANDA RODRÍGUEZ RAMÍREZ

Contenido

Introducción	18
1. Descripción del proyecto de investigación	18
1.1 Ubicación de la zona de estudio	18
1.1.1 Características geográficas, demográficas y económicas de la zona de estudio.....	18
1.2 Planteamiento del problema.....	20
1.3 Objetivos	22
1.3.1 Objetivo general.....	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4. Justificación de la investigación	23
2. Metodología	24
2.1 Metodología del proyecto	24
2.1.1 Fase preliminar.....	26
2.1.2 Fase de desarrollo	28
2.1.2.2 Tratamiento de datos obtenidos	39
2.1.2.3 Elaboración del informe de investigación.....	40
3. Marco teórico	40
3.1 Antecedentes de la investigación.....	40
3.2 Bases teóricas y conceptos fundamentales	42
3.2.1 Conceptos fundamentales sobre patrimonio geológico	42

3.2.2 Clasificaciones utilizadas durante la descripción de los LIG	51
4 Geología del área de estudio	56
4.1 Descripción del marco geológico regional	56
4.2 Evolución geológica de la zona	57
4.3 Estratigrafía	58
4.3.1 Rocas Metamórficas	58
4.3.2 Rocas Sedimentarias	60
4.3. Rocas ígneas	64
4.4 Geología Estructural	66
4.4.1 Falla de Lebrija	66
4.4.2 Falla de Bucaramanga.....	66
4.4.3 Falla de Boyacá.....	68
4.4.4 Falla de Soápaga	68
4.4.5 Falla de Ocamonte	68
4.4.6 Falla del Riachuelo	69
4.5 Geomorfología	69
4.5.1 Procesos estructurales	69
4.5.2 Procesos denudacionales-climáticos.....	70
4.5.3 Procesos de disección	71
4.5.4 Procesos aluviales	72
4.5.5 Otros procesos.....	73
5 Resultados	73
5.1 Descripción y valoración de los LIG	76
5.1.1 M01 - Pozo del Oso	76

5.1.2 M02 - Pozo la Esmeralda.....	80
5.1.3 M03 - Pozo Negro.....	84
5.1.4 M04 - Pozo del Minero e inmediaciones	88
5.1.5 M05 - Sistema de Cascadas el Pino	92
5.1.6 M06 - Cascada del Resumidero	101
5.1.7 M07 - Sistema de cascadas Peña Blanca	105
5.1.8 M08 - Cascada El Avional.....	109
5.1.9 M09 - Cañón del Río Mogoticos	113
5.1.10 M10 - Cueva Rica	118
5.1.11 M11 - Cueva el Resumidero	122
5.1.12 M12 - Hoyo de los pájaros.....	126
5.1.13 M13 - Mirador del Alto de San José.....	129
5.1.14 M14 - Mirador Alto de los Cacaos	133
5.1.15 M15 – Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos.....	136
5.1.16 M16 - Saprolito de rocas diabásicas del Macizo de Santander.....	147
5.1.17 M17 - Parque Arqueológico.....	150
5.1.18 M18 - Zona minera La Aguada, La Isla.....	154
5.2 Cartografía de los LIG propuestos.....	157
5.3 Valoración de la Susceptibilidad de Degradación (SD) de los LIG	158
5.4 Prioridad de Protección.....	159
6 Discusiones	162
6.1 Disciplina geológica principal de cada LIG	162
6.2 Interpretación de la valoración de los LIG	163
6.2.1 Valoración de la Potencialidad de Uso de los LIG	163

6.2.2 Relación interés - disciplina geológica principal.....	163
6.2.3 Susceptibilidad de Degradación (SD) y Prioridad de Protección (PP)	166
6.3 Evaluación de la metodología propuesta por García-Cortés y Carcavilla (2013)	171
6.3.1 Ventajas.....	171
6.3.2 Desventajas	172
7. Limitaciones.....	174
8. Conclusiones.....	174
Referencias bibliográficas.....	177

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio a escala 1:150000.....	19
Figura 2. Esquema de la metodología de trabajo.....	25
Figura 3. Aplicación de la metodología seleccionada	29
Figura 4. Ejemplos de clasificación de cascadas según su forma.....	53
Figura 5. Esquema de un ambiente kárstico superficial (exokarst) y subterráneo (endokarst)	55
Figura 6. Mapa geológico del área de estudio	58
Figura 7. Modelo estructural del Macizo de Santander	67
Figura 8. Fotografía de espolón estructural (Spe).....	70
Figura 9. Sierra denudada al NE del casco urbano municipal	71
Figura 10. Escarpes de erosión mayor al norte del área de estudio	72
Figura 11. Imagen satelital del Abanico de Mogotes	73
Figura 12. Mapa de la distribución de los LIG en el área de estudio	74
Figura 13. Registro fotográfico del LIG M01 (Pozo del Oso).....	78
Figura 14. Fotografía de una vista general del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)	81
Figura 15. Fotografía panorámica del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)	82
Figura 16. Registro fotográfico del LIG M03 (Pozo Negro)	85
Figura 17. Fotografías de la zona minera abandonada en el LIG M04 (Pozo del Minero)	89
Figura 18. Fotografías de la zona de cascada en el LIG M04 (Pozo del Minero)	90
Figura 19. Registro fotográfico general del LIG M05 (Sistema de cascadas el Pino).....	92
Figura 20. Registro fotográfico de la franja M05a (Pozo el Pino).....	96

Figura 21. Registro fotográfico de la franja M05b (Cascada del Diablo/Puente)	99
Figura 22. Registro fotográfico de la franja M05c (Cascada de la Virgen).....	100
Figura 23. Registro fotográfico correspondiente al LIG M06 (Cascada el Resumidero).....	102
Figura 24. Registro fotográfico del LIG M07 (Sistema de cascadas Peña Blanca).....	106
Figura 25. Registro fotográfico del LIG M08 (Cascada el Avional).....	111
Figura 26. Fotografía panorámica del LIG M09 (Cañón del Río Mogoticos).....	113
Figura 27. Fotografía del afloramiento y las litologías expuestas en el LIG M09	115
Figura 28. Vistas del Cañón del Río Mogoticos (M09).....	116
Figura 29. Registro fotográfico del LIG M10 (Cueva Rica)	120
Figura 30. Registro fotográfico del LIG M11 (Cueva el Resumidero).....	123
Figura 31. Material fotográfico del LIG M12 (Hoyo de los Pájaros).....	127
Figura 32. Registro fotográfico tomado en el Mirador de San José (M13)	130
Figura 33. Fotografías de la expresión paisajística observada en el LIG (M14)	134
Figura 34. Fotografías de afloramientos ubicados en el Alto de los Cacaos (M15).....	137
Figura 35. Registro fotográfico del tramo M15a (Filitas cuarzosas)	140
Figura 36. Fotografías del afloramiento y muestra de mano dell tramo M15b (Riolitas)	141
Figura 37. Fotografías del afloramiento y muestra de mano del tramo M15c (Pizarras)	143
Figura 38. Registro fotográfico del tramo M15d (Rocas metasedimentarias carboníferas)	145
Figura 39. Registro fotográfico del tramo M15e (Rocas sedimentarias lodolíticas)	146
Figura 40. Registro fotográfico del LIG M16 (Saprolito de rocas diabásicas).....	148
Figura 41. Registro fotográfico a diferentes escalas del LIG M17 (Parque Arqueológico)	151
Figura 42. Registro fotográfico de la zona minera correspondiente al LIG M18.....	154
Figura 43. Disciplina geológica principal de los LIG.....	168

Figura 44. Relación interés – disciplina geológica principal de los LIG	164
Figura 45. Mapa que relaciona el interés y la disciplina geológica principal de los LIG.....	167
Figura 46. Gráfico de PPc, PPd, PPt y PP de los LIG.....	169

Lista de Tablas

Tabla 1. Listado de los LIG potenciales a evaluar en la campaña de campo	31
Tabla 2. Parámetros de valoración de cada LIG junto a su peso ponderado propuesto	34
Tabla 3. Descripción de los parámetros de valoración de los LIG	47
Tabla 4. Parámetros de valoración de la fragilidad de los LIG con sus descripciones.....	50
Tabla 5. Parámetros de valoración de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas.....	51
Tabla 6. Clasificación de cascadas según su forma	52
Tabla 7. Ficha de valoración del LIG M01 (Pozo del Oso).....	79
Tabla 8. Ficha de valoración del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)	83
Tabla 9. Ficha de valoración del LIG M03 (Pozo Negro).	87
Tabla 10. Ficha de valoración del LIG M04 (Pozo del Minero e inmediaciones).....	91
Tabla 11. Ficha de valoración del LIG M05 (Sistema de Cascadas el Pino).....	94
Tabla 12. Ficha de valoración del LIG M06 (Cascada el Resumidero).....	104
Tabla 13. Ficha de valoración del LIG M07 (Cascada Peña Blanca).....	108
Tabla 14. Ficha de valoración del LIG M08 (Cascada el Avional)	112
Tabla 15. Ficha de valoración del LIG M09 (Cañón del río Mogoticos)	117
Tabla 16. Ficha de valoración del LIG M10 (Cueva Rica).....	121
Tabla 17. Ficha de valoración del LIG M11 (Cueva el Resumidero).....	125
Tabla 18. Ficha de valoración del LIG M12 (Hoyo de los Pájaros)	128
Tabla 19. Ficha de valoración del LIG M13 (Mirador del Alto de San José)	131
Tabla 20. Ficha de valoración del LIG M14 (Mirador Alto de los Cacaos).	135
Tabla 21. Ficha de valoración del LIG M15 (Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos).....	138

Tabla 22. Ficha de valoración del LIG M16 (Saprolito de Diabasas)	149
Tabla 23. Ficha de valoración del LIG M17 (Parque arqueológico)	153
Tabla 24. Ficha de valoración del LIG M18 (Zona minera la Aguada - la Isla)	156
Tabla 25. Listado de los LIG seleccionados con su código, nombre e interés/uso evaluado.	157
Tabla 26. Valoración de la susceptibilidad de degradación (SD) para cada LIG.	158
Tabla 27. Valoración de la Prioridad de Protección (PPc, PPd, PPt y PP) para cada LIG.	159
Tabla 28. Agrupación de los LIG según su interés principal.....	164

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca

UIS

Apéndice 1. Mapa veredal del municipio de Mogotes

Apéndice 2. Disciplinas geológicas y sus aspectos considerados para destacar como LIG

Apéndice 3. Cuestionario de selección preliminar de LIG potenciales

Apéndice 4. Ficha descriptiva del Lugar de Interés Geológico

Apéndice 5. Parámetros de valoración de los LIG y su respectiva puntuación

Apéndice 6. Parámetros de valoración de vulnerabilidad amenazas antrópicas (V) y fragilidad (F)

Apéndice 7. Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.

Apéndice 8. Cartografía del LIG M01 (Pozo del Oso)

Apéndice 9. Cartografía del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)

Apéndice 10. Cartografía del LIG M03 (Pozo Negro)

Apéndice 11. Cartografía del LIG M04 (Pozo del Minero)

Apéndice 12. Cartografía del LIG M05 (Sistema de cascadas el Pino)

Apéndice 13. Cartografía del LIG M06 (Cascada el Resumidero)

Apéndice 14. Cartografía del LIG M07 (Cascadas Peña Blanca)

Apéndice 15. Cartografía del LIG M08 (Cascada El Avional)

Apéndice 16. Cartografía del LIG M09 (Cañón del Rio Mogoticos)

Apéndice 17. Cartografía del LIG M10 (Cueva Rica)

Apéndice 18. Cartografía del LIG M11 (Cueva del Resumidero)

Apéndice 19. Cartografía del LIG M12 (Hoyo de los Pajaros)

Apéndice 20. Cartografía del LIG M13 (Mirador de San José)

Apéndice 21. Cartografía del LIG M14 (Mirador Alto de los Cacaos)

Apéndice 22. Cartografía del LIG M15 (Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos)

Apéndice 23. Cartografía del LIG M16 (Saprolito de Diabasas)

Apéndice 24. Cartografía del LIG M17 (Parque arqueológico)

Apéndice 25. Cartografía del LIG M18 (Zona minera la Aguada- la Isla)

Apéndice 26. Cálculo de fragilidad (F) para los LIG seleccionados.

Apéndice 27. Cálculo de vulnerabilidad por amenazas antrópicas (V) para cada LIG.

Resumen

Título: Valoración del Patrimonio Geológico en el municipio de Mogotes, sureste de Santander.*

Autores: Cristian Felipe Hernández Fernández y Silvia Fernanda Rodríguez Ramírez**

Palabras clave: Patrimonio geológico, LIG, Mogotes, Macizo de Santander.

Descripción:

En el marco del presente proyecto se propone la identificación, descripción y valoración de los lugares de interés geológico (LIG) en el municipio de Mogotes, Santander. Lo anterior se debe a la variabilidad natural identificada para dicho municipio (Alcaldía de Mogotes, 2002) que ha sido de interés/uso tanto en actividades científicas asociadas a la caracterización de rocas ígneo-metamórficas del Macizo de Santander como actividades didácticas en el marco de la asignatura Campo II-Geología UIS o actividades ecoturísticas frecuentemente ofertadas en la región.

Para la ejecución del proyecto, se selecciona la propuesta metodológica de García-Cortés y Carcavilla (2013) que permite reconocer el valor científico, didáctico o turístico de cada LIG en cuestión mediante la evaluación de parámetros dados, además de otros factores como la susceptibilidad de degradación que adquiere importancia en el caso de requerir figuras de protección específicas. Finalmente, esta propuesta permite delimitar los LIG mediante la cartografía de los mismos, aspecto que no es reconocido por otras metodologías analizadas.

Para este caso particular, se reconocieron 18 lugares de Interés Geológico, destacando 12 de los mismos con un interés principal turístico, 5 de interés principal didáctico y 1 de interés principal científico. Además, se identifica 1 LIG que requiere una figura de protección inmediata, en relación con su susceptibilidad de degradación asociado con su vulnerabilidad por amenazas antrópica.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director Carlos Alberto Ríos

Abstract

Title: Assessment of geoheritage available in Mogotes, southeast of Santander.*

Author(s): Cristian Felipe Hernández Fernández and Silvia Fernanda Rodríguez Ramírez**

Keywords: Geoheritage, Geotopes, Mogotes, Santander Massif.

Description:

Throughout this project, we propose the identification, description and assessment of potential geotopes in Mogotes, Santander. The above is due to the natural variability identified for this municipality (Alcaldía de Mogotes, 2002) that has been interesting/useful both in scientific activities related to the total description of igneous-metamorphic rocks that are part of Santander Massif and didactic activities performed in the subject Campo II- Geología UIS or ecotouristic activities offered frequently in this zone.

For the execution of the project, we selected the methodological proposal given by García-Cortés and Carcavilla (2013) because it let us recognize the scientific, didactic or touristic value for each of LIG selected through evaluation of some parameters given by the methodology, in addition to other factors like susceptibility to degradation and priority of protection which take on importance in the case of require specific protection figures. Finally, this proposal allows delimiting geotopes by mapping them, aspect that is not recognized by other methodologies analyzed.

In this particular case, we recognized 18 geotopes, distinguish twelve of them with a main tourist interest, five of them with a main didactic interest and one with a main scientific interest. Also, we identified one geotope which requires an immediate protection figure related with his susceptibility of degradation associated by his vulnerability of antropic threat.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director Carlos Alberto Ríos

Introducción

1. Descripción del proyecto de investigación

1.1 Ubicación de la zona de estudio

El proyecto de investigación se va a llevar a cabo en Mogotes, municipio ubicado al SE del departamento de Santander, Colombia; el cual se encuentra ubicado a 128.5 km de Bucaramanga y a 35 km de San Gil, comunicado por el corredor vial San Gil-Mogotes-San Joaquín como vía de acceso principal. Sin embargo, cuenta con vías de acceso alternas en contacto con los municipios de Valle de San José, Charalá, Curití y Molagavita. La Figura 1 representa el área comprendida en este proyecto.

El área municipal ocupa alrededor de 487.9 km² y está comprendida entre las coordenadas 1110000 – 1137700 E y 1195000 – 1227200 N.

1.1.1 Características geográficas, demográficas y económicas de la zona de estudio

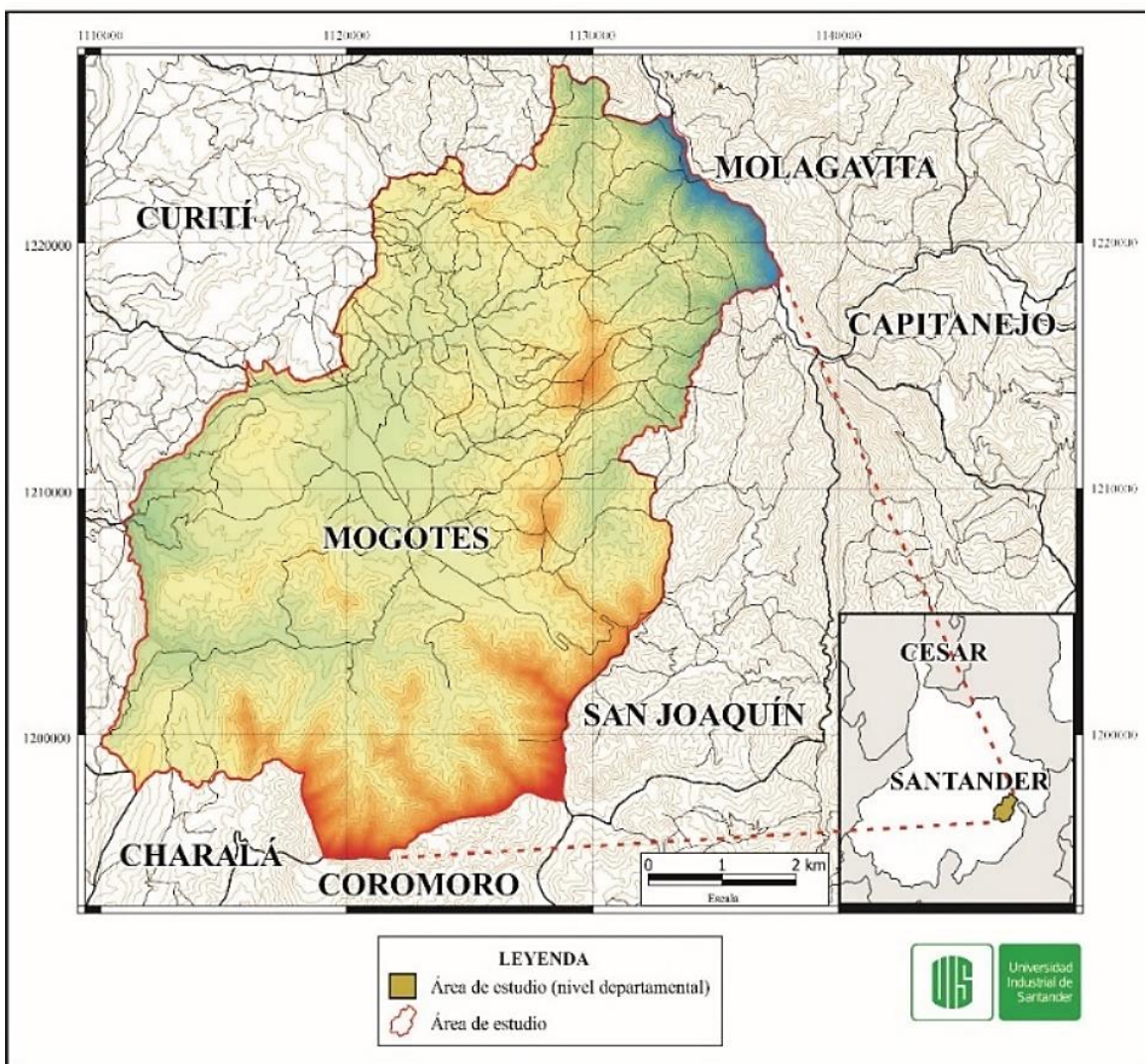
El municipio de Mogotes se ubica en la región suroriental del departamento de Santander, haciendo parte de la provincia de Guanentá y limitando con municipios como Molagavita, Onzaga, San Joaquín, Charalá, Coromoro, Valle de San José, Curití, y San Gil. Dicha localidad se subdivide, a su vez, en 46 veredas y el casco urbano municipal (Apéndice 1), donde se resalta la vereda San José como la de mayor extensión en el área analizada.

Las características demográficas del área en cuestión indican que el municipio de Mogotes cuenta con alrededor de 10.165 habitantes de las cuales el 61% se encuentran ubicados en zona rural mientras el porcentaje restante se distribuye en la cabecera municipal (DANE, 2019) Además,

en el área de influencia que se determina en un radio de 50 km alrededor del casco urbano municipal (siguiendo la propuesta de García-Cortés & Carcavilla, 2013), se calcula una población aproximada de 443300 habitantes, teniendo en cuenta que abarca la totalidad de municipios como San Gil, Barichara, Socorro, Cepitá, Los Santos, Málaga, entre otros (DANE, 2019).

Figura 1

Mapa de localización de la zona de estudio a escala 1:150000



Respecto a las actividades económicas que se llevan a cabo en el área seleccionada, la Alcaldía de Mogotes (2002) resalta que el sector principal corresponde a la producción agrícola asociada a los cultivos de café, caña panelera y fique y la producción pecuaria liderada por actividades de ganadería y producción avícola (Consortio EOT Mogotes, 2018). El sector secundario se relaciona con las actividades mineras adelantadas en la zona, específicamente a la altura de la vereda Cuchiquira, con la explotación de material arenoso mediante la técnica del lavado de peña. Además, el aporte industrial dado por la industria panelera y bocadillera mediante procesos manuales y las artesanías elaboradas mediante el trabajo con fique también hacen parte del mismo. (Consortio EOT Mogotes, 2018). Finalmente, el sector terciario de la economía está representado por los servicios comerciales que se ejercen en el casco urbano municipal y los servicios turísticos allí ofrecidos.

1.2 Planteamiento del problema

El reconocimiento, la valoración y protección del Patrimonio Geológico y Paleontológico constituye una de las más novedosas líneas de investigación geológica (Carcavilla et al., 2007) reconocidas actualmente, debido al interés científico y social de salvaguardar aquellas zonas que presentan características exclusivas de algún fenómeno geológico y que son susceptibles al deterioro natural y humano. Tanto en el ámbito internacional (bajo la dirección de organismos como la UNESCO) como nacional (encabezado por el Servicio Geológico Colombiano), el avance en el reconocimiento de dichas zonas ha sido notable durante los últimos años, sin embargo, aún se encuentra una gran cantidad de franjas no reconocidas y que podrían tener un alto potencial como Lugar de Interés Geológico por su valor científico, educativo y/o turístico y que, por su falta de valoración inmediata, podrían sufrir daños irreversibles a causa de la actividad humana o podrían estar siendo desaprovechadas según su uso potencial.

Teniendo en cuenta lo anterior, se destaca la zona del municipio de Mogotes, pues esta constituye una región particular desde el punto de vista histórico, cultural y científico con localidades destacadas por su riqueza natural y los procesos geológicos que allí se representan (Karstificación, control estructural, geomorfología, entre otros) y su diversidad geológica demarcada por la ocurrencia de dos regiones tectono-estratigráficas distintas: Macizo de Santander y Cuenca del Valle Medio del Magdalena. A partir de lo anterior, se establecen los siguientes cuestionamientos sobre dicha zona: ¿Cuáles lugares y/o elementos geológicos, que por su valor intrínseco, podrían presentar interés científico/didáctico y/o turístico dentro de dicha área? Además ¿En qué condiciones se podrían encontrar?, ¿Qué efectos (o qué aporte científico y/o social) podría generar el reconocimiento y la valoración de dichas zonas en el ámbito local, regional y/o nacional?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Identificar los Lugares de Interés Geológico (LIG) presentes en el municipio de Mogotes, mediante la descripción detallada de las principales características de cada potencial LIG y su correspondiente valoración, siguiendo la propuesta metodológica realizada por García-Cortés y Carcavilla (2013) para generar un inventario de línea base en dicho municipio que aporte a la elaboración de futuros inventarios regionales y/o nacionales en el ámbito del patrimonio geológico y paleontológico colombiano.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Reconocer el tipo de elemento principal (estratigráfico, paleontológico, geomorfológico, etc.) de cada potencial LIG a partir de la información recopilada y la evidencia directa de campo.

Describir los rasgos geológicos y socioeconómicos de cada LIG siguiendo la guía propuesta por García-Cortés y Carcavilla (2013) adaptada al ámbito local.

Realizar la valoración del elemento geológico principal identificado para cada LIG según los parámetros establecidos por la metodología propuesta por García-Cortés y Carcavilla (2013)

Delimitar los Lugares de Interés Geológico a partir de su extensión en superficie. Determinar el interés principal de cada LIG según su potencialidad de uso (Científico, didáctico, turístico-recreativo).

Generar un listado de los LIG definidos con su correspondiente ubicación, características y valoración siguiendo la metodología propuesta por García-Cortés y Carcavilla (2013)

Organizar la terminología utilizada sobre patrimonio geológico a lo largo del proyecto de investigación mediante un léxico que evite las confusiones comunes que se generan en el área de la geología de conservación.

1.4. Justificación de la investigación

Colombia cuenta con una variabilidad geológica muy amplia evidenciada en los distintos procesos formadores de paisaje, minerales, karst y recursos energéticos (carbón y petróleo principalmente), entre otros. Estos procesos naturales hacen de Colombia una nación geodiversa que, a pesar de lo anterior, ha estado sujeta al deterioro humano por actividades relacionadas al beneficio económico que realizan un mal manejo del recurso natural o el desconocimiento por parte de la comunidad de la necesidad científica/didáctica de preservar aquellas franjas que se destacan como patrimonio natural de una zona en específico. (Servicio Geológico Colombiano, 2016-2020.)

El avance en materia de investigación del patrimonio geológico y paleontológico nacional ha sido liderado por el Servicio Geológico Colombiano mediante el programa del Inventario Nacional Geológico y Paleontológico de Colombia (INGEP). En dicho programa, el estudio se ha regionalizado por Dominios Geológicos en el cual resalta la Cordillera Oriental como la mayor franja explorada hasta el momento (300 LIG reconocidos) y sobre la cual se encuentra la zona de estudio seleccionada, sin embargo, esta división geológica del territorio no contempla la ocurrencia de dos regiones tectono-estratigráficas distinguibles sobre la franja de estudio pues afloran tanto rocas sedimentarias correspondientes a la Cuenca de la Cordillera Oriental/VMM, como rocas ígneo-metamórficas propias del Macizo de Santander, razón por la cual un estudio del patrimonio geológico a escala local podría ejemplificar la distinción de las dos regiones antes mencionadas y el uso correcto de la terminología según sea el caso.

Además, el Municipio de Mogotes es una zona que se caracteriza porque los diversos procesos geológicos han desarrollado relieves escarpados y geoformas particulares (es decir, que podrían tener un interés y/o uso) en la región como lo son El Hoyo de los Pájaros, pozo El Pino, entre otros. Sin embargo, pese a las características mencionadas anteriormente, no se han desarrollado los estudios pertinentes en esta franja para reconocer dicho potencial y asignarle a estos lugares el potencial cuidado necesario para su preservación y/o aprovechamiento según su interés o uso.

Con base en lo anterior, este proyecto de investigación se realiza con la finalidad de establecer los Lugares de Interés Geológico en el municipio de Mogotes, contribuyendo con la producción de un inventario local que se establezca como un estudio base de la zona en materia de Patrimonio Geológico y Paleontológico y que pueda aportar al futuro desarrollo de inventarios regionales y/o nacionales, teniendo en cuenta que los mismos podrían emplear un proceso metodológico particular e independiente al planteado en el proyecto de investigación y, por lo tanto, sólo podrá ser utilizado como documento referencia y/o guía.

2. Metodología

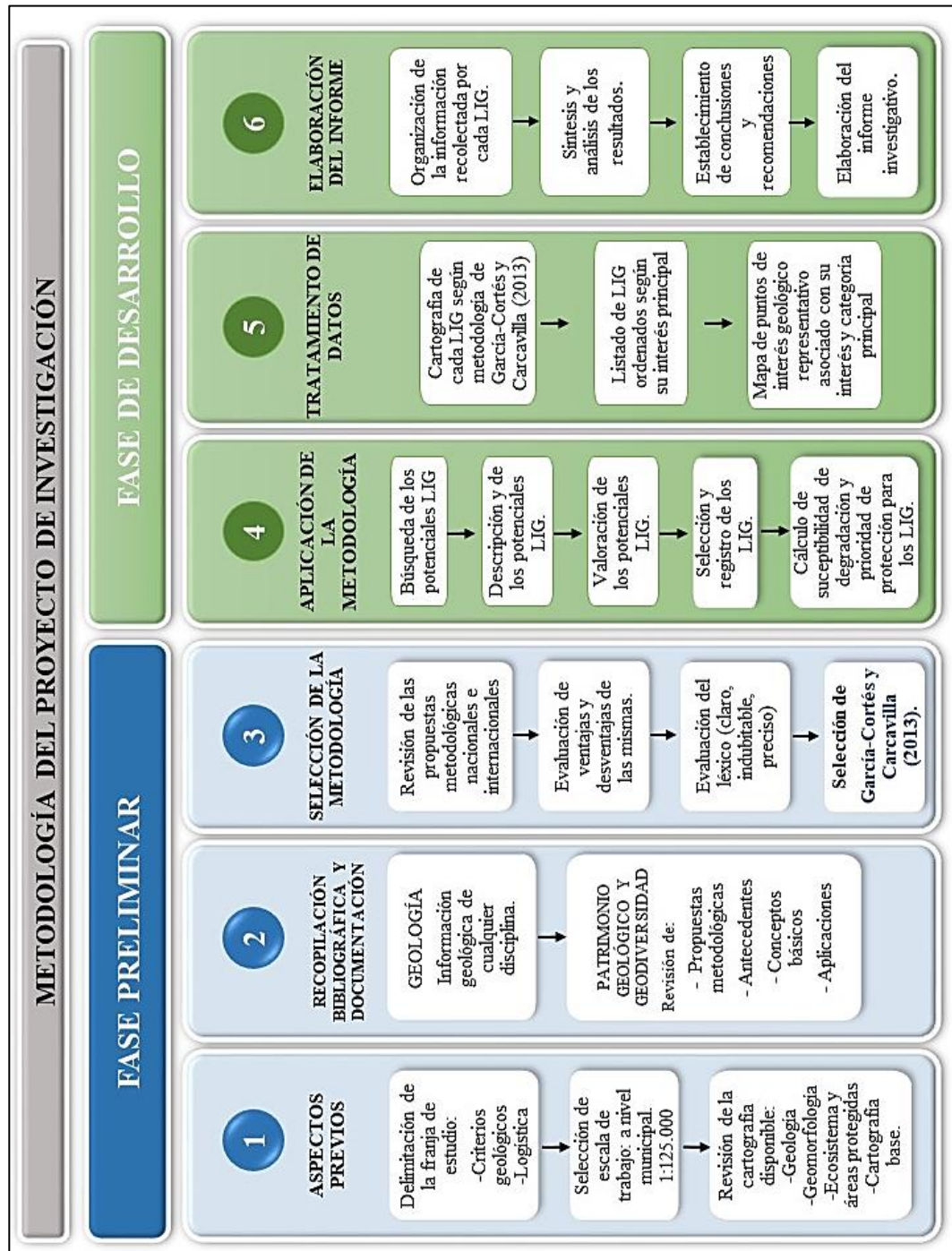
2.1 Metodología del proyecto

El proyecto de investigación se distribuye en dos grandes fases metodológicas (Figura 2): Una fase preliminar que comprende la revisión de aspectos previos, recopilación bibliográfica y documentación y la selección de la metodología de trabajo; y una última fase de desarrollo que comprende la aplicación de la metodología seleccionada para la búsqueda, valoración y selección

de los LIG potenciales, el tratamiento de los datos y la posterior elaboración del informe de investigación.

Figura 2

Esquema de la metodología de trabajo



2.1.1 Fase preliminar

2.1.1.1 Aspectos previos. Corresponde a la delimitación del área de estudio. La selección del municipio de Mogotes como franja de investigación nace a partir del reconocimiento previo de la variabilidad natural allí dispuesta, según lo identificado en campañas de campo geológico previas en el marco de la asignatura Campo II de la Escuela de Geología-UIS. Dicha variabilidad se corrobora al revisar la literatura disponible sobre el área en cuestión, donde se destacan franjas con desarrollo de karstificación (Galvis-Gómez, 2018), rocas con implicaciones geológicas importantes para la evolución del Macizo de Santander (Mantilla-Figueroa & García-Ramírez, 2018), entre otros documentos, en los que puede interpretarse un potencial interés desde el punto de vista patrimonial. De manera complementaria, se realiza una revisión de la cartografía disponible que corresponde a: mapas geológicos a escala 1:100.000 (Pulido, 1985; Vargas et al., 1985), mapas geológicos a escala 1:25.000 de la franja central del municipio propuestos durante jornadas de Campo en el curso de la asignatura Campo II-Geología UIS 2018-1, mapa de Ecosistemas y Áreas Protegidas (Corporación Autónoma Regional de Santander, 2015), mapa geomorfológico (Alcaldía de Mogotes, 2002); cartografía base generada e imágenes satelitales mediante Google Earth que permita aumentar el nivel de conocimiento sobre la zona y sus características naturales.

2.1.1.2 Recopilación bibliográfica y documentación. Partiendo de la franja seleccionada, se continúa con la etapa de “recopilación bibliográfica y documentación”. Esta etapa se subdivide de la siguiente manera:

2.1.1.2.1 Investigación de propuestas relacionadas con Patrimonio Geológico y Paleontológico. Teniendo en cuenta que el objetivo principal del proyecto de investigación consiste en la identificación de Lugares de Interés Geológico, se realiza la documentación en las

distintas bases de datos académicas disponibles sobre propuestas de evaluación del Geopatrimonio (tanto locales como internacionales), para reconocer los procesos metodológicos aplicados en las mismas, la finalidad y/o enfoque de dichas propuestas y, además, el reconocimiento del manejo de la terminología utilizada en el ámbito de la geología de Conservación. Esta recopilación permite, a futuro, realizar una adecuada selección de la metodología de trabajo ya que se destacan virtudes y/o falencias de las propuestas revisadas en relación al área seleccionada y a la escala de trabajo. En esta etapa se revisaron alrededor de 32 propuestas de investigación relacionadas al Patrimonio Geológico destacando 12 propuestas nacionales y 20 internacionales.

2.1.1.2 Investigación sobre la geología de la zona. Esta sub-etapa consiste en la recopilación de la información geológica disponible en proyectos de investigación, informes de campo, guías/catálogos geológicos, y demás recursos que permitan reconocer cada una de las ramas involucradas en el área de estudio (Estratigrafía, paleontología, mineralogía, Geología estructural, tectónica, geomorfología, etc), sus características y sus potenciales particularidades que la podrían destacar como un posible LIG. Sin embargo, en esta etapa aún no se realiza una selección y/o valoración pues aún no se cuentan con los recursos metodológicos para este fin. Durante esa etapa se revisaron 18 documentos geológicos entre los que se incluyen principalmente tesis de investigación (9), guías/catálogos geológicos (2), informes de campo (3), artículos científicos (1), y otros documentos oficiales (3).

2.1.1.3 Selección de la metodología de trabajo. A partir de la revisión mencionada en el apartado anterior, se selecciona la propuesta elaborada por García-Cortés y Carcavilla (2013) debido a que realiza un trabajo de compilación de las principales metodologías de Europa y permite representar los valores científico, didáctico y turístico/recreativo como conjuntos distinguibles y comparables entre sí. Además, las propuestas internacionales revisadas (entre ellas: Brilha, 2018;

Brocx & Semeniuk, 2007; Carton et al., 2005a; L. Erikstad et al., 2018; Emmanuel Reynard, 2013 y otros autores) pueden generar cierta confusión respecto al manejo de los términos allí referidos, debido a que, en el área del geo-patrimonio, comúnmente suelen utilizarse dos o más términos como sinónimos (claro ejemplo con geotopo, geositio, Lugar de interés geológico o Punto de interés geológico) cuando pueden tener algún significado distinto, razón por la cual se decide adoptar la metodología de García-Cortés y Carcavilla (2013) que realiza dichas distinciones que pueden generar confusión asociada a la mala traducción. Otro criterio corresponde a que esta metodología propone una estructura a seguir para la cartografía de los LIG, aspecto que no es reconocido por las propuestas anteriormente mencionadas. Se aclara que también se evaluó la propuesta nacional establecida por el Servicio Geológico Colombiano, sin embargo, aunque dicha metodología resulta similar a la seleccionada, carece de una guía explicativa que permita reconocer los procesos (es decir, el paso a paso) de manera independiente para efectos de la adaptación al ámbito municipal.

La valoración y catalogación de los Lugares de Interés Geológico bajo esta metodología será discutida en incisos posteriores.

2.1.2 Fase de desarrollo

2.1.2.1 Aplicación de la metodología de trabajo. En esta etapa se plantean los criterios a seguir durante la fase de búsqueda, descripción y valoración de los LIG potenciales (Figura 3) además de la selección y registro de los mismos y cálculo de susceptibilidad de degradación y prioridad de protección para cada uno de los LIG siguiendo los parámetros de García-Cortés y Carcavilla (2013).

Figura 3

Aplicación de la metodología seleccionada



2.1.2.1.1 Búsqueda de los Potenciales LIG. La primera fase corresponde a la búsqueda e identificación de los Lugares de Interés Geológico potenciales. Para ello, se debe juntar un grupo de trabajo que pueda determinar aquellos elementos geológicos más representativos dentro de la región seleccionada.

Inicialmente, García-Cortés y Carcavilla (2013) sugieren que la conformación del equipo de trabajo debe realizarse tras el análisis de la bibliografía referente al área de estudio. Es decir, una vez revisada la bibliografía establecer cual o cuales de las diferentes disciplinas geológicas (Apéndice 2) son abordadas en los proyectos de investigación y según esto, constituir el grupo de trabajo con profesionales especializados en estas disciplinas. En este caso, tras la recopilación y lectura de la bibliografía se encontró que las ramas geológicas principales son petrología-mineralogía y geología evolutiva.

A partir de lo anterior, se selecciona un profesional que cuente con el conocimiento suficiente en dichas ramas y que, además, conozca la importancia de la valoración del Patrimonio Geológico en una zona dada. Una vez conformado el grupo de trabajo (por el profesional seleccionado y los dos elaboradores de este proyecto de investigación), se plantea, mediante comunicación oral, un primer listado de LIG potenciales en base a la bibliografía disponible y al conocimiento del área en cuestión. En esta etapa, se añade una componente a la propuesta de García-Cortés y Carcavilla (2013) que consiste en la consulta a un guía local calificado que conozca aquellos lugares referenciados por la Alcaldía de Mogotes (2002) como franjas o corredores naturales y que, potencialmente, podrían hacer parte del inventario de LIG, pero que podrían verse excluidos por desconocimiento del grupo de trabajo. Dichos lugares se añaden de manera tentativa a la lista propuesta, pero están sujetos a la evaluación de sus características geológicas por parte del grupo en cuestión.

Seguido a esta selección preliminar, se realiza la visita de reconocimiento al área de trabajo para observar las condiciones logísticas que pueden preverse para una campaña de campo futura, además de la evaluación de los lugares anteriormente mencionados, realizando un registro fotográfico del lugar y una descripción de las características geológicas del mismo.

Una vez recopilada esta información, los integrantes del grupo de trabajo diligencian el cuestionario propuesto por García-Cortés y Carcavilla (2013) donde evalúan cada uno de los LIG potenciales según lo propuesto en el Apéndice 3, con el fin de eliminar aquellas franjas que no presenten valor geo-patrimonial en el área en cuestión.

A partir de los resultados obtenidos, se ponderan los puntajes asignados por los integrantes a cada lugar, descartando aquellos que obtengan una puntuación menor a 15. Este proceso dio como resultado el descarte de cuatro de los 25 lugares preliminares propuestos, entre ellos, Rio Guare, Quebrada Canoas, Gruta La Lomita y Piedra del Muerto, los cuales son excluidos del listado de posibles LIG (Tabla 1) que serán evaluados durante la campaña de campo.

Tabla 1

Listado de los LIG potenciales a evaluar en la campaña de campo

LISTADO DE LOS POSIBLES LIG			
1	Cascada del Resumidero	12	Cueva del Sapo
2	Cascadas Peña Blanca	13	Cueva Rica
3	Cascada El Avional	14	Mirador de San José
4	Cascadas de Las Águilas	15	Cañón del Río Mogoticos
5	Sistema de Cascadas el Pino	16	Alto El Canelo
6	Pozo del Oso	17	Alto de los Cacaos
7	Pozo La Esmeralda	18	Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos
8	Pozo Negro	19	Saprolito de Diabasas
9	Pozo del Minero e inmediaciones	20	Parque Arqueológico
10	Hoyo de los pájaros	21	Zona Minera La Aguada - La Isla
11	Cueva el Resumidero		

2.1.2.1.2 Estudio y descripción de los Lugares de Interés Geológico potenciales. La siguiente etapa consiste en el estudio y descripción de los Lugares de Interés Geológico, para ello, se desarrolla una campaña de Campo que permite visitar entre 2 y 3 LIG potencial por día, teniendo en cuenta las condiciones de logística y presupuesto del proyecto. En esta etapa se debe realizar el diligenciamiento de las fichas descriptivas propuestas por García-Cortés y Carcavilla (2013) pero enfocadas a un ámbito local (Apéndice 4), razón por la cual, se hace necesario modificar algunos parámetros de la misma descritos a continuación:

- El ítem de localización se adapta al ámbito nacional, manejando el sistema de coordenadas Magna-Sirgas y al ámbito mundial representado con coordenadas geográficas (latitud-longitud). Además, se opta por realizar la descripción de la ubicación con los subítems: Departamento, municipio y vereda principal. Finalmente, no se opta por ubicar el centro del polígono sino el Punto de Interés Geológico representativo (o tipo) de dicho LIG.

- El ítem de Situación Geológica conserva los apartados de Dominio Geológico (GEODE) y unidad Geotectónica de 2º Orden, sin embargo, en la descripción litológica se propone el espacio vacío para graficar las columnas estratigráficas generalizadas con los parámetros allí propuestos.

- El ítem de Documentos se cambia por Anexos y allí se podrá añadir toda la documentación extra sobre cada LIG Potencial.

Además de la ficha anteriormente mencionada, se realizan las anotaciones pertinentes en la bitácora de campo y se realiza el registro fotográfico de cada LIG. En la bitácora de campo, además de las descripciones geológicas completas de cada LIG, se describe su estado de conservación, algunas características relevantes y el acceso al mismo (estado de las vías, tiempo de recorrido, etc.) de manera que complemente la información suministrada en la ficha descriptiva.

2.1.2.1.3 Valoración de los Lugares de Interés Geológico potenciales. Con la información recopilada en la campaña de campo, se procede a la valoración de los 21 Lugares de Interés Geológico siguiendo la metodología adoptada, según la cual cada uno de los lugares se valorarán, inicialmente, atendiendo a sus valores intrínsecos y ligados a la potencialidad de uso para dar lugar tres conjuntos distinguibles de LIG, de acuerdo con su interés científico, didáctico y turístico-recreativo. Y, posteriormente, los LIG se valorarán según los parámetros ligados a la necesidad de protección para identificar cuáles son más vulnerables, esto mediante el cálculo de la susceptibilidad de degradación y prioridad de protección.

Inicialmente, los LIG se valoran según su potencialidad de uso. Cada LIG puede presentar 3 diferentes usos (Científico, didáctico y/o Turístico/Recreativo) los cuales deben ser valorados por separado para evitar que al promediar los valores de los 3, se excluyan del inventario lugares que posean un alto interés en algún uso, pero bajo en otro.

Para calcular el grado de interés en cada uno de estos usos, se multiplica el puntaje asignado a cada uno de los 18 parámetros (0-4 puntos), según lo propuesto en el Apéndice 5, por su correspondiente peso ponderado, los cuales se pueden observar en la Tabla 2 y luego se suman estos datos para obtener el valor total de cada uso. Según la metodología, lugares que presenten valores superiores o iguales a 267 se consideran de interés muy alto, interés alto entre 134-266, interés medio por debajo de 134 y bajo los que tengan menos de 67 puntos.

Cabe recalcar, que estos usos no son proporcionales entre sí, ya que como se detalla en la Tabla 2, cada parámetro adquiere un peso ponderado diferente (entre 0-100) según la influencia que este tenga en la valoración de los diferentes usos, por ejemplo, la representatividad adquiere un peso ponderado de 30 en el interés científico, 5 en el didáctico y 0 en el turístico, esto quiere decir que dicho parámetro, aunque es de gran importancia para el interés científico, no lo es para

el interés turístico. Por ende, un LIG puede presentar más de un solo interés alto en algún uso, o muy alto en alguno y bajo en los otros 2, o no presentar un interés muy alto en ninguno, todo varía según la puntuación asignada a cada parámetro.

Tabla 2

Parámetros de valoración de cada LIG junto a su peso ponderado propuesto

PARÁMETROS	INTERÉS A VALORAR		
	Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	R x 30	R x 5	0
Carácter localidad tipo (T)	T x 10	T x 5	0
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	K x 15	0	0
Estado de conservación (C)	C x 10	C x 5	0
Condiciones de observación (O)	O x 10	O x 5	O x 5
Rareza (A)	A x 15	A x 5	0
Diversidad geológica (D)	D x 10	D x 10	0
Contenido didáctico/ uso didáctico (C _{DD})	0	C _{DD} x 20	0
Infraestructura logística (I _L)	0	I _L x 15	I _L x 5
Densidad de población (D _P)	0	D _P x 5	D _P x 5
Accesibilidad (Ac)	0	Ac x 15	Ac x 10
Tamaño del LIG (F)	0	0	F x 15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	0	NH x 5	NH x 5
Espectacularidad o belleza (B)	0	B x 5	B x 20
Contenido divulgativo/uso divulgativo (C _{DV})	0	0	C _{DV} x 15
Potencialidad para realizar actividades (P _{TR})	0	0	P _{TR} x 5
Cercanía a zonas recreativas (Z _R)	0	0	Z _R x 5
Entorno socioeconómico (E _S)	0	0	E _S x 10
TOTAL	100	100	100

Nota. Tomado de García-Cortés y Carcavilla (2013). Los coeficientes de ponderación cero, no son tenidos en cuenta

en el cálculo de determinado uso.

2.1.2.1.4 Selección de los Lugares de Interés Geológico. Teniendo en cuenta la información recopilada en el apartado anterior, se seleccionan los Lugares de Interés Geológico, resaltando que García-Cortés y Carcavilla (2013) proponen la reconsideración y/o descarte de aquellos lugares con una puntuación menor a 67 puntos. Sin embargo, durante la selección, también deben tenerse en cuenta las siguientes premisas propuestas por la misma:

En el caso de los LIG enmarcados por su interés didáctico, la selección debe ser flexible en el sentido que la valoración objetiva obtenida debe ser analizada junto a la disponibilidad de categorías de interés (Tectónico, estratigráfico, geomorfológico, etc.) y épocas geológicas que se encuentran en un lugar en específico. Es decir, que la selección de estos lugares puede no deberse netamente a la puntuación obtenida sino a la variabilidad geológica de dicha zona.

De manera similar, para los LIG relacionados con el interés científico, se debe tener en cuenta si sobre los resultados parciales se observa la ausencia de LIG representativos de algún elemento importante para la geo-diversidad o de alguna disciplina geológica de la que existan trabajos en el territorio.

Una vez descartados aquellos lugares que no cumplan con los requisitos mencionados anteriormente, se genera un listado con los Lugares de Interés Geológico seleccionados, el cual consta del nombre del LIG, su correspondiente código y valoración de los potenciales usos.

En el caso de la codificación de los LIG fue necesario adaptar las directrices propuestas por García-Cortés y Carcavilla (2013) a un ámbito local que pudiera ser aplicable a este proyecto. Para ello, se hará uso de códigos de máximo 4 dígitos. El primero corresponde a la sigla del municipio en el que se realizó el proyecto, los dos siguientes serán correlativos, del 01 al 99, para identificar cada uno de los LIG inventariados y, finalmente, un cuarto dígito alfabético (a, b, c...) que sólo será necesario agregarlo en los casos en los que un LIG presente más de un afloramiento

relevante (con características propias y diferentes entre sí) pero que mantenga la misma disciplina geológica principal, donde se hace necesario describirlo en una ficha independiente. Sin embargo, la cartografía y valoración de estos afloramientos corresponden al LIG que pertenecen, es decir, estos afloramientos secundarios sólo serán descritos y no se valorarán por aparte, sino que dicha valoración se hará al LIG como un conjunto.

Con base en la información expuesta, se procede a definir el principal interés de cada LIG (científico, didáctico o turístico) según los resultados obtenidos en cada uno de ellos. El interés principal de un LIG será aquel que obtenga el mayor puntaje de los 3. En el caso de que un LIG presente más de un interés principal (si dos usos presentan igual puntaje) será decisión del equipo de trabajo definir cuál de ellos prevalece sobre el otro. Esto con el fin de agrupar todos los lugares de interés geológico en 3 conjuntos distinguibles (aunque con probables intersecciones) según su categoría de uso principal. Los LIG serán ordenados dentro de estos grupos de forma descendente según el puntaje de los mismos.

2.1.2.1.5 Valoración de la Susceptibilidad de Degradación y Prioridad de Protección de los LIG. Como se mencionó anteriormente, una vez seleccionados los LIG y calculados individualmente sus valores científicos, didácticos y turísticos/recreativo, se realiza una valoración basada en la necesidad de protección del lugar; esto mediante el cálculo de la susceptibilidad de degradación y de la prioridad de Protección que permite cuantificar la magnitud del deterioro de cada lugar atribuyendo una puntuación objetiva (García-Cortés y Carcavilla, 2013).

- *Susceptibilidad de degradación (SD)*. Para valorar la Susceptibilidad de Degradación (SD) de cada LIG es necesario calcular 2 factores: la fragilidad intrínseca (F) y la vulnerabilidad por las amenazas antrópicas (A). Cada uno de ellos, depende de ciertos parámetros; en el caso de la Fragilidad se tienen en cuenta 3 parámetros (Apéndice 6) mientras que en la valoración de la vulnerabilidad 8 parámetros (Apéndice 7).

La metodología asigna un peso ponderado para cada uno de estos parámetros, los cuales se multiplican por el puntaje asignado (0-4 puntos según directrices expresadas en los Apéndices 6 y 7) y se suman, de esta forma se valora tanto la fragilidad (F) como la vulnerabilidad por amenazas antrópicas (A).

Una vez conocidos los valores de F y A, se procede a calcular la susceptibilidad de degradación (SD) por medio de la siguiente ecuación:

$$SD = (F \times A) \times \frac{1}{400} \quad [1]$$

La metodología adoptada sugiere que un LIG presenta alto grado de susceptibilidad cuando el valor resultante de la fórmula destaque o se diferencie ampliamente del conjunto de datos (SD de los demás LIG), por el contrario, será de bajo grado cuando el valor de SD sea cero. El resto de los LIG se considerarán con susceptibilidad de degradación media, que podrá matizarse como media-alta o media-baja analizando el conjunto de valores de SD obtenidos. Esta categorización se hará respecto al promedio del conjunto de datos; los valores menores a este se considerarán de susceptibilidad media-baja mientras los mayores serán media-alta. Los valores mayores a dos veces el promedio serán de susceptibilidad alta.

Con base en lo anterior, se genera un listado con la susceptibilidad de degradación de cada LIG ordenado de forma descendente y su correspondiente grado.

- *Prioridad de Protección (PP)*. La necesidad o prioridad de protección debe realizarse una vez se hayan valorado por separado los intereses o usos de cada LIG y se halla calculado su susceptibilidad de degradación, ya que la prioridad de protección depende de estas variables, tal como se puede observar en las ecuaciones 2, 3, 4 y 5.

Es posible hallar la prioridad de protección para los 3 usos por separado (científico, didáctico y turístico-recreativo) o bien, calcular la prioridad de protección global o del LIG en general (PP), teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$PPc = (Ic^2 \times SD) \times \frac{1}{400^2} \quad [2]$$

$$PPd = (Id^2 \times SD) \times \frac{1}{400^2} \quad [3]$$

$$PPt = (It^2 \times SD) \times \frac{1}{400^2} \quad [4]$$

$$PP = \left[\frac{(Ic + Id + It)}{3} \right]^2 \times SD \times \frac{1}{400^2} \quad [5]$$

Donde,

PPc: Prioridad de protección científica [2]; PPd: Prioridad de protección didáctica [3]; PPt: Prioridad de protección turística-recreativa [4]; PP: Prioridad de protección global [5]; Ic: Interés científico de cada LIG; Id: Interés didáctico de cada LIG; It: Interés turístico de cada LIG; SD: Susceptibilidad de degradación.

Para el análisis de dichos resultados, los Lugares de Interés Geológico con prioridad de protección alta serán aquellos que su valor destaque del conjunto de datos mientras los LIG con prioridad baja corresponden a los que tengan valor cero. Igual a la susceptibilidad de degradación (SD), los valores intermedios se podrán matizar en media-alta y media-baja respecto al promedio del conjunto de datos.

Con base en lo anterior, se genera un listado con el valor de la prioridad de protección de cada LIG y su correspondiente categorización.

2.1.2.2 Tratamiento de datos obtenidos. Con base en la información adquirida durante la campaña de campo se realiza, de manera inicial, la cartografía de los Lugares de Interés Geológico de la región. Para ello, se adopta lo propuesto en la metodología de García-Cortés y Carcavilla (2013) realizando algunas modificaciones que permitan la aplicabilidad a escala local, de la siguiente manera:

- Aquellos LIG que abarquen áreas menores a 0.5 km cuadrados son cartografiados a escala 1:5000 sobre imágenes satelitales ya que, Aunque García-Cortés y Carcavilla (2013) proponen el uso de ortofotos, dichos recursos no se encuentran disponibles para el área de estudio seleccionada.

- Los LIG con áreas entre 0.5-10 km cuadrados se representan a escala 1:25000 sobre el mapa topográfico del área, siguiendo la propuesta de la metodología adoptada.

- Los LIG con distribución espacial entre 10-335 km cuadrados son cartografiados a escala 1:50000 sobre el mapa topográfico del área, acogiendo la propuesta metodológica seleccionada. Las áreas mayores a 335 km cuadrados sólo pueden ser representadas parcialmente debido al tamaño del área de estudio y, por lo tanto, no son tenidas en cuenta durante la cartografía.

Además de la representación cartográfica de cada LIG se propone la elaboración de un Mapa de Puntos de Interés Geológico representativo que enmarque las localidades tipo para cada LIG de cara a posibles actividades didácticas, científicas o turísticas según sea el interés. Dichas zonas se seleccionan teniendo en cuenta lo observado durante la campaña de campo y que, como condiciones fundamentales, sea accesible y permita observar directamente el interés principal de dicho lugar.

2.1.2.3 Elaboración del informe de investigación. Finalmente, esta fase consiste en la recopilación de la información obtenida en campo mediante la elaboración de un informe final junto al tratamiento de los datos obtenidos y la elaboración de conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras.

3. Marco teórico

3.1 Antecedentes de la investigación

Los primeros pasos hacia el reconocimiento del Patrimonio Geológico y la Geoconservación se dieron durante la Conferencia Internacional de Malvern en el Reino Unido hacia el año 1993 (Brocx & Semeniuk, 2007). Desde entonces y, a lo largo de los últimos 20 años, las instituciones internacionales se han encargado de estructurar una legislación que garantice la preservación de los lugares de interés geológico (LIG) que hagan parte del patrimonio natural de la región. Es por ello que la UNESCO, mediante la convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural, celebrada a finales de 1972, establece 38 artículos que describen las principales obligaciones que se deben cumplir para garantizar la protección de dichas áreas naturales. (UNESCO, 1972)

A partir de lo anterior, la evaluación del Patrimonio Geológico a nivel mundial ha sido realizada a gran escala y bajo diversas propuestas metodológicas que se ajustan, ya sea, al contexto específico estudiado o a los objetivos de la investigación, es decir, el interés científico, ecológico, cultural, estético, económico o potencial de uso que pueda presentar ((Bruschi & Cendrero, 2009; Carton et al., 2005; Cendrero, 1983, 1996; Coratza & Giusti, 2005; Grandgirard, 1995; Sánchez & Brilha, 2017, y sus referencias allí citadas). Gracias a ello existe una variedad de propuestas de sitios de interés geológico a lo largo del mundo (Alexandrowicz y Kozłowski, 1999; Bollati et al.,

2013; Erikstad et al., 2018; Erikstad, 2008; Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez, 2010; Reynard, 2013) y, además, algunas naciones han optado por encargar la elaboración, descripción y revisión del inventario de LIG a las instituciones públicas nacionales relacionadas al ámbito geológico y paleontológico, dentro del marco de lo propuesto por la IUGS y UNESCO en el proyecto Global Geosites.

Es por ello que la evaluación del Patrimonio Geológico en Colombia ha sido realizada, de manera oficial, por el Servicio Geológico Colombiano en cumplimiento del decreto 1353 de 2018 a partir de la elaboración del Inventario Nacional de Patrimonio Geológico y Paleontológico inmueble desde el año 2016. Dicho inventario ha sido desarrollado mediante la división del territorio por dominios geotectónicos y, hasta el momento, sólo ha sido cubierto el dominio Cordillera Oriental, reconociendo e identificando 57 Lugares de Interés Geológico de índole estratigráfica, paleontológica, geomorfológica, petrológica, tectónico-estructural o vulcanológica.

Además del inventario nacional realizado por el SGC, se han realizado distintas propuestas de LIG a largo del país recopilados por Gomez Guerrero et al (2017) en el cual se consideran más de 210 lugares de interés geológico descritos por diferentes autores nacionales e internacionales, notando que el 27% de los mismos se encuentran en el departamento de Caldas, 21% en el departamento de Antioquia, 15% en el departamento de Santander y otros departamentos con menor porcentaje como Córdoba, Amazonas y Magdalena.

Para el departamento de Santander se precisa la identificación y valoración del patrimonio geológico en los municipios de Los Santos (Yepes y Daza, 2017), Girón (Guerrero y Mancera, 2014), Piedecuesta (Villabona y Mantilla, 2013), Cepitá-Pescadero-Jordán (Ballesteros, 2002), Vetas (Colegial et al., 2002), Zapatoca (Zafra-Otero et al., 2019), el sector de Chicamocha (Ríos

et al., 2020; Rozo, 2013), Barichara (Torres & Villabona, 2019), El Peñón (Gelvez-Chaparro et al., 2020).

3.2 Bases teóricas y conceptos fundamentales

El estudio de la geodiversidad y del patrimonio geológico figuran entre las áreas de investigación más recientes incorporadas al ámbito de la Geología y surgen como resultado de una nueva manera de entender la relación de la humanidad con la Tierra (Carcavilla et al, 2014). Por esta razón, muchos de los términos afines con estas ramas aun no son ampliamente conocidos y, en la mayoría de casos, se genera una diversidad de términos con definiciones similares que pueden dar lugar a interpretaciones equivocadas; es por ello que en este proyecto de investigación se propone una serie de términos con su correspondiente definición con el fin de unificar y emplear de forma correcta el léxico asociado a la geología de conservación y el patrimonio geológico.

3.2.1 Conceptos fundamentales sobre patrimonio geológico

Geodiversidad. En este proyecto se emplea el término geodiversidad como abreviación de diversidad geológica, haciendo referencia, según (Carcavilla et al, 2014), a la diversidad de elementos geológicos (incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes) que son el resultado de los procesos y acontecimientos geológicos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra. Esta definición es respaldada por Serrano y Ruiz (2007), quienes definen la geodiversidad como la variabilidad de la naturaleza abiótica, incluidos los elementos litológicos, tectónicos, geomorfológicos, edáficos, hidrológicos, topográficos y los procesos físicos sobre la superficie terrestre, mares y océanos, junto a sistemas generados por procesos naturales (endógenos y exógenos) y antrópicos que comprende la diversidad de partículas, elementos y lugares. Cabe recalcar que, como lo señala Carcavilla et al.,

(2007), este término también es utilizado, de forma errónea, para referirse a la diversidad geográfica, pero no es el caso de este proyecto.

Patrimonio geológico. Teniendo en cuenta lo propuesto por la Jefatura de Estado española (Ley 42/2007 Del Patrimonio Natural y La Biodiversidad, 2007) este concepto se define como el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra, b) los procesos que la han modelado, c) los climas y paisajes del pasado y presente y d) el origen y evolución de la vida. El patrimonio geológico incluye no solo lugares de gran belleza paisajística, sino también aquellos de poca atraktividad visual o estética que cuentan con un gran valor científico o didáctico (SGC, 2016-2020). En este sentido, se adopta el concepto de Patrimonio geológico de manera general, reconociendo que, como lo señala Carcavilla et al., (2007) pueden existir estudios temáticos del patrimonio geológico dependiendo de la disciplina involucrada (p. ej. patrimonio paleontológico, mineralógico, etc.) o incluso del contexto en el que se encuentre (patrimonio geológico mueble si los elementos han sido extraídos de su contexto natural e inmueble si aún se conserva in situ, siendo este último la mayoría y el considerado en este proyecto).

Inventario geológico. Es un registro organizado de todos los LIG identificados en los que se especifica su nombre, código, valoración y necesidad de protección. (Servicio Geológico Colombiano, 2016-2020)

Geoturismo. Es la utilización del patrimonio geológico como recurso por su interés científico, natural, cultural, recreativo y didáctico, lo que permite a los turistas viajar con objeto

de experimentar, aprender y disfrutar de este patrimonio, de manera que fomente y estimule en él actitudes favorables para su conservación (Servicio Geológico Colombiano, 2016-2020).

Geoconservación. Es el conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación o restauración) del patrimonio geológico, basándose para ello en el análisis de su valor intrínseco, susceptibilidad de degradación y prioridad de protección. Asimismo, la geoconservación no sólo busca evitar la destrucción, sino también prevenir, corregir o minimizar las afecciones que pueda sufrir dicho patrimonio (Servicio Geológico Colombiano, 2016-2020).

Geotopo. Este término refiere, según lo señalado por Sturm, (1999), a las porciones delimitadas de la geosfera con una importancia particular para la historia de la tierra. Además, el Servicio Geológico Colombiano (2016-2020) describe que es un lugar de interés, por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos colombianos y los procesos que los han modelado. En el caso particular de este estudio, no se utiliza el término “geotopo” debido al uso frecuente e indiscriminado de este como sinónimo de Geositio, punto de interés geológico (PIG) o lugar de interés geológico (LIG) dando lugar a confusiones.

Geositio. Según lo descrito por el Servicio Geológico Colombiano (2016-2020), la IUGS define este concepto en el marco del proyecto Global Geosites como un tipo especial de geotopo de relevancia internacional, es decir, es un bien que presenta características geológicas con relevancia científica/didáctica de carácter mundial y que permiten el estudio multidisciplinario de eventos y procesos geológicos propios de la historia del planeta; o que conforman los registros que permiten la correlación mundial de los mismos. Sin embargo, el uso dado por Palacio Prieto, (2012) no distingue diferencia entre geotopo, geositio y punto de interés geológico, razón por la

cual se adopta la primera definición dada, entendiendo que el término geositio nace en el marco de un proyecto internacional.

Punto de Interés Geológico (PIG). El uso de este término nace en el desarrollo del inventario de Puntos de Interés Geológico realizado por el IGME en el año 1978 (Cendrero, 1983) enfatizado en resaltar regiones que evidencian características geológicas destacadas de un dominio considerado. Sin embargo, la representación cartográfica de estas regiones se limita a un punto, no siendo expresada su distribución espacial (García-Cortés y Carcavilla, 2013).

Lugar de Interés Geológico (LIG). Según García-Cortés y Carcavilla (2013) corresponde a un “lugar de interés, por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica. Es indispensable que estas áreas muestren, de manera suficientemente continua y homogénea en toda su extensión, una o varias características notables y significativas del patrimonio geológico de una región natural”. Además, una característica de los LIG es que son áreas, no puntos, que pueden ser cartografiables, razón por la cual es el término adoptado en este proyecto de investigación.

Los LIG se evalúan según su potencialidad de uso para determinar su principal interés, ya sea científico, didáctico y/o turístico-recreativo. García-Cortés y Carcavilla (2013) proponen realizar la valoración teniendo en cuenta 18 parámetros (descritos en la Tabla 3), los cuales influyen de manera diferente en cada interés y pueden ser de valor tanto intrínseco, como de uso y de protección.

Valor Intrínseco. Este valor refiere, según Cendrero (1996), a las características propias del lugar que no varían según las circunstancias externas. Los parámetros para evaluar dichas características están expuestos en la Tabla 3.

Valor de Uso. Hace referencia a las características del LIG que dependen del entorno (social y económico) y están condicionadas por la posibilidad de realizar algún tipo de actividad en la zona. Los parámetros, de igual manera, se disponen en la Tabla 3.

Valor de Protección. El valor se relaciona con la necesidad crítica de adoptar medidas de protección por parte de las entidades encargadas de administrar la gestión del patrimonio, sin embargo, la valoración de este aspecto requiere de un tratamiento independiente de los otros valores pues algunos factores (p. ej. tamaño) pueden influir positivamente en la valoración de la potencialidad de uso, pero negativamente en la necesidad de protección (García-Cortés y Carcavilla, 2013) Los factores relacionados a este valor se analizan en la Tabla 3.

Interés científico. El término “científico” significa que se ajusta a los principios y métodos de la ciencia o está relacionado con ella, por lo tanto, en el marco del patrimonio geológico, se dice que un LIG es de interés científico cuando el lugar presenta características y propiedades intrínsecas que se destacan en alguna (o en un conjunto) de las disciplinas geológicas consideradas (Geomorfología, estratigrafía, paleontología, mineralogía, entre otras), ya que representan procesos geológicos particulares que marcan un hecho importante en la evolución y tiempo geológico, dentro de un dominio dado (Adaptado de García-Cortés y Carcavilla, 2013)

Interés didáctico. Refiere a la posibilidad que presenta el LIG, por sus propiedades intrínsecas y de uso, para ser utilizado en actividades de enseñanza ya que ejemplifica de forma clara y/o notoria algún proceso geológico (Adaptado de García-Cortés y Carcavilla, 2013)

Interés turístico-recreativo. Se relaciona con características vistosas/gradables que presenta el LIG como, por ejemplo, el cambio de relieve, variabilidad de colores, fósiles y/o minerales vistosos, entre otras, que hacen al lugar potencialmente apto para el desarrollo de algún tipo de actividad recreativa y/o de ocio (Adaptado de García-Cortés y Carcavilla, 2013)

Tabla 3*Descripción de los parámetros de valoración de los LIG*

CLASE DE VALOR	PARÁMETRO VALORACIÓN	SIGLA	DESCRIPCIÓN
INTRÍNSECO	Representatividad	R	Según Carcavilla et al (2007) el concepto puede emplearse de dos maneras pero en el marco de este proyecto, la representatividad hace referencia al elemento como la manifestación más completa y expresiva de un fenómeno geológico sea excepcional u ordinario, teniendo en cuenta que se indaga por un LIG que represente (de mala-media-buena-excelente manera) uno o más rasgos geológicos.
	Carácter de localidad tipo	T	Hace referencia a si el LIG potencial es un punto de referencia geológica local, regional o nacional (teniendo en cuenta la escala del proyecto) de algún rasgo o fenómeno geológico, no siendo exclusivo del ámbito paleontológico. Es decir, informa sobre la cualidad del lugar como referencia estratigráfica, paleontológica, mineralógica, etc.
	Grado de conocimiento científico del lugar	K	Corresponde al nivel de conocimiento científico sobre el LIG potencial a evaluar, generalmente medido en la cantidad relativa y tipo de publicaciones científicas sobre el mismo (artículos científicos, tesis de investigación, informes técnicos-científicos, entre otros).
	Estado de conservación	C	Corresponde a la evaluación del LIG potencial en términos de la preservación de sus características naturales/originales y/o la acción de fenómenos invasivos (naturales o antrópicos) que generan el deterioro físico de uno o varios rasgos dentro del área.
	Condiciones de observación	O	Hace referencia a la capacidad de observar los elementos y/o rasgos geológicos de manera directa y clara. Ocasionalmente dichos rasgos suelen estar enmascaradas por elementos del entorno que dificultan o impiden su visualización.
	Rareza	A	Referente al conjunto de características geológicas del LIG que lo sitúan como un lugar poco común o exclusivo, ya que los rasgos descritos son tan peculiares que son escasos o únicos. En el marco del presente estudio se evalúa esta propiedad en función del entorno geológico dado, es decir, a escala regional.
	Diversidad geológica	D	Es la variabilidad de especialidades geológicas que intervienen en un mismo LIG y su interés (principal o secundario) dentro del mismo, es decir, informa de la existencia de varios tipos de interés geológico en el

INTRÍNSECO Y DE USO			mismo lugar. Está relacionado con la representatividad del proceso geológico a evaluar.
	Espectacularidad o belleza	B	Es una apreciación subjetiva que resalta las cualidades de, en este caso, un fenómeno geológico particular. Su medición, en el ámbito del patrimonio geológico, suele estar relacionada a variaciones de color notables en el LIG potencial, grandes cambios de relieve, cursos fluviales caudalosos, minerales/piezas paleontológicas vistosas o exclusivas, entre otras.
	Contenido didáctico/ uso didáctico	CDD	Se refiere al valor potencial de cada LIG para ser utilizado en actividades, generalmente de docencia. Su medición está relacionada a la capacidad de dicho lugar para ejemplificar un proceso geológico a los distintos niveles académicos de la sociedad.
	Contenido divulgativo/uso divulgativo	CDV	Hace referencia a la capacidad de un LIG potencial para ser utilizado con fines divulgativos. En el ámbito del patrimonio geológico, la geo-divulgación se entiende como el conjunto de acciones encaminadas a transmitir al público su valor, de cara a promover su entendimiento y estimular acciones relacionadas a la conservación (Carcavilla et al, 2007). La medición de este factor se relaciona, en el marco del proyecto, a la capacidad de LIG potencial de ilustrar un proceso/rasgo geológico de manera clara y expresiva a los distintos sectores poblacionales clasificados por su nivel académico-cultural.
	Potencialidad para realizar actividades	PTR	Refiere a la capacidad del LIG potencial de albergar actividades ocio-recreativas en función de sus características naturales como relieve, flujo de agua, karstificación, entre otros. Su medición se encamina en la capacidad para realizar actividades turísticas (es decir, netamente de observación), recreativas (de aplicación y movimiento), las dos anteriores o ninguna de ellas.
DE USO	Infraestructura logística	IL	Informa sobre la existencia de alojamientos y restaurantes cerca al lugar para un grupo considerable de personas.
	Entorno socioeconómico	ES	Informa sobre las condiciones socioeconómicas de la comarca, que pueden favorecer la utilización del lugar como factor de desarrollo local.* Según Cendrero, 1996 las condiciones socioeconómicas del entorno influyen porque cuánto menos recursos tengan las poblaciones vecinas, mayor importancia adquiere la presencia de un patrimonio "explotable" en sentido turístico y recreativo.
	Asociación con elementos eco-culturales	NH	Este parámetro se relaciona con la distribución geoespacial del LIG potencial y la existencia o proximidad de este con otros elementos de interés no geológico (elementos del patrimonio natural, histórico o etnológico (tradiciones)).

DE USO Y PROTECCIÓN	Densidad de población	DP	Hace referencia al número promedio de habitantes de la región o área donde está ubicado el LIG. Este parámetro está ligado al número potencial de visitas.
	Accesibilidad	Ac	Hace referencia a la facilidad de acceso o llegada al LIG teniendo en cuenta características de su recorrido, tales como la existencia y estado de las vías de acceso, duración, señalización, condiciones del terreno, etc.
	Fragilidad	F	Este parámetro indica la vulnerabilidad intrínseca del lugar, bien por sus dimensiones, su litología o su naturaleza (yacimientos paleontológicos o mineralógicos).
	Cercanía a zonas recreativas	ZR	Indica la presencia de zonas recreativas, de ocio y/o turísticas cerca del LIG, tales como parques, playas, campings, entre otros.

Nota. Adaptado de García-Cortés y Carcavilla (2013) y Servicio Geológico Colombiano (2016-2020).

Susceptibilidad de degradación (SD). Indica que tan propenso es un lugar de ser deteriorado con base en sus características tanto intrínsecas como de uso. La susceptibilidad de degradación depende fundamentalmente de su fragilidad (F) y de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas (A) (García-Cortés y Carcavilla, 2013). Su cálculo es fundamental pues permite priorizar, ante la previsible insuficiencia de medios, el seguimiento del estado de conservación en los LIG más susceptibles de degradación.

Fragilidad (F). Es uno de los componentes de la susceptibilidad de degradación. Hace referencia a qué tan predispuesto está el lugar a degradarse debido a las características intrínsecas que este presenta, razón por la cual escapa en gran medida a posibles actuaciones de mitigación. García-Cortés y Carcavilla (2013) proponen evaluarlo a partir de 3 parámetros con valor intrínseco como lo es el tamaño, las amenazas naturales y la vulnerabilidad al expolio (parámetros definidos en la Tabla 4), siendo este último incluido porque el atractivo mineralógico o paleontológico responde a una característica intrínseca del LIG.

Tabla 4*Parámetros de valoración de la fragilidad de los LIG con sus descripciones*

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Tamaño del LIG	Indica la fragilidad del lugar, en función de sus dimensiones.
Vulnerabilidad al expolio	Indica la fragilidad del lugar, por su naturaleza de yacimiento paleontológico o mineralógico y su valor patrimonial.
Amenazas naturales	Informa sobre la vulnerabilidad del LIG ante la existencia de amenazas naturales (procesos activos).

Nota. Tomado de García-Cortés y Carcavilla (2013).

Vulnerabilidad por amenazas antrópicas (A). La vulnerabilidad es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos, en este caso el LIG, como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno generado principalmente bajo la acción de agentes externos como las actividades antrópicas. (Adaptado de García-Cortés y Carcavilla, 2013) Para su valoración, García-Cortés y Carcavilla (2013) proponen 8 parámetros relacionados con aspectos socioeconómicos (Tabla 5). Es importante recalcar que estos parámetros pueden evolucionar con el tiempo, por lo que es recomendable actualizarlos periódicamente, ya que su identificación y cuantificación pueden orientar la adopción de medidas de protección adecuadas.

Prioridad de Protección (PP). Este término indica el grado de necesidad que tiene un LIG de ser resguardado o protegido, es decir, permite conocer que tan apremiante es implementar en él una figura de protección que se encargue del cuidado, mitigación y conservación del mismo, esto con el fin de preservar sus elementos. Es un aspecto crítico a la hora de proponer medidas de protección al ente competente de la gestión del patrimonio, razón por la cual, su cálculo es indispensable dentro del marco de este proyecto y debe realizarse una vez se hayan valorado por separado los intereses o usos de cada LIG. La necesidad o prioridad de protección depende del

interés (tanto científico, didáctico, como turístico-recreativo) y de la susceptibilidad de degradación que presenta cada LIG.

Tabla 5

Parámetros de valoración de la vulnerabilidad por amenazas antrópicas

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Proximidad a infraestructuras	Informa sobre la existencia de amenazas antrópicas.
Interés para la explotación minera	Informa acerca de la vulnerabilidad del lugar por el interés que pueden tener para la actividad minera los materiales aflorantes.
Régimen de protección	Informa de la posible protección del lugar en función de su ubicación dentro o fuera de un área protegida.
Protección física o indirecta	Informa de las dificultades físicas de acceso al lugar.
Accesibilidad	Ligado a la necesidad de protección por la mayor facilidad para los actos de vandalismo que otorga una mayor accesibilidad.
Régimen de propiedad del suelo	Informa sobre el régimen de propiedad del lugar (privado, público de acceso libre y público de acceso restringido).
Densidad de población	Ligado a la necesidad de protección por aumentar, con la densidad de población, la probabilidad de actos vandálicos.
Cercanía a zonas recreativas	Indica la presencia de zonas de recreo o turísticas cerca del lugar. Ligado a la necesidad de protección (mayor posibilidad de actos de vandalismo).

Nota. Tomado de García-Cortés y Carcavilla (2013).

3.2.2 Clasificaciones utilizadas durante la descripción de los LIG

3.2.2.1 Sistemas de clasificación de rocas. Los esquemas utilizados para la clasificación de rocas en campo, a partir de su composición, son: para rocas sedimentarias detríticas se usa la clasificación de Pettijohn et al (1972) mientras para rocas sedimentarias carbonáticas se usa la clasificación de Dunham (1962). Además, para las rocas ígneas (plutónicas y volcánicas) se usa la clasificación de Streckeisen (1974).

3.2.2.2 Sistema de clasificación de cascadas. Siguiendo la propuesta de Goudie (2020), las cascadas pueden ser clasificadas según su forma, genética, distribución (clima y tipo de roca), entorno geomorfológico, entre otros. En este caso, se adopta únicamente la clasificación según su forma, traducida y descrita en la Tabla 6 y ejemplificada en la Figura 4.

Tabla 6

Clasificación de cascadas según su forma

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
Cascada de Bloque	Cascada que desciende por un arroyo ancho.	Cave Falls
Salto de agua (o <i>cascade</i>)	Cascada que desciende sobre una serie de escalones de roca.	Minaret Falls
Catarata	Cascada potente y, eventualmente, peligrosa.	Cataratas de Iguazú
Cascada en tobogán (o chute)	Cascada en la que el paso del arroyo es muy estrecho, lo que obliga al agua a pasar a altas presiones.	Murchison Falls
Cascada en abanico	Cascada en la que el agua se extiende horizontalmente a medida que desciende.	Union Falls
Cascada <i>Horsetail</i>	Cascada en la que, el curso de agua, mantiene el contacto con la roca infrayacente.	Nevada Falls
Cascada <i>Multi-Step</i>	Serie de cascadas interconectadas, cada una con su piscina de inmersión	Mitchell Falls
Cascadas <i>Plunge</i>	Cascada en la que el curso de agua pierde el contacto con su roca infrayacente.	Rainbow Falls
Cascada <i>Punchbowl</i>	Cascada con amplias piscinas de inmersión hacia su base.	Eagle Creek Falls
Cascada Segmentada	Cascadas donde el flujo principal se separa en corrientes distintas.	Burgess Falls

Nota. Tomado de Goudie (2020).

Figura 4

Ejemplos de clasificación de cascadas según su forma



Nota. Ejemplos citados sobre la clasificación de cascadas siendo: A) Cave falls, B) Minaret falls, C) Burgess Falls, D) Union Falls, E) Nevada falls, F) Rainbow Falls, G) Mitchell Falls, H) Eagle Creek Falls, I) Murchison Falls, J) Cataratas de Iguazú. Modificado de Cheng (2015).

3.2.2.3 Identificación y clasificación de geformas kársticas. En la identificación de la morfología kárstica, se incluyen tanto geformas en superficie (exokarst) como su desarrollo subterráneo (endokarst) influenciado por diversos factores geológicos, climatológicos y otros como tiempo de exposición a la roca y cobertura vegetal (Galvis y Velandia, 2019) Dicha

morfología, se produce por la capacidad disolvente del agua subterránea (Tarbuck et al., 2005) en interacción con el agua lluvia y la roca caliza en cuestión. Además, se generan formas que varían tanto en tamaño como en su geometría (Figura 5) destacando las siguientes:

Dolinas. Corresponde a una depresión cerrada, típicamente subcircular vista en planta, de decenas a centenares de metros de diámetros (Thomas, 2016) formada tanto de manera gradual por la disolución de la roca gracias a la acción del agua lluvia cargada de dióxido de carbono como de manera abrupta por el desplome de la capa superficial por su propio peso (Tarbuck et al., 2005). Además, Gutierrez y Calaforra (2008) proponen una clasificación genética de dolinas a partir del proceso de formación involucrado, destacando dolinas de hundimiento asociadas al asentamiento gradual de la cubierta sobre la roca calcárea meteorizada, dolinas de asfixia relacionadas con la generación de conductos de disolución en la roca calcárea donde migra parte del material de la cubierta y dolinas de colapso donde se generan canales continuos (ascendentes) a través de la roca calcárea y la cubierta hasta llegar a la superficie (Figura 5).

Polje. Definido como una gran depresión de fondo plano y con alargamiento paralelo a las estructuras locales (Figura 5), además de la presencia de bordes abruptos y un fondo relleno de material aluvial y arcillas residuales de la disolución (Peña-Monné et al., 2008).

Sumidero. Corresponde a una depresión aproximadamente circular en el paisaje en el que el agua se drena y se acumula (Figura 5), siendo formada en terreno de rocas calcáreas y, a menudo, conectada con un sistema de cuevas subterráneas a través de la cual se drena el agua (Thomas, 2016).

Lapiaz. Morfología kárstica de pequeñas dimensiones, resultado de la acción directa del agua, con formas circulares-planares (cubetas de disolución, pits, heelprints), formas lineales

controladas por fracturas (grikes, splitkarren), formales lineales controladas por la hidrodinámica (rillenkarren, runnels) y formas poligénicas (las más abundantes) (Andreu et al., 2016).

Hums. Cerros residuales (generalmente cónicos) de paisaje kárstico, que se mantienen por acción diferencial de la disolución (Cvijic, 1918)

Simas. Corresponde a aperturas estrechas, generalmente verticales, formadas en ambientes kársticos, que comunican la superficie con galerías subterráneas, tal como se observa en la Figura 5 (Monroe, 1970).

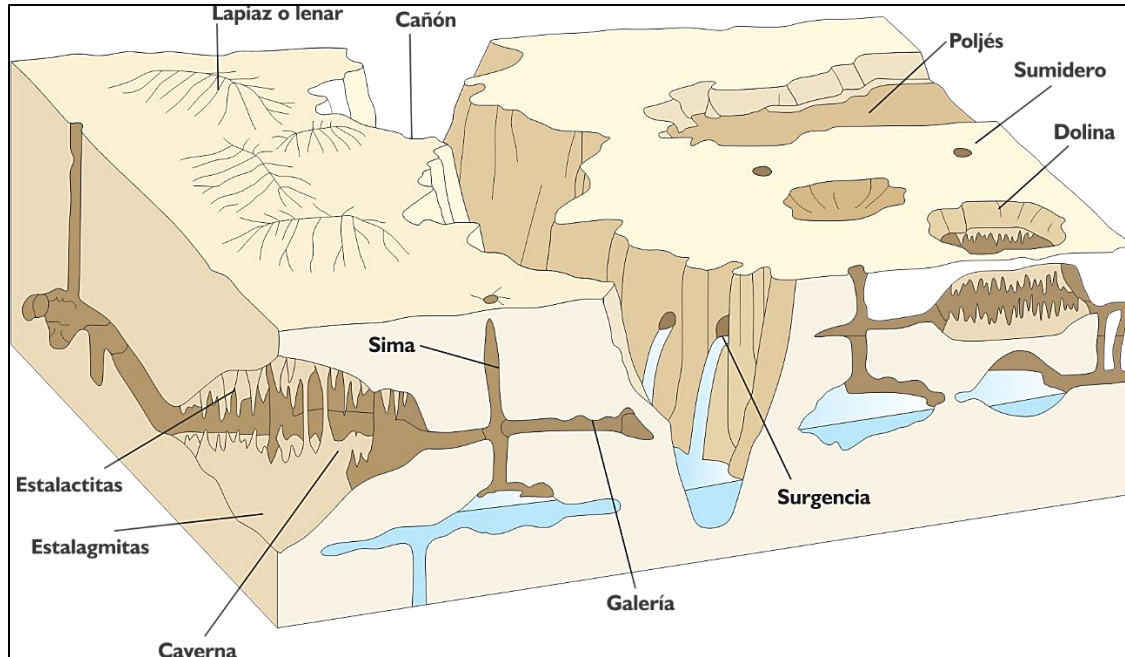
Surgencia. Utilizado como sinónimo de manantial, son los puntos de salida de agua que se encuentra dentro de un acuífero kárstico (Figura 5) (Andreu et al., 2016).

Galerías. Conductos horizontales formados en ambientes kársticos que conforman la caverna, como se puede observar en la Figura 5 (Monroe, 1970).

Espeleotemas. Rocas de precipitación formadas en cuevas y cavernas (Tarbuck et al., 2005). Entre ellos se encuentran las estalactitas que son formas colgantes que cuelgan del techo de las cuevas y se han formado gracias al agua que se filtra a través de las grietas y entra en contacto con el aire de la cueva, precipitando en calcita. De esta manera también se forman las estalagmitas que son formados de manera ascendente desde el suelo de la caverna a partir del agua que gotea desde el techo (Tarbuck et al., 2005). En algunos casos, cuando se unen estos dos precipitados forman columnas y, al interior de la cueva, se pueden formar espeleotemas secundarios como coladas, banderas o cortinas, gours, helictitas, moonmilk, entre otros (CMARPAT, 2015).

Figura 5

Esquema de un ambiente kárstico superficial (exokarst) y subterráneo (endokarst)



Nota. Editado de Andreu et al (2016).

4 Geología del área de estudio

La distribución de las unidades litoestratigráficas en el área de estudio se expone en la Figura 6, mientras el Apéndice 9 muestra la columna estratigráfica generalizada de dicha zona.

4.1 Descripción del marco geológico regional

El área de estudio se encuentra conformada por Rocas Ígneas y Metamórficas que hacen parte del denominado Macizo de Santander (en el sentido de Etayo-Serna, 1984) y que van, en edades, desde el Precámbrico hasta el Triásico-Jurásico. Estas rocas se encuentran, en contactos discordantes, con las rocas sedimentarias clásticas y calcáreas que hacen parte de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena que se depositaron durante el Mesozoico.

De manera general, hacia el oeste de la zona de interés se encuentran aflorando las rocas sedimentarias calcáreas y terrígenas formadas durante el jurásico-cretácico que hacen parte de la

base de la cuenca mencionada anteriormente, mientras en la zona central-oriental se encuentran aflorando las rocas ígneo-metamórficas que varían, en edades, desde el Neoproterozoico hasta el Jurásico.

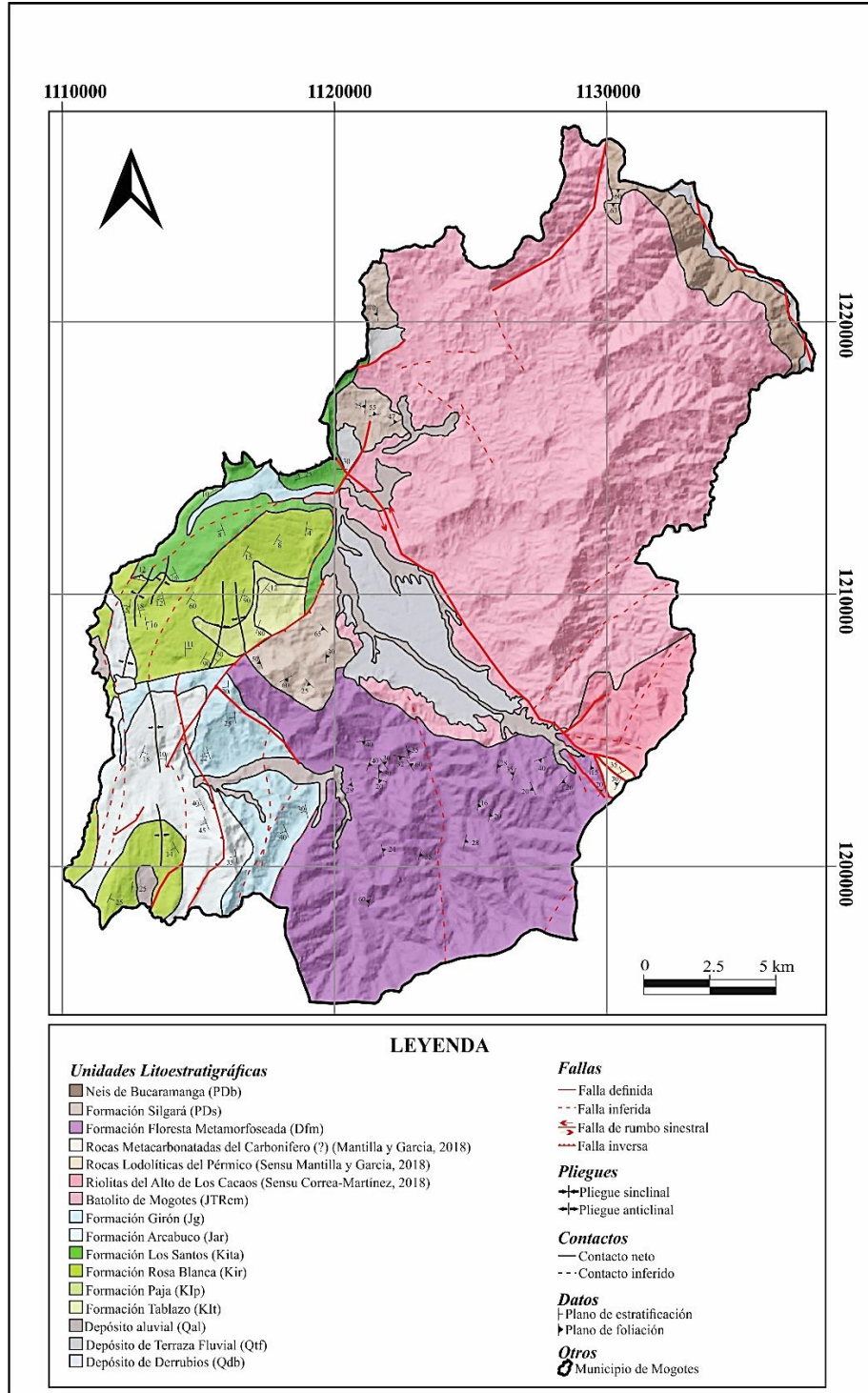
4.2 Evolución geológica de la zona

La historia evolutiva de las Unidades Litoestratigráficas, inicia desde la formación del basamento cristalino con la unidad Neis de Bucaramanga que sufrió los eventos de metamorfismo regional de grado medio-alto asociados a la Orogenia Grenvilliana (Mantilla et al., 2013). Posteriormente, durante el Paleozoico Inferior, se presenta la depositación de sedimentos calcáreos y terrígenos que serían afectados por otro evento orogénico conocido localmente como Orogenia Fammatiniana (Mantilla-Figueroa et al., 2016) y, globalmente, como Orogenia Quetame-Caparonensis, que darían origen a la Formación Silgará (S.L) (Mantilla-Figueroa et al., 2016).

Las primeras apariciones de rocas sedimentarias en esta franja corresponden a la Formación Floresta, de edad Devónico (Vargas et al., 1981), sin embargo, localmente, estas han sufrido un leve metamorfismo que podría ser asociado a eventos dinamo-térmicos (Mantilla-Figueroa & García-Ramírez, 2018). Además, durante el Carbonífero y Pérmico se mantienen en el registro, paquetes de rocas sedimentarias afectadas, posiblemente, por eventos hidrotermales (Mantilla-Figueroa & García-Ramírez, 2018). Para el Triásico-Jurásico, se presenta una gran actividad magmática en la zona que da origen a los cuerpos plutónicos e hipoabisales presentes en la zona representados en su mayoría por el Batolito de Mogotes (Ward et al., 1973), esto debido a los eventos tectónicos extensionales característicos hacia el Norte de Colombia (rifting) junto a los procesos de subducción que se dieron hacia el SW del país (Cediél et al., 1997).

Figura 6

Mapa geológico del área de estudio



Nota: Modificado de Pulido (1985); Vargas et al (1984); Mantilla y García (2018) y Correa-Martínez (2018).

Para el Jurásico medio-tardío y el Cretácico, se forman las primeras unidades sedimentarias de la cuenca del Valle Medio del Magdalena caracterizadas, de manera general, por un aumento progresivo del nivel del mar que es evidenciado por el paso de litologías clásticas como lo son la Formación Girón y la Formación Los Santos a rocas calcáreas fosilíferas como la Formación Rosablanca y la Formación Paja, entre otras.

4.3 Estratigrafía

4.3.1. Rocas Metamórficas

4.3.1.1 Neis de Bucaramanga (MP3NP1-Mag2). Esta litología aflora en una pequeña franja hacia el del área de estudio, por lo tanto, su extensión limitada hace imposible su cartografía a la escala de trabajo propuesta. Sin embargo, se detalla en la zona como Neis cuarzo feldespático. Entre lo propuesto por Ward et al (1973) se describen variaciones litológicas entre Paraneis pelítico y semipelítico, junto con apariciones menores de Neis calcáreo, mármol, anfibolitas, algunas con migmatización. Además, dicho autor también propone que la facie de metamorfismo de estas rocas corresponde a anfibolita alta.

4.3.1.2 Formación Silgará (OS1-Mbg1). Las rocas correspondientes a la Formación Silgará, en el sentido de Ward et al (1973), están compuestas por capas de pizarras, filitas, metalimolitas, metaareniscas impuras, y metawakas junto a secuencias menores de pizarra y filita calcárea. Además, según Mantilla-Figueroa et al (2016), pueden agruparse como una sucesión de rocas metasiliciclásticas y metabásicas, con grado de metamorfismo que varía de esquistos verdes a anfibolita (García et al., 2005; Rios et al., 2013). Sobre la franja Matanza- Cachirí y Piedecuesta-Aratoca, Mantilla-Figueroa et al (2016) proponen la escisión de la Formación Silgará (s.l) en las unidades Esquistos del Silgará (s.s), Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro, esto debido

a las variaciones en las edades datadas mediante U-Pb en circones detríticos para las unidades mencionadas anteriormente.

4.3.1.3 Formación Floresta metamorfoseada (D2D3-Mmbg). La Formación Floresta comprende un conjunto de rocas arcillosas fosilíferas con/sin metamorfismo (Vargas et al., 1981). El término fue introducido por Caster (1939) referenciando una serie de lutitas amarillentas blandas intercaladas con capas consolidadas. Sin embargo, sobre la zona de estudio se destacan las franjas descritas por Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018) que fueron divididas en tres miembros: el miembro inferior compuesto por rocas de grano fino a ligeramente conglomeráticas, con composiciones siliciclásticas que han sufrido un leve metamorfismo (asociado posiblemente a eventos dinamo-térmicos) evidenciado en su aspecto filítico. El miembro medio se compone de areniscas y lodolitas sin metamorfismo aparente donde las capas sedimentarias suelen tener espesores menores a 10 cm y se presentan de manera intercalada. Además, el miembro superior comprende rocas lodolíticas grises-negras de poca abundancia en el área de estudio.

4.3.2 Rocas Sedimentarias

4.3.2.1 Rocas sedimentarias calcáreas del carbonífero (C1?-Sctm). Estas rocas no han sido ampliamente descritas en el área de estudio, sin embargo, Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018) las reconoce como parte del registro sedimentario y las describe como una secuencia de areniscas de grano medio cuarzosas hacia la base con presencia de calizas grises, margas y lodolitas calcáreas. Además, en esta franja también se observan procesos de recristalización de caliza con aparición de sulfuros como Pirita y calcopirita. Lo anterior, junto a la ocurrencia de venas hidrotermales de cuarzo permite inferir que estas rocas han sido afectadas por procesos de metamorfismo hidrotermal (Mantilla-Figueroa y García-Ramírez, 2018).

4.3.2.2 Rocas sedimentarias lodolíticas del pérmico (CP-Sctm). Para la zona de estudio, Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018) describieron un paquete de rocas sedimentarias predominantemente lodolíticas que no presentan evidencias texturales que indiquen procesos metamórficos. De manera general, este autor propone que las rocas allí aflorantes pueden correlacionarse temporalmente con la unidad Paleozoico del Rio Nevado. Además, en la zona, estas rocas están siendo cortadas por cuerpos hipoabisales predominantemente riolíticos de edad Triásico-Jurásico.

4.3.2.3 Formación Girón (J3-Sc). Esta unidad litoestratigráfica ha sido objeto de estudio por diversos autores debido a que corresponde a la base de la cobertura sedimentaria conformada por las rocas de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. El término fue utilizado por Hettner (1982). Las facies que constituyen esta formación corresponden a capas potentes de areniscas conglomeráticas, areniscas y conglomerados de color violáceo-rojo con pequeñas intercalaciones de limolitas rojizas (Vargas et al., 1981). El espesor determinado para esta unidad es variable, Navas (1963) propone un espesor de 2690 metros. Además, debe distinguirse esta unidad litoestratigráfica de la propuesta hecha por Cediel (1968) que propone el rango de Grupo Girón para agrupar varios grupos de roca entre los que se incluye la Formación Los Santos, debido a que para dicho autor representa la formación de una molasa post orogénica. La edad de depositación máxima de esta unidad ha sido determinada como Jurásico tardío (Horton et al., 2010).

4.3.2.4 Formación Los Santos (b1-Sctm). La Formación Los Santos corresponde a una secuencia siliciclástica conformada por secuencias de areniscas de grano fino-medio ligeramente feldespáticas con lodolitas arenosas, arenitas lodosas y limolitas con variaciones en las estructuras sedimentarias que incluyen estratificación planar o en artesa, presencia de intraclastos, marcas de bioturbación y evidencia fósil hacia el tope (Clavijo y Laverde, 1985).

El termino Formación Los Santos fue propuesto inicialmente por Cediell (1968), sin embargo, Ward et al (1973) utiliza el término Formación Tambor para la descripción de la misma unidad litoestratigráfica aflorante en el sector de la Mesa de Los Santos. El espesor determinado por Julivert et al (1964) para esta unidad varía entre 120 hasta más de 200 metros.

4.3.2.5 Formación Rosa blanca (b2b6-Sm). Dicha unidad litoestratigráfica ha sido descrita de manera muy completa para la sección tipo en el Cañón del Rio Sogamoso, en el sector de la Mesa de Los Santos. Zamarreño de Julivert (1963) destaca una secuencia de calizas masivas intercaladas con niveles menores de margas y shale que hacia el tope se convierten en niveles arenosos. Además, también describe facies evaporíticas hacia la base de la unidad que se relacionan con su variabilidad en el ambiente de formación. Sin embargo, fue Wheeler (1929) quien realizó una de las primeras descripciones la unidad, resaltándola como una roca calcárea masiva, de color gris-azuloso, altamente fosilífera, intercalada con leves capas margosas de textura fina, negra y arcillosa, definiendo un espesor total de 425 m. Para la zona de estudio, Vargas et al (1981) describen la ocurrencia de capas de caliza, arcillas negras laminadas y bancos arenáceos que, según la propuesta de Jaramillo (1971), pueden distinguirse tres miembros principales: un miembro basal arcilloso con capas de caliza arenosa fosilífera, un miembro medio de calizas masivas grises con mínimas intercalaciones de arcillas negras y un miembro superior arcilloso alternado con calizas negras bituminosas. Además, la propuesta de neoestratotipo dada por Etayo-Serna y Guzman-Ospitia (2019) propone la subdivisión de la unidad en cinco miembros distinguibles para la sección de la Laguna El Sapo, Zapatoca, Santander.

La edad de depositación de esta unidad, siguiendo lo propuesto por Pulido (1979) es Barremiano-Hauteriviano. mientras para Etayo-Serna y Guzman-Ospitia (2019) el miembro Lagunetas se deposita durante el Berriasiano, el miembro Carrizal durante el Valanginiano Inferior y parte del Superior y los miembros Zo, El Sapo y Zapatoca se depositan durante el Hauteriviano.

4.3.2.6 Formación Paja (b2b6-Sm). La descripción de esta unidad litoestratigráfica fue realizada por Wheeler (1929), descrita como una secuencia de shales negros micáceos, limosos y con bajo contenido calcareo. Además, la franja inferior presenta algunas estructuras sedimentarias como concreciones calcáreas, nódulos septarios y venas de calcita (Ward et al., 1973). Además, también se ha detallado la ocurrencia de la intercalación de shales con areniscas grises amarillentas de grano fino o de calizas fosilíferas grises, localmente arenosas (Morales et al., 1958). Sobre la franja de estudio no se han hecho caracterizaciones estratigráficas/sedimentológicas de dicha unidad, sin embargo, para la zona del sur de San Gil, Pulido (1979) describe dos miembros: el inferior está conformado por una alternancia de areniscas y shales grises oscuros, mientras el superior se compone de una alternancia de shales negros-grisáceos con calizas con presencia de nódulos calcáreos, algunos con pirita. La edad de formación de esta unidad ha sido detallada a partir de interpretaciones bioestratigráficas, realizadas principalmente por Etayo-Serna (1968), Patarroyo (2000) para el área de Villa de Leyva, en el cual detalla específicamente la fauna de amonitas notando especies que destacan zonas correspondientes tanto al Barremiano temprano como al Barremiano tardío.

Sin embargo, Morales et al (1958) proponen al Aptiano inferior basado en los géneros *Ancyloceras* y *Cheloniceras*.

4.3.2.7 Formación Tablazo (b2b6-Sm). Las rocas de esta unidad litoestratigráfica fueron descritas por Morales et al (1958) como unas capas macizas de caliza extremadamente fosilífera, opacas y de color gris azulado hacia la parte inferior y capas de margas altamente calcáreas hacia la parte superior de la unidad. Sin embargo, Montoya (2019) propone la segmentación de la unidad tipo en siete franjas entre las que se destacan litologías como mudstone (con variabilidad en su matriz, desde arcilloso, rico en materia orgánica, macizo), limolitas y areniscas cuarzosas, packstone y wackestone con restos fósiles de espongiarios, foraminíferos bentónicos, equinodermos, bivalvos, briozoarios, entre otros. Estas litologías antes descritas presentan, en ciertos casos, evidencias de bioturbación, nodularización y recristalización. El espesor total medido para esta unidad, dado por Montoya (2019) es de 270 metros, destacando un contacto transicional con la unidad infrayacente (Fm. La Paja) y neto con la unidad suprayacente (Fm. Simití), mientras el ambiente de depositación asociado varía, sobre la rampa de carbonatos, entre la rampa interna hasta el dominio supramareal y la edad de depositación se ubica en el Albiano temprano alto (Montoya, 2019).

4.3.3 Rocas ígneas

4.3.3.1 Monzogranito de Mogotes (J-Pi). Se reconoce como el Batolito de Mogotes (Goldsmith et al., 1971; Vargas et al., 1981; Ward et al., 1973) a una serie de rocas que se diferencian entre dos tipos: La litología principal corresponde a cuarzomonzonitas biotíticas de grano medio con algunas fases de grano fino o grueso que presentan una coloración rosa-anaranjada, texturalmente es hipidomórfica e inequigranular mientras composicionalmente la roca contiene proporciones casi iguales de oligoclasa, feldespato potásico y cuarzo con contenido menor a 3% de biotita. La otra litología se presenta como una serie de granodioritas de color grisáceo-rosa con pocos cristales de ortoclasa mientras una mayor proporción de cuarzo,

plagioclasa y biotita. Esta roca presenta, localmente, textura porfirítica con ocurrencia de diques aplíticos y lamprofíricos (Vargas et al., 1981). Además, Estas rocas ocupan el 73% de la geología de superficie de San Joaquín mientras el 65% del Municipio de Mogotes (Hernandez, 2011). Estructuralmente, este cuerpo plutónico se encuentra limitado hacia el oriente por la Falla de Bucaramanga-Santa Marta. Además, estas rocas se encuentran intruyendo generalmente a la Formación Silgará, la Formación Floresta, Neis de Bucaramanga u Ortoneis (Vargas et al., 1981).

4.3.3.2 Riolitas de San Joaquín. Estas rocas, que se presentan en su mayoría hacia el Norte de la cabecera municipal de San Joaquín, corresponden a rocas subvolcánicas masivas de color anaranjado-rosa compuesta por fenocristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo bipiramidal y biotita presentados en una textura porfídica y matriz microcristalina, resaltando dos litologías principales que varían entre Riolitas y Dacitas (Rodriguez et al., 2018). La cartografía oficial a escala 1:100.000 no contempla la distinción de esta unidad de la Unidad Monzogranito de Mogotes, razón por la cual, son agrupadas bajo una misma formación geológica. La datación realizada por Rodriguez et al (2018) mediante el método U-Th en circones, arroja edades entre 191-209 Ma para la cristalización de esta roca.

4.3.3.3 Riolitas del Alto de Los Cacaos. Esta unidad litoestratigráfica ha sido reconocida y descrita por Correa-Martínez et al (2018) como una unidad aflorante entre los municipios de Mogotes y San Joaquín, que consiste en riolitas y traquitas de feldespato alcalino, de textura porfídica con intrusiones de diques andesíticos o dacíticos. La datación absoluta resaltada por Correa-Martínez et al (2018) informa que las rocas se originaron durante el triásico tardío (205.2 Ma) y, por tal motivo, es separada cartográficamente del Granito de Pescadero (como estaba propuesta en el sentido de Ward et al (1977) y del Batolito de Mogotes.

4.4 Geología Estructural

La franja de estudio se encuentra inmersa bajo un sistema estructural condicionado por la prolongación de la Falla de Bucaramanga y la Falla de Lebrija que se unen, al SE del municipio de Mogotes, a las Fallas de Soapaga y Boyacá, respectivamente (Velandia et al., 2017). En este dominio, se mantiene un régimen transpresivo característico del Macizo de Santander, con dominios limitados por fallas longitudinales de cinemática sinistral (Velandia et al., 2017).

4.4.1 Falla de Lebrija

Corresponde a una estructura con continuidad regional, paralela a la falla de Bucaramanga (Velandia, 2017) que pone en contacto rocas del paleozoico y jurásico al este (en el bloque colgante) con unidades cretácico-paleogenas al oeste (en el bloque yacente) (Ward et al, 1977). Esta estructura presenta una vergencia de rumbo sinistral con rasgos transcurrentes como pliegues oblicuos, limitando la estructura en flor positiva de Bucaramanga en el bloque occidental (Velandia, 2017).

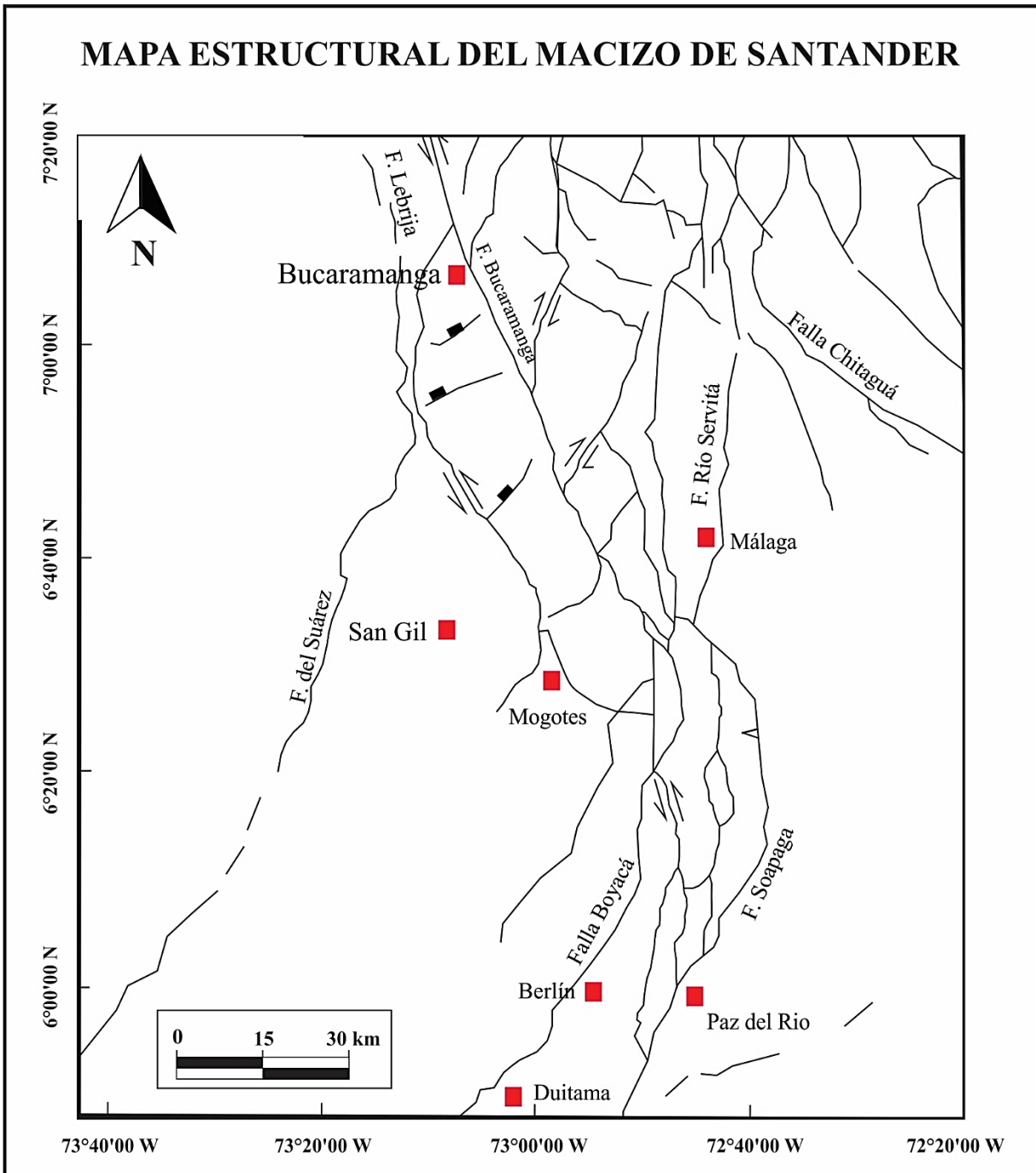
4.4.2 Falla de Bucaramanga

Aunque su trazo no se ubica directamente sobre la franja de estudio, corresponde a un accidente tectónico de extensión regional con dirección predominante NW-SE (Vargas et al., 1981) que ha sido reconocida como falla de rumbo (Campbell, 1965; Raasveldt, 1956; Rod, 1954) mientras otros autores (Julivert, 1958; Ward et al., 1977) han propuesto que la falla es inversa con un ángulo muy grande que hunde el labio oeste. Siguiendo la propuesta de (Velandia, 2017), la cinemática de la Falla de Bucaramanga debe ser analizada por sectores, reconociendo que en sector sur (a la altura de su unión con la falla de Soapaga) está determinada como una estructura transpresiva conformada por un sistema de subfallas paralelas sinestrales que configuran un estilo

en dominó, sin embargo, en franjas de su trazo su componente de rumbo sinistral está bien definida (Ingeominas, 1997; Jiménez et al., 2014).

Figura 7

Modelo estructural del Macizo de Santander



Nota. Editado de Velandia et al (2017).

4.4.3 *Falla de Boyacá*

Esta estructura geológica se ubica en las inmediaciones surorientales del municipio de Mogotes, iniciando con una vergencia en dirección NW-SE similar a la falla de Bucaramanga pero con un cambio de su tendencia regional a NE-SW (Velandia, 2005). Esta falla presenta rasgos de transurrencia dextral con predominancia de deformación en cabalgamientos y potencial actividad neotectónica (Velandia, 2005). Además, la estructura cabalga rocas jurásicas sobre rocas sedimentarias cretácicas y paleógenas (Vargas et al, 1987) y, se considera, que esta estructura favoreció el hundimiento de la zona durante la depositación cretácica (Vargas et al., 1981)

4.4.4 *Falla de Soópaga*

Corresponde a una falla de cabalgamiento con dirección NE-SW que, en gran parte de su tramo, actúa como Falla de rumbo sinistral con componente transpresiva pero que, a la altura de Sogamoso, cambia su vergencia a falla de rumbo dextral con predominancia de deformación por cabalgamientos (Velandia, 2005). Además, según lo reportado por Velandia (2017) al sur del Macizo de Santander esta falla presenta rasgos de fuerte compresión con pliegues tumbados en el bloque colgante (Ulloa et al., 1998) y con un salto apreciable que pone en contacto rocas cretácicas y paleógenas (Toro, 1990).

4.4.5 *Falla de Ocamonte*

Falla menor, demarcada en la franja de estudio, con dirección predominante NE-SW y con movimiento de tipo inverso donde pone en contacto rocas metamórficas pre-devónicas con sedimentos cretácicos. Esta estructura tiene una longitud aproximada de 30 km y se trunca al sur por la Falla del Riachuelo (Alcaldía de Mogotes, 2002).

4.4.6 *Falla del Riachuelo*

Estructura ubicada en la franja suroccidental de Santander, con una extensión de más de 55 km que pasa por el extremo occidental de Mogotes, corresponde a un fallamiento inverso que enfrenta rocas de edad Paleozoica, jurásica y cretácica, afectando principalmente las rocas de estos dos últimos periodos (Alcaldía de Mogotes, 2002).

4.5 Geomorfología

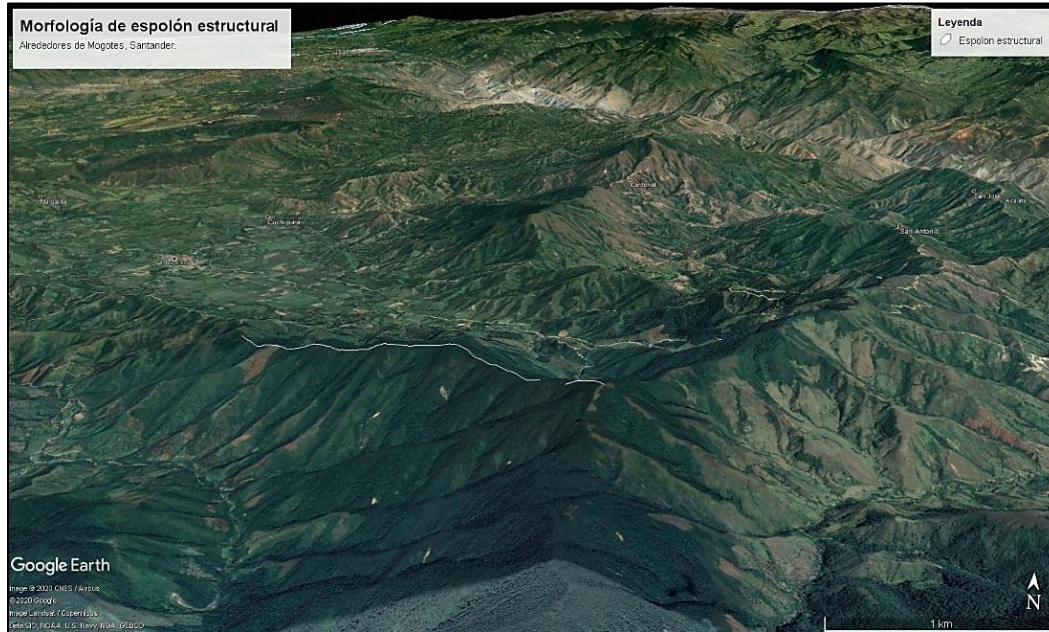
El modelado de la franja de estudio ha sido afectado por diversos procesos naturales que incluyen: procesos estructurales, denudacionales-climáticos (o incluso la combinación de ambos procesos), de disección asociado a franjas de control hidrológico, aluviales, entre otros. El resultado de los mismos, ha sido descrito por el Servicio Geológico Colombiano (2014) y el EOT municipal (Alcaldía de Mogotes, 2002; Consorcio EOT Mogotes, 2018) de la siguiente manera:

4.5.1 *Procesos estructurales*

Correspondiendo a las formas de origen tectónico, con bajo grado de alteración y formando pendientes escarpadas o abruptas (Alcaldía de Mogotes, 2002). En el área de estudio, se presenta una cobertura del 14.15% de espolones estructurales (Spe) asociados en su mayoría a rocas duras (Figura 8) que, en la franja NE del municipio, presenta otros eventos morfodinámicos como erosión difusa, surcos laminares, hondonadas, cárcavas, laderas onduladas, entre otros (Alcaldía de Mogotes, 2002). Además, se reconocen otras subunidades de menor distribución espacial como laderas de contrapendiente de cuesta, ladera estructural de cuesta (hacia la franja sur del municipio), escarpes de meseta (hacia la franja occidental, donde afloran las rocas de la Formación Los Santos), entre otros.

Figura 8

Fotografía de espolón estructural (Spe)



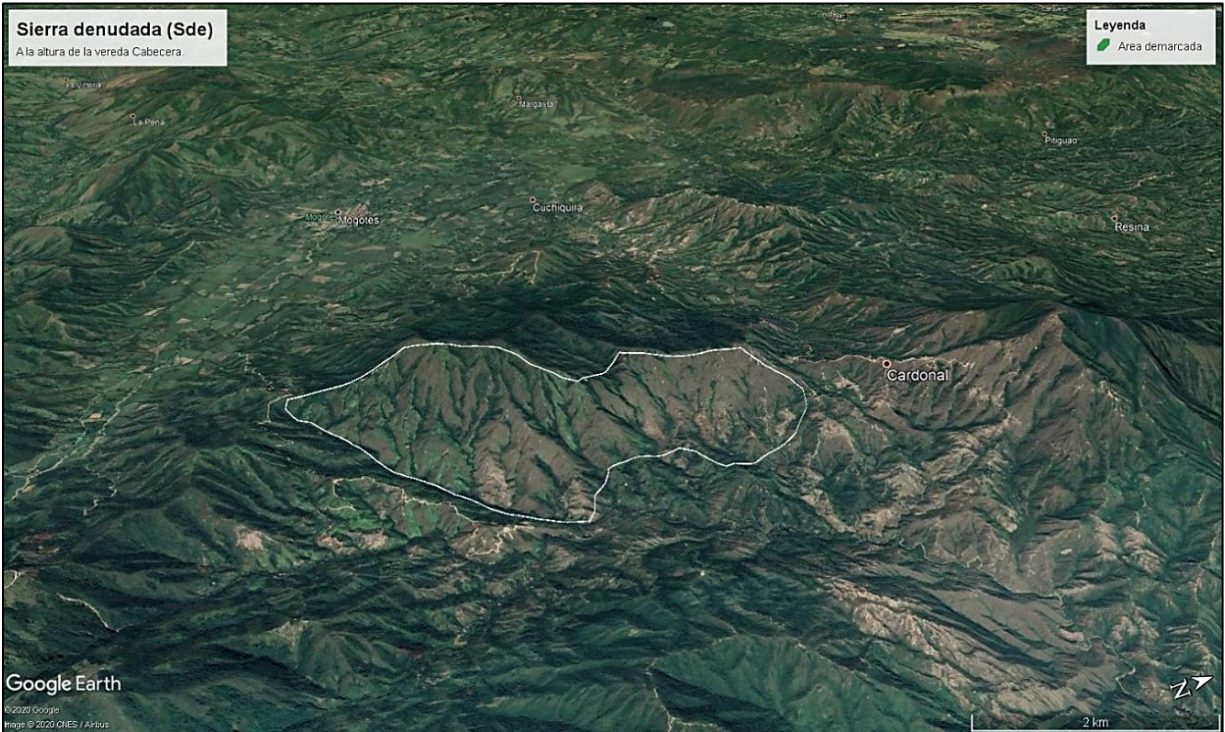
Nota. Extraída de Google Earth.

4.5.2 Procesos denudacionales-climáticos

Correspondiente a los procesos climáticos que han actuado directamente sobre la roca durante largos periodos de tiempo (Alcaldía de Mogotes, 2002). Se encuentra, como subunidad de mayor distribución espacial, la formación de Sierras Denudadas (Sde) (Figura 9) que, según lo dicho por el Servicio Geológico Colombiano (2014) se asocian a procesos de erosión pluvial acentuada sobre el sustrato rocoso ígneo que se extiende ampliamente sobre la franja de estudio. Además, se resaltan otras unidades como ondulaciones y montículos denudacionales (al norte del municipio), sierras residuales (al sureste del municipio), laderas onduladas (al occidente cercano al margen del Rio Mogoticos), entre otros (Servicio Geológico Colombiano, 2014).

Figura 9

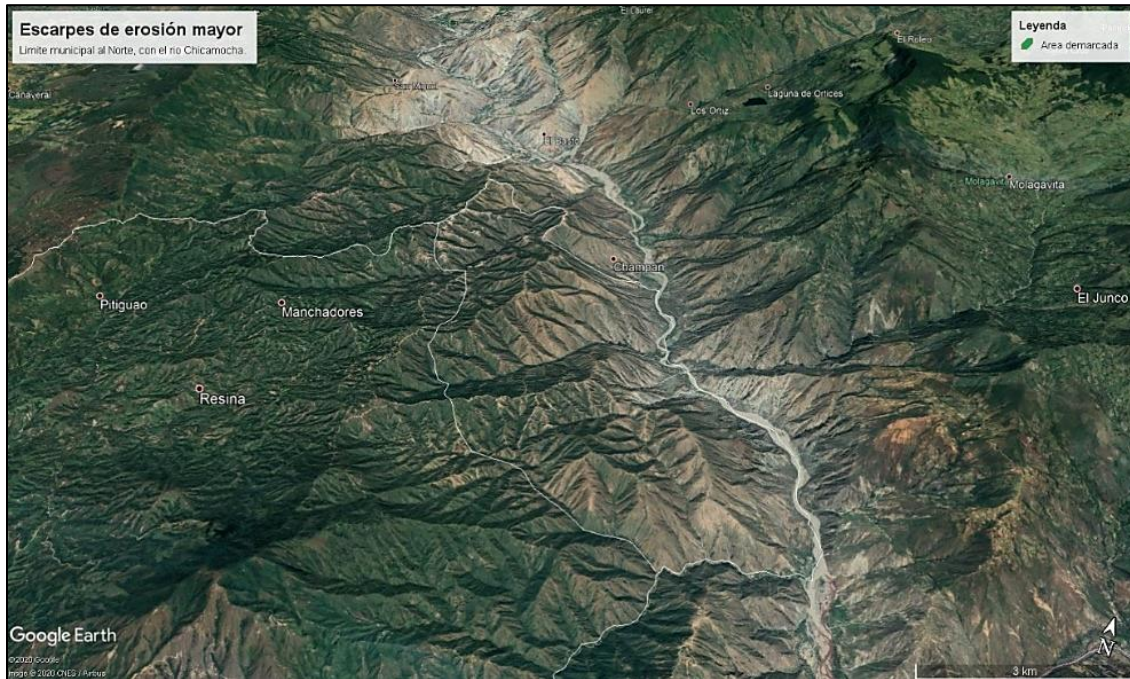
Sierra desnuda al NE del casco urbano municipal



Nota. Modificada de SGC (2014).

4.5.3 Procesos de disección

Corresponde al conjunto de eventos climáticos, tectónicos e hidrológicos que se caracterizan por la socavación y disección de los cursos de aguas en valles en “v” (Alcaldía de Mogotes, 2002), entre estas se pueden encontrar las laderas con pendientes de alta incisión (o escarpes de erosión mayor) que se ubican hacia la franja norte del municipio, en cercanías del cauce del Río Chicamocha, que ocupan un 6.07% del área de estudio (Consorcio EOT Mogotes, 2018), sin embargo, también se encuentra una serie de lomeríos disectados en la franja norte del municipio entre las veredas Pitiguaro y Las Palmas (Servicio Geológico Colombiano, 2014).

Figura 10*Escarpes de erosión mayor al norte del área de estudio*

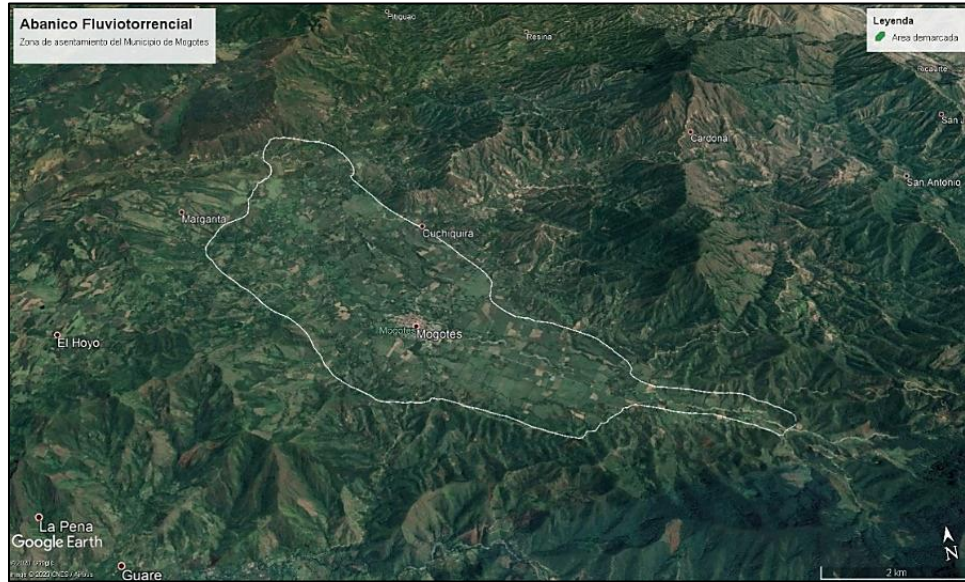
Nota. Imagen tomada de Google Earth.

4.5.4 Procesos aluviales

Aquellos procesos asociados a la acumulación de sedimentos y material rocoso arrastrado por los cursos de agua, hasta franjas con depresiones o planas (Alcaldía de Mogotes, 2002). En la franja se observa la acumulación del material bajo el casco urbano a manera de abanico fluviotorrencial (Figura 11), ocupando un 4.7% de la distribución espacial del municipio (Consortio EOT Mogotes, 2018). Entre otras subunidades determinadas, se encuentran terrazas y/o planicies de inundación en trayectos del Río Mogoticos (o en franjas abandonadas del mismo) y el propio cauce aluvial.

Figura 11

Imagen satelital del Abanico de Mogotes



Nota. Imagen tomada de Google Earth.

4.5.5 Otros procesos

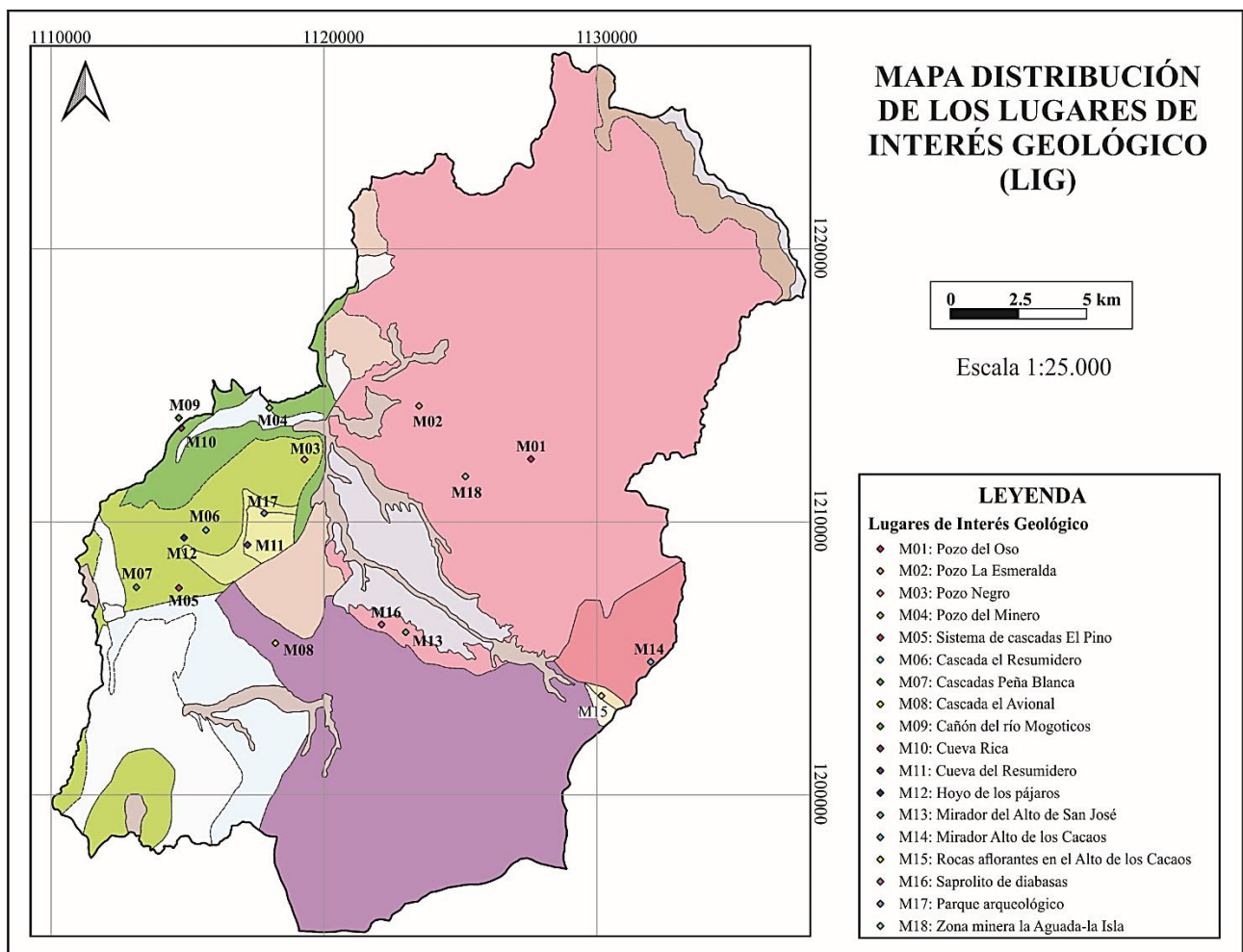
En la franja en cuestión afloran rocas sedimentarias calcáreas cretácicas (Formación Rosa Blanca y Formación Tablazo) que pueden generar una serie de estructuras morfológicas en la zona, sin embargo, éstas aún no han sido determinadas ni cartografiadas en su totalidad, reconociendo que el EOT (Consorcio EOT Mogotes, 2018) reconoce una franja de valle ciego hacia el occidente del municipio y, además, Galvis-Goméz (2018) destaca cierto potencial en esta localidad asociada a la formación exocárstica reconocida como El Hoyo de Los Pájaros.

5 Resultados

A partir de la aplicación de la propuesta metodológica de García-Cortés y Carcavilla (2013) se lograron identificar y seleccionar un total de 21 Lugares de Interés Geológico pero, debido a condiciones expresadas en el capítulo 7, sólo se pudo valorar 18 LIG, los cuales se encuentran distribuidos dentro del área de estudio tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Mapa de la distribución de los LIG en el área de estudio



Nota. Mapa del área de estudio que muestra la distribución de los Lugares de Interés Geológico (LIG) seleccionados, los cuales están representados a partir de su punto de mejor exposición o punto de referencia.

Estos LIG presentan una gran variedad de características que abarcan disciplinas geológicas como estratigrafía, geomorfología, sedimentología, geología estructural, hidrogeología, historia de la geología regional, petrología, mineralogía-metalogenia, entre otros. Es necesario tener en cuenta que el proceso de búsqueda y selección preliminar de los LIG está especificado en el apartado metodológico sección 2.1.2.1.1 mientras la descripción y valoración de los LIG se realiza según lo propuesto en la sección 2.1.2.1.2 y 2.1.2.1.3 respectivamente.

Siguiendo el proceso metodológico sugerido por García-Cortés y Carcavilla (2013), una vez seleccionados los LIG se procede al estudio, descripción y valoración de los mismos. Inicialmente, se presenta la descripción y valoración de cada LIG acompañada de un registro fotográfico donde se puede evidenciar las características más sobresalientes de cada lugar. Esta fase se realiza con base en cinco diferentes componentes con el fin de realizar una valoración y descripción completa de cada lugar:

- Componente geoespacial: Consta de la ubicación del punto de descripción del LIG en términos de su acceso y ubicación veredal, demarcando tiempo y/o distancia de recorrido desde un origen de referencia que, en este caso, es el Parque principal de Mogotes. Además, las coordenadas planas en sistema MAGNA-SIRGAS son expresadas en la tabla de la valoración correspondiente a cada LIG.

- Componente geológica: Se realiza la descripción geológica del lugar respecto a sus características litológicas (en caso de encontrar afloramientos de roca) y la disciplina geológica principal para cada LIG, teniendo en cuenta que ésta fue identificada preliminarmente en la selección del lugar.

- Componente cartográfica: Se presenta la delimitación cartográfica del lugar, respecto a la homogeneidad y continuidad de sus características, según lo expresado en el parámetro 2.1.2.2.

- Componente socio-económica. Se describen las actividades económicas de influencia en el lugar, en términos del uso del suelo y las potenciales actividades turístico-recreativas que allí se ejecutan, teniendo en cuenta que este parámetro es influyente durante la valoración del lugar.

- Valoración del LIG. Se expone el tratamiento llevado a cabo para la valoración de cada LIG con el fin de determinar su potencialidad de uso, esto en función de los tres intereses que pueden presentar (científico, didáctico y turístico-recreativo) teniendo en cuenta la ficha sugerida por la metodología adoptada. Además, se analiza y asigna una graduación a dicha valoración con el fin de identificar las condiciones o características de cada LIG que generan dichos resultados.

Finalmente, se presenta la valoración de la susceptibilidad de degradación (SD) y prioridad de protección (PP) para cada lugar de interés geológico, siguiendo la propuesta de García-Cortés y Carcavilla (2013) expuesta en el apartado metodológico sección 2.1.2.1.4. Con ello, se identifica la figura de protección necesaria en cada LIG con el fin de salvaguardar el patrimonio allí identificado.

5.1 Descripción y valoración de los LIG

A continuación se presenta la descripción detallada de cada uno de estos lugares de interés geológico.

5.1.1 M01 - Pozo del Oso

El acceso a este LIG se realiza tomando la vía que del casco urbano de Mogotes conduce a la vereda Cuchiquira, aproximadamente 9 kilómetros llegando al sector conocido como El Oratorio. En dicha zona, se desciende aproximadamente 3 minutos por un sendero estrecho que se abre camino entre la vegetación, ubicado al margen izquierdo de la vía. La duración total del recorrido en automóvil, teniendo como punto de partida el parque principal del municipio, es de 35-40 minutos aproximadamente.

Geológicamente esta zona está compuesta por rocas ígneas leucocráticas de tipo granitoide que, composicionalmente, contienen mayor porcentaje de cuarzo y plagioclasa, seguido por feldespato potásico y un bajo contenido de mica (principalmente biotita). En el lugar detallado, se presenta la acumulación de grandes bloques de roca (algunos mayores a 4 metros de altura) subredondeados y esféricos con la composición litológica antes mencionada (Figura 13), que limitan el paso del cauce de agua proveniente de la Quebrada El Oratorio y facilitan su acumulación en el pozo. La caída y transporte de dichos bloques de roca están asociados posiblemente a factores erosivos provocados por el cauce mencionado.

Geomorfológicamente, el lugar se encuentra en una zona de valle en V ubicada entre el Alto El Cardonal y Cerro Negro, donde los procesos denudacionales locales están demarcados por el paso de la Cuenca del Rio Cuchiquira y, particularmente, la Quebrada el Oratorio, un drenaje de segundo orden siguiendo la clasificación de Strahler (1957). En esta zona, se demarca una componente geomorfológica dada por la formación de una caída de agua peculiar a manera de rápidos en forma de escalones que recargan el pozo en cuestión y generan la acumulación de agua en una gran piscina de inmersión (Figura 13), lo que clasificaría dicho lugar según Goudie (2020) como una cascada *punchbowl*. Lo descrito anteriormente permite notar que esta zona se encuentra en el curso alto del drenaje mencionado y, que la presencia de dicho sustrato rocoso de alta dureza sumado al cambio de pendiente de la zona genera dicha morfología erosional.

Se deduce que la disciplina geológica principal en este lugar es geomorfológica en relación a las componentes descritas que evidencian la variabilidad de formas asociadas al relieve denudativo fluvial.

Figura 13*Registro fotográfico del LIG M01 (Pozo del Oso)*

Nota. A) Fotografía de una (1) caída de agua de poca altura y escalonada que se acumula en (2) una piscina de inmersión de grandes dimensiones especialmente hacia lo largo, la cual se encuentra bordeada por B) Bloques de roca ígnea subsféricos de dimensiones variables que alcanzan hasta los 4 metros de altura.

Respecto a la componente socioeconómica, esta franja es reconocida por la Alcaldía de Mogotes (2002) como parte de la conformación e implementación de circuitos ecoturísticos del municipio, sin embargo, esta franja no se encuentra adecuada y/o adaptada para tal fin y, por tanto,

su uso recreativo, como zona de balneario, es esporádico pero aprovechado tanto por habitantes del municipio como en actividades de turismo sin beneficio económico. Además, el uso actual del suelo refiere que esta zona es de producción-protección, enmarcado por actividades de agricultura-ganadería intensa (Alcaldía de Mogotes, 2002).

Tabla 7

Ficha de valoración del LIG M01 (Pozo del Oso).

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M01			
NOMBRE	Pozo del Oso			
COORDENADAS	1' 212.304 N	1795 m.s.n.m		
	1' 127.585 E	Error: ± 4 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2		10	10
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		110	110	200
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

Como se evidencia en la valoración (Tabla 7), en este lugar el interés principal es de tipo turístico-recreativo debido a su atractivo paisajístico, pero principalmente, a la posibilidad de uso como zona de balneario. Además, se observa un interés didáctico medio relacionado con la posibilidad de observar una variabilidad de componentes del paisaje enfocada al ámbito hidrológico y al desarrollo geomorfológico de un cauce fluvial; pero en sí, su diversidad geológica es limitada y no posee características relevantes, razón por la cual no ha sido foco de estudios científicos y, por ende, su interés científico también es medio.

5.1.2 M02 - Pozo la Esmeralda

Para llegar a este LIG se toma la vía principal Mogotes-San Gil y en el kilómetro 4.2, a la altura del monumento de la Virgen del Carmen, se toma un desvío ubicado al margen derecho de la vía con destino hacia la vereda Tubuga. Por dicho camino se continua durante 2.4 kilómetros hasta encontrar un ramal, donde se debe desviar a mano izquierda y, 600 metros adelante, se toma la variante derecha por la cual se recorre 1.1 kilómetros hasta llegar a la Finca Las Delicias. Este recorrido tiene una duración de aproximadamente 32 minutos en camioneta partiendo del parque principal del municipio. Al llegar a esta finca, se realiza una caminata por el interior del predio aprox. 10 minutos siguiendo el sendero hasta llegar a la zona de cascada.

Geológicamente, en la franja afloran rocas compactas y fracturadas (en dirección preferencial) de tipo ígneo con una textura fanerítica holocristalina equigranular que composicionalmente tienen mayor porcentaje de cuarzo, seguido de feldespato potásico y poca plagioclasa (menor o igual al 10%), junto a otros minerales como mica biotita y epidota. Esta roca fue clasificada en campo como un Sienogranito perteneciente a la unidad litoestratigráfica Batolito de Mogotes. Dichas rocas son afectadas por los procesos erosivos fluviales generados por el flujo de la quebrada Hoya Negra, un drenaje de tercer orden que vierte sus aguas en el Rio Tubuga.

El pozo tiene una caída de agua de aproximadamente 5 metros a través de pendientes altas pero no escarpadas (Figura 14), por la cual discurre un cauce de agua caudaloso que posteriormente se acumula en la piscina de inmersión, la cual tiene forma ovalada con dimensiones aproximadas a 6 metros de ancho por 12 metros de largo y profundidad variable entre 1-5 metros (Figura 15), siendo el centro de la piscina la parte más profunda.

Figura 14

Fotografía de una vista general del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)



Nota: Salto de agua de, aproximadamente, 5 metros de alto que forma el pozo La Esmeralda.

En el fondo del lecho se presenta la acumulación de material rocoso transportado por la corriente (Figura 15), el cual es predominantemente subesférico y subredondeado con variación de tamaño entre guijarros hasta cantos de 1 metro de altura con composición similar a la anteriormente descrita.

Figura 15

Fotografía panorámica del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)



Nota. (1) Piscina de inmersión formada por el cauce de la quebrada Hoya Negra, que continúa su curso hacia el SW y se encuentra rodeada por (2) afloramiento de roca ígnea clasificada como Sienogranito, la cual presenta fracturamiento subparalelo (líneas amarillas) con posible control estructural.

Además, se reconoce que la geomorfología es la disciplina geológica predominante en este lugar pues se genera la formación de una caída de agua producto de los procesos denudacionales fluviales en la zona, en este caso, sobre rocas duras y fracturadas. Otra disciplina que vale la pena recalcar es la petrología relacionada con el afloramiento de roca de la unidad Batolito de Mogotes, sin embargo, no presenta un elemento diferencial con respecto al resto de la zona.

Las características socioeconómicas del LIG no son reconocidas ni por el inventario de atractivos municipal (Jaimes y Vargas, 2011) ni por el EOT municipal (Alcaldía de Mogotes, 2002) debido, posiblemente, a que se encuentra en un predio privado lejano al casco urbano del municipio. Sin embargo, esta franja conocida como Finca Las Delicias presta una variabilidad de servicios recreativos como camping, servicio de balneario, espacios de senderismo, entre otros. Además, mantienen una tarifa de entrada de 4000 COP, dirigida al mantenimiento y conservación del lugar. En la franja, además, se llevan a cabo otras actividades económicas como la agricultura, ganadería y el trabajo artesanal con fique.

Tabla 8*Ficha de valoración del LIG M02 (Pozo la Esmeralda)*

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M02			
NOMBRE	Pozo la Esmeralda			
COORDENADAS	1' 214.249 N	1648 m.s.n.m		
	1' 123.484 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		110	120	210
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

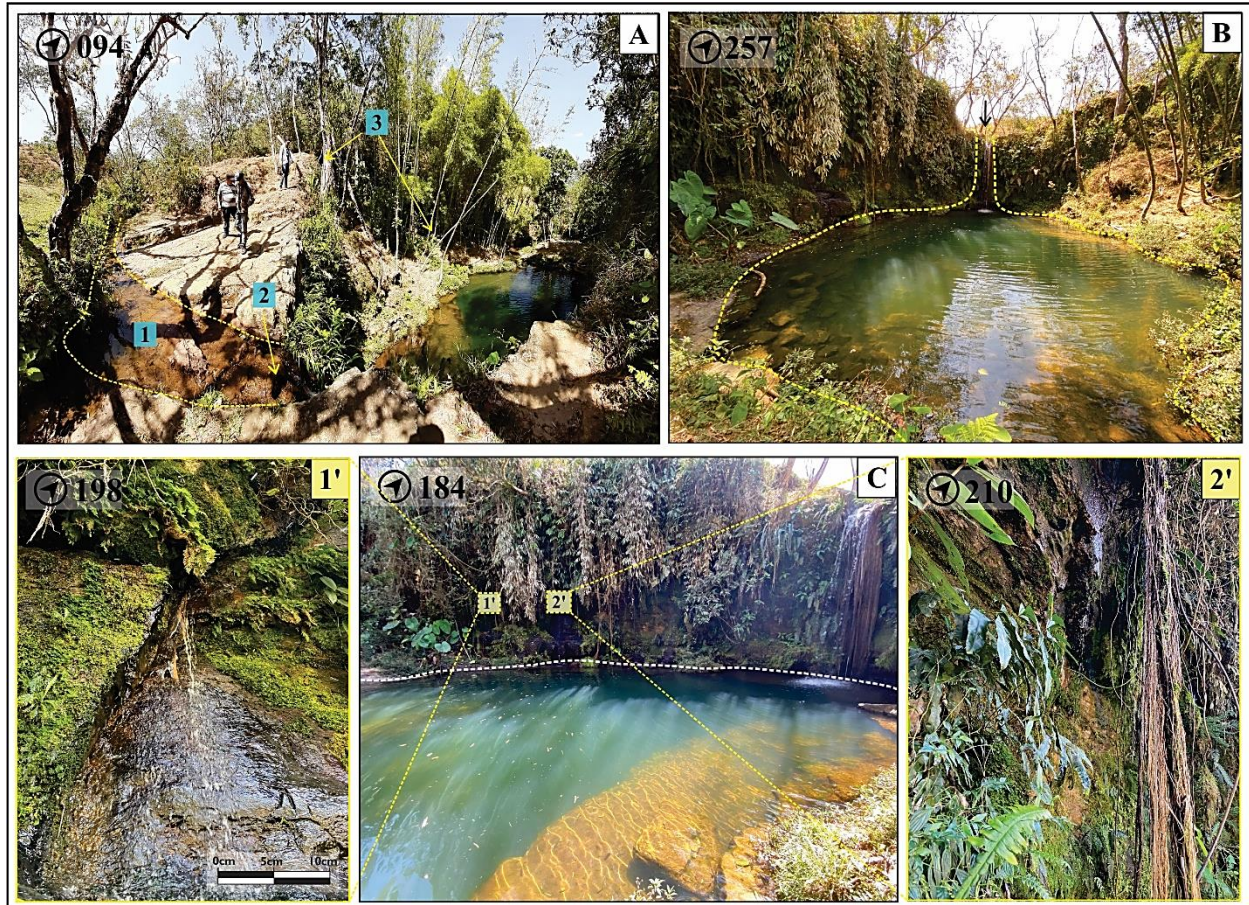
A partir de la valoración del lugar (Tabla 8) se puede deducir que el interés principal es de tipo turístico-recreativo debido a la posibilidad de efectuar actividades recreativas en la zona pues este lugar se ofrece como balneario turístico del municipio, además de otras actividades dispuestas en el predio como camping y senderismo. Seguido a ello, se observa un interés didáctico medio pues en el lugar se observan de forma clara diversos procesos geológicos (geomorfológicos,

petrológicos-mineralógicos, estructurales) y naturales (biológicos e hídricos), los cuales pueden ser útiles en actividades educativas; por otra parte, el interés científico es un poco menor debido al desconocimiento científico del lugar y a la no singularidad del mismo.

5.1.3 M03 - Pozo Negro

Para localizar este LIG se debe tomar la vía que conduce hacia el Hoyo de los Pájaros, y a la altura del Mirador Arenal se toma el desvío a margen derecha hacia la Vereda Arenal Bajo donde después de aproximadamente 15 minutos de recorrido en camioneta, se llega al final del camino a la entrada de una finca. Allí, tras pasar un puente hecho artesanalmente por los habitantes, se da inicio al senderismo que tiene una duración total de aprox. 20 minutos hasta la zona de interés. En este punto, se puede visualizar el pozo desde la parte superior, es decir, antes de la zona de salto de agua. Para llegar al punto donde se forma la piscina de inmersión se debe descender por un camino que se abre paso entre la abundante vegetación por una franja inclinada en un recorrido de corta duración (menos de 5 minutos descendiendo).

Desde la parte superior del pozo, se puede observar un canal que, en la época de la visita, tiene una amplitud de aproximadamente 20 cm de ancho (Figura 16), el cual transporta muy poco flujo de agua y discurre a través de rocas duras y pendientes muy bajas (casi planicies) hasta encontrarse con la zona de salto de agua, de aproximadamente 3.5 metros de altura, por donde discurre el agua y forma la piscina de inmersión que tiene un radio cercano a los 6 metros y una profundidad entre 5-6 metros. El agua que transporta es bastante cristalina, con muy baja carga sedimentaria y poca velocidad de flujo (debido a la baja pendiente antes de la zona de caída de agua y a las rocas por las que discurre).

Figura 16*Registro fotográfico del LIG M03 (Pozo Negro)*

Nota. A) Fotografía en vista superior del LIG, donde se observa (1) el cauce de la Quebrada Hoya Negra antes de (2) la formación del salto de agua de aproximadamente 3.5 metros de altura mientras en el lecho occidental se destaca (3) el sendero por el que se desciende para llegar a la zona baja donde se encuentra B) la piscina de inmersión de radio cercano a los 6 metros, la cual está bordeada a margen izquierdo por C) un afloramiento de roca calcárea donde brotan (1') y (2') puntos de manantial que aprovechan las fracturas de la roca.

La litología del lugar corresponde a rocas sedimentarias calcáreas de color gris oscuro que hacen parte de la Formación Rosa Blanca, sin embargo, en esta franja, no se pudo hacer una descripción litológica detallada debido a la abundante vegetación que cubre las rocas y a la prohibición, por parte de la logística del lugar, de intervenir el paisaje. También, este lugar cuenta

con características hidrogeológicas de gran importancia pues, además del flujo superficial que alimenta la piscina de inmersión, en la zona se encontraron cuatro puntos de manantial (Figura 16) que nacen en las rocas de las paredes de la zona sur del pozo. Dichos manantiales surgen desde la misma capa sedimentaria y aprovechan las zonas de fractura local (las cuales son generadas posiblemente por la acción biológica) para liberar el agua hacia el cauce superficial que corresponde a la Quebrada Pozo Negro, un cauce de segundo orden según la clasificación de Strahler (1957).

Respecto a la caída de agua, se puede clasificar según su forma, como una cascada *Punchbowl* pues las dimensiones de la piscina de inmersión son notorias en comparación a la altura de la caída de agua.

Por lo anterior, se determina que la disciplina geológica predominante en este lugar es de tipo geomorfológico, sin dejar atrás que el componente hidrogeológico, asociado con la ocurrencia de manantiales, adquiere un gran interés en relación con la litología cárstica allí determinada.

Las características socioeconómicas del LIG indican que esta zona es reconocida por la alcaldía municipal como uno de los sitios naturales que requieren una adecuación y conservación con fines ecoturísticos Alcaldía de Mogotes (2002), sin embargo, la franja en cuestión no constituye un aporte fundamental en el sector económico-turístico pues aunque tiene uso recreativo como balneario y senderismo, no se regula la entrada de visitantes a dicho lugar y por ende, no se obtiene un beneficio económico. Además, los alrededores del LIG están constituidos como una zona silvoagrícola con zonas productoras de café y caña panelera (Alcaldía de Mogotes, 2002).

Tabla 9

Ficha de valoración del LIG M03 (Pozo Negro).

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M03			
NOMBRE	Pozo Negro			
COORDENADAS	1' 212.285 N	1642 m.s.n.m		
	1' 119.292 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		140	140	210
GRADO DE INTERÉS		ALTO	ALTO	ALTO

Como se puede observar en la Tabla 9, este LIG presenta un interés alto en los 3 usos, pero la valoración mayor pertenece al interés turístico-recreativo ya que en este lugar es posible, no sólo apreciar la belleza natural, sino gozar de ella mediante la realización de las actividades mencionadas anteriormente. Además, respecto a los otros dos intereses cabe recalcar que el lugar

presenta una compilación de varios fenómenos geológicos y naturales relacionados al recurso hídrico que no son tan comunes en la zona y pueden ser utilizados en actividades didácticas.

5.1.4 M04 - Pozo del Minero e inmediaciones

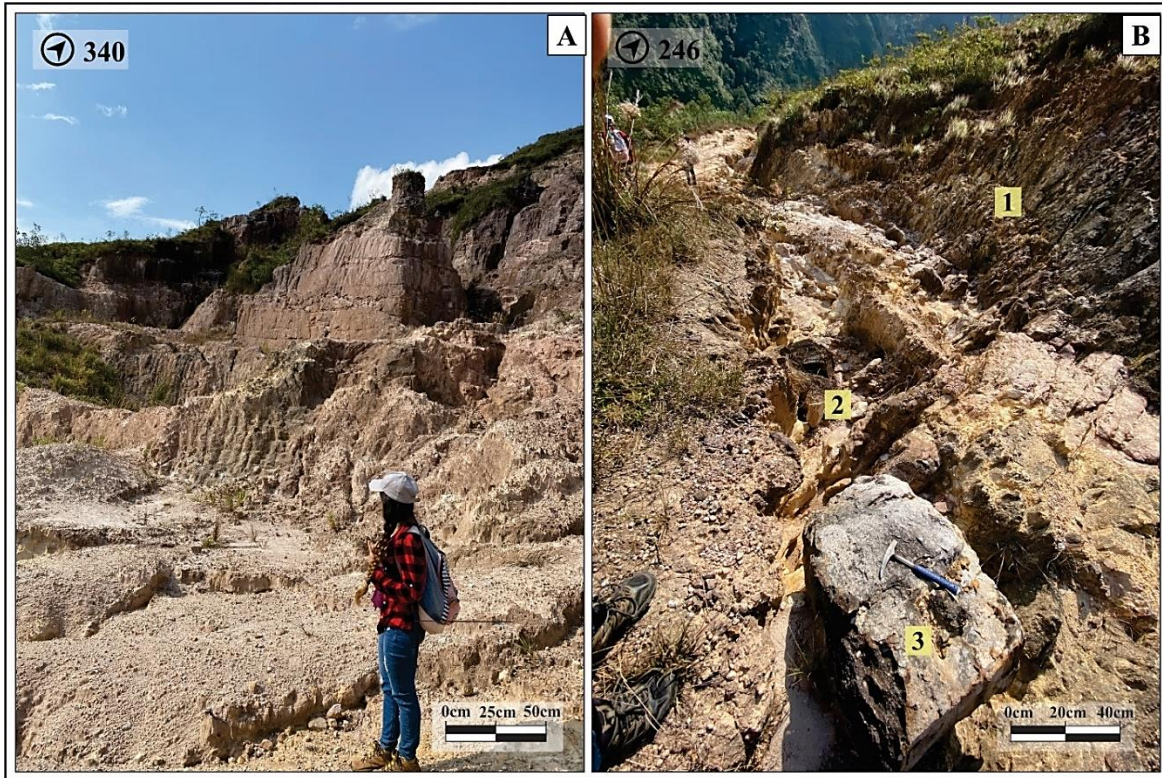
Para llegar al lugar de interés se conduce por la vía Mogotes- San Gil y sobre el kilómetro 23, a la altura de la vereda Las Vegas, se toma el desvío ubicado en el margen derecho de la vía, por donde se realiza un recorrido a pie durante aproximadamente 12 minutos. El acceso al lugar, aunque es por una carretera que anteriormente conducía a una mina, debe realizarse a pie ya que está en pésimas condiciones (en la Figura 17 se puede observar las cárcavas de gran profundidad que se forman en el suelo) debido a la fuerte erosión que presenta esta zona posiblemente por las actividades mineras que allí se desarrollaron.

En este lugar, anteriormente se realizaron actividades de minería ilegal asociadas a la extracción de materiales pétreos para la industria de la construcción. Por ello, la mayoría de los frentes de roca se encuentran descubiertos y expuestos a la intensa erosión climática evidenciada mediante geformas como surcos, cárcavas, pequeños alveolos y algunos movimientos en masa locales (Figura 17) relacionados con deslizamientos de roca.

Geológicamente se detallan capas estratificadas de rocas sedimentarias siliciclásticas pertenecientes a la Formación Los Santos, descritas texturalmente como intercalaciones de areniscas de grano muy fino, compactas, con granulometría equigranular y subredondeada en capas menores (10-15 cm) con capas de mayor espesor (35 cm hasta 1 metro) de arenisca de grano fino con características texturales similares. Estas rocas, se clasifican composicionalmente como sublitoarenitas pues se detalla un gran contenido de fragmentos líticos (contenido micáceo, en algunos casos) en un armazón altamente cuarzoso.

Figura 17

Fotografías de la zona minera abandonada en el LIG M04 (Pozo del Minero)



Nota. A) Lechos de roca expuestos a la acción del intemperismo, desarrollando estructuras de erosión y caída de rocas; B) Desarrollo mayor de estructuras de erosión, observando (1) surcos, (2) cárcavas y (3) caída de grandes bloques de roca.

Además, en la zona también se observa una caída de agua escalonada estrecha pero con una altura cercana a los 9 metros (Figura 18), clasificada según Goudie (2020) como una *cascade*, en la cual discurre un efluente del cauce principal del Rio Mogoticos. En la zona baja, la acumulación de agua en la piscina de inmersión ha sido intervenida antrópicamente mediante la construcción de una barrera artificial que limita el flujo de agua del cauce.

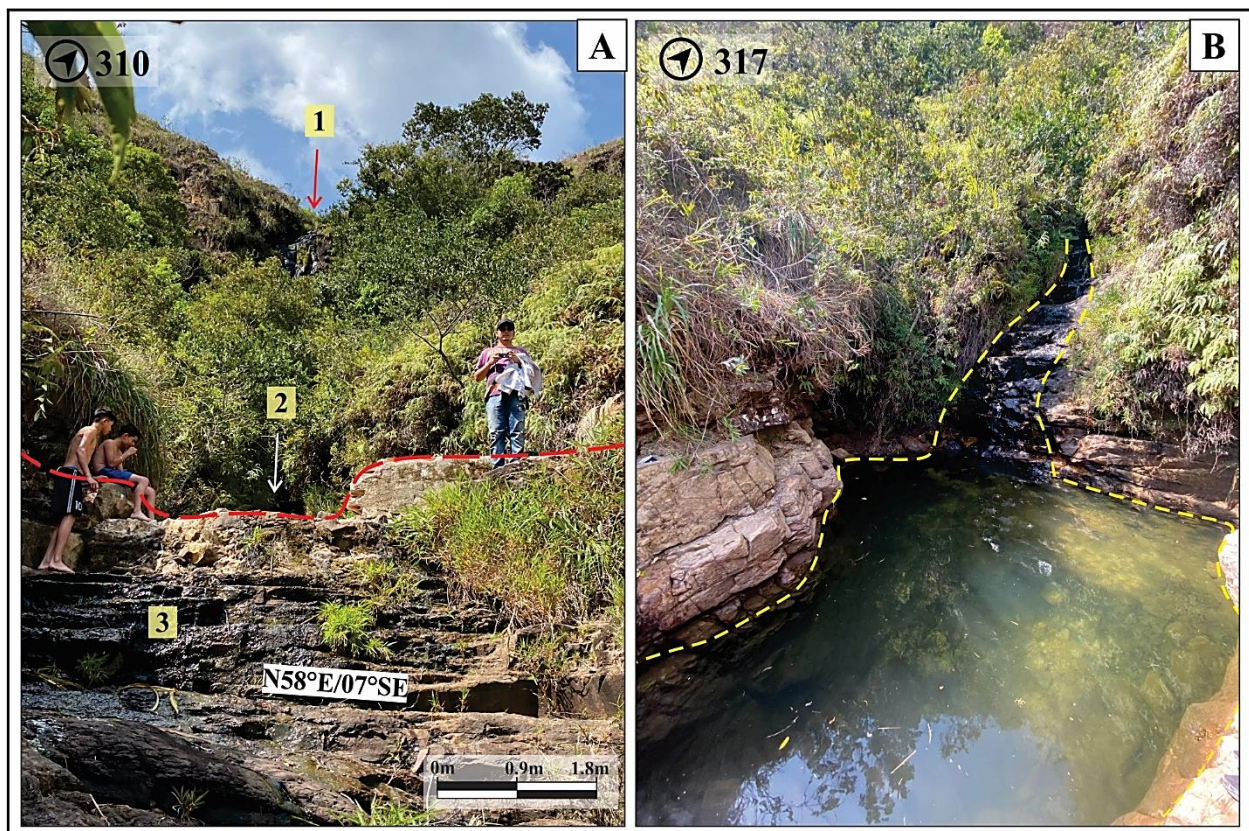
Por lo anterior, se deduce que la disciplina geológica principal en esta zona es la geomorfológica en función de los intensos factores erosivos que allí se desarrollan (siendo

reconocidos los riesgos geológicos dentro de dicha categoría), además de la ocurrencia de un salto de agua dado por los procesos dinámico-fluviales.

Respecto a la componente socioeconómica, en esta zona se desarrolló durante un largo periodo de tiempo actividades mineras relacionadas con la explotación de material rocoso para obtener materiales de construcción, logrando una extracción cercana a los 50.000 m³/año con un beneficio de 8000 COP/m³ en la venta (Alcaldía de Mogotes, 2002). Sin embargo, actualmente se constituye como un pasivo minero que, como uso actual, se fundamenta en una zona de balneario pobremente adecuada y que no genera ningún beneficio económico para el municipio ya que es de acceso libre.

Figura 18

Fotografías de la zona de cascada en el LIG M04 (Pozo del Minero)



Nota. A) Fotografía del salto de agua presente en este LIG donde se puede observar (1) el inicio de una cascada de tobogán, (2) los límites de la piscina de inmersión creados artificialmente y (3) la litología dispuesta de areniscas de grano fino con bajo buzamiento. B) Fotografía de la caída de agua escalonada y su correspondiente piscina de inmersión, aprovechada para actividades turístico-recreativas.

Tabla 10

Ficha de valoración del LIG M04 (Pozo del Minero e inmediaciones)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M04			
NOMBRE	Pozo del Minero e inmediaciones			
COORDENADAS	1' 214.179 N	1699 m.s.n.m		
	1' 117.999 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	0	0	0	
Condiciones de observación (O)	1	10	5	5
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	2			30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	1		5	20
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		90	115	160
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

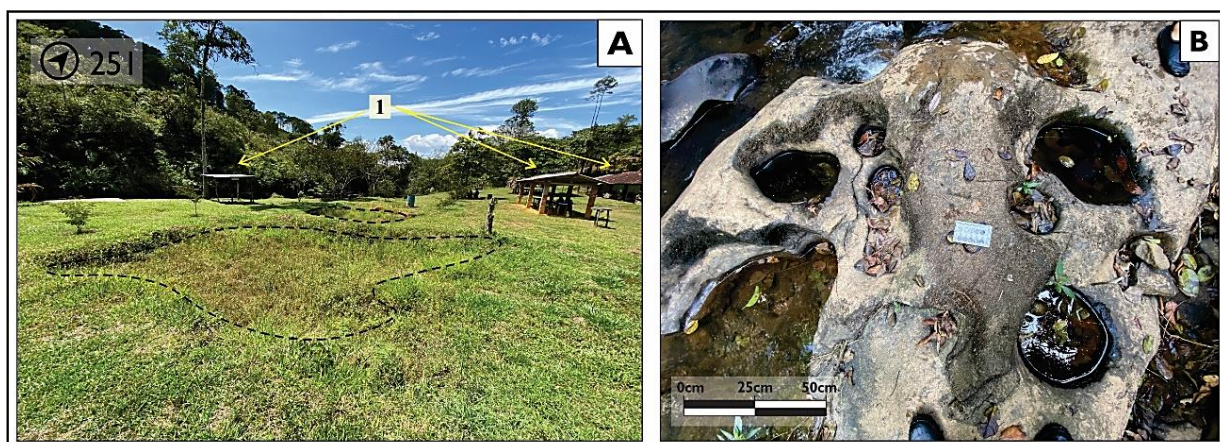
Teniendo en cuenta la valoración de este lugar (Tabla 10), se observa que el interés principal es de tipo turístico-recreativo pues en la zona se realizan actividades recreativas frecuentes por parte de la comunidad local asociadas a su uso como balneario; además, la caída de agua genera un atractivo natural por su belleza/espectacularidad. El interés científico y didáctico obtienen una menor puntuación debido a que en esta zona no se presentan características singulares que puedan ser útiles en actividades didácticas y, mucho menos, de interés para estudios científicos.

5.1.5 M05 - Sistema de Cascadas el Pino

Este lugar de interés geológico se encuentra en la franja occidental del municipio, específicamente sobre la vereda El Hoyo. Para llegar allí, se toma la vía que conduce a dicha vereda recorriendo una distancia total de 14 km por una carretera sin pavimentar, pero transitable para cualquier tipo de vehículo, durante aprox. 40 minutos en automóvil partiendo del parque principal del municipio. Al llegar al punto de referencia, se ingresa a una propiedad privada cercada y adecuada para actividades turísticas y recreativas.

Figura 19

Registro fotográfico general del LIG M05 (Sistema de cascadas el Pino)



Nota. A) Fotografía donde se evidencia: (1) Estructura kárstica de dolina que se encuentra a margen izquierda de la entrada al predio y (2) Adaptaciones realizadas en el lugar para el ofrecimiento de actividades recreativas. B) Marmitas de Gigante producidas por la acción fluvial, las cuales se observan repetitivamente a lo largo del LIG.

Este LIG está ubicado en una zona de pendiente relativamente baja al compararse con las geoformas que lo rodean como el Alto el Pozo y el Alto el Yuco, los cuales se pueden observar en la entrada del sitio. Respecto a su litología, corresponde a paquetes masivos de rocas sedimentarias grisáceas con variedades anaranjadas-rojizas (esto último producto del intemperismo y el desarrollo de regolitos) que composicionalmente, pertenecen a rocas calcáreas de tipo Mudstone de la formación Rosablanca. Dichas rocas, localmente, se encuentran altamente fracturadas con disposición perpendicular a la estratificación posiblemente por el control estructural dado por el sistema de Fallas de Ocamonte.

Además de lo anterior, la zona presenta desarrollo de morfologías kársticas producto de la disolución de la roca, como lo son unos sumideros ubicados al lado izquierdo de la entrada del sitio (Figura 19), antes del primer salto de agua, cuyas dimensiones son de aproximadamente 10 metros de largo por 3 m de ancho y 1 m de profundidad, tienen forma ovalada, alargados en dirección perpendicular al cauce del río. Sin embargo, dichas estructuras no presentan acumulación superficial de agua debido, posiblemente, a la época de sequía que tiene lugar durante los días en los que se realizó la visita, la cual se puede evidenciar históricamente en los bajos volúmenes de precipitación mensual registrados en esta fecha (Consortio EOT Mogotes, 2018).

Sin embargo, la característica principal es la formación del perfil erosivo fluvial compuesto por una secuencia de tres saltos de agua los cuales reciben el nombre de Pozo el Pino, Cascada del Diablo/Puente y Cascada de la Virgen. Antes del escarpe que forma el primer salto de agua, la pendiente es relativamente baja (alrededor de 1.7%) pero va aumentando a medida que discurre el agua por los otros saltos, finalizando con una pendiente moderada de 23.7% en la zona de la tercera

cascada. El agua discurre entre las cascadas por un cauce de no más de 2 m de ancho a través de la abundante vegetación que se desarrolla en las rocas carbonatadas aflorantes; y proviene del curso de agua de la Quebrada el Pino, un efluente del Rio Cuchiquira que, a su vez, se desprende del Rio Mogoticos. Además, este sistema de cascadas puede clasificarse, según Goudie (2020), como una Cascada de varios pasos pues corresponde a una serie de caídas de agua conectadas, cada una con su propia piscina de inmersión.

Teniendo en cuenta la información anterior, se concluye que la disciplina geológica de interés en esta zona es de tipo geomorfológica, en función de los procesos denudacionales fluviales enmarcados en el sistema de cascadas, además de otros procesos kársticos únicamente notorios en la entrada del sitio (franja del Pozo el Pino).

Desde el punto de vista socio-económico, este LIG es de propiedad privada y cuenta con una infraestructura dispuesta para la realización de actividades recreativas como torrentismo, senderismo, servicio de balneario, zona de fútbol-voleibol, zonas de alimentación y esparcimiento.

Además, este lugar es incluido dentro del EOT municipal (Alcaldía de Mogotes, 2002) y el inventario de atractivos turísticos de Mogotes elaborado por Jaimes y Vargas (2011) como uno de los principales lugares turísticos del municipio, con una tarifa de ingreso de 3000 COP por persona. Adicional a las actividades recreativas ya mencionadas, en la zona hay desarrollo agrícola asociado a cultivos de café y caña panelera.

Tabla 11

Ficha de valoración del LIG M05 (Sistema de Cascadas el Pino)

INFORMACIÓN DEL LIG		
CÓDIGO	M05	
NOMBRE	Sistema de Cascadas el Pino	
COORDENADAS	1' 207.582 N	1660 m.s.n.m

		1' 114.683 E	Error: ± 3 m	
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10
Tamaño del LIG (F)	2			30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2		10	10
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		130	135	230
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO	ALTO

La valoración, expresada en la Tabla 11, determina que el uso principal del sistema de cascadas el Pino es turístico-recreativo debido a la posibilidad de realizar una gran variedad de actividades recreativas, las cuales, ya están organizadas desde hace un tiempo. Además, el interés didáctico también es alto mientras el científico recibe una valoración baja debido a la no-singularidad del lugar, razón por la cual no se ha sido centro de estudios investigativos.

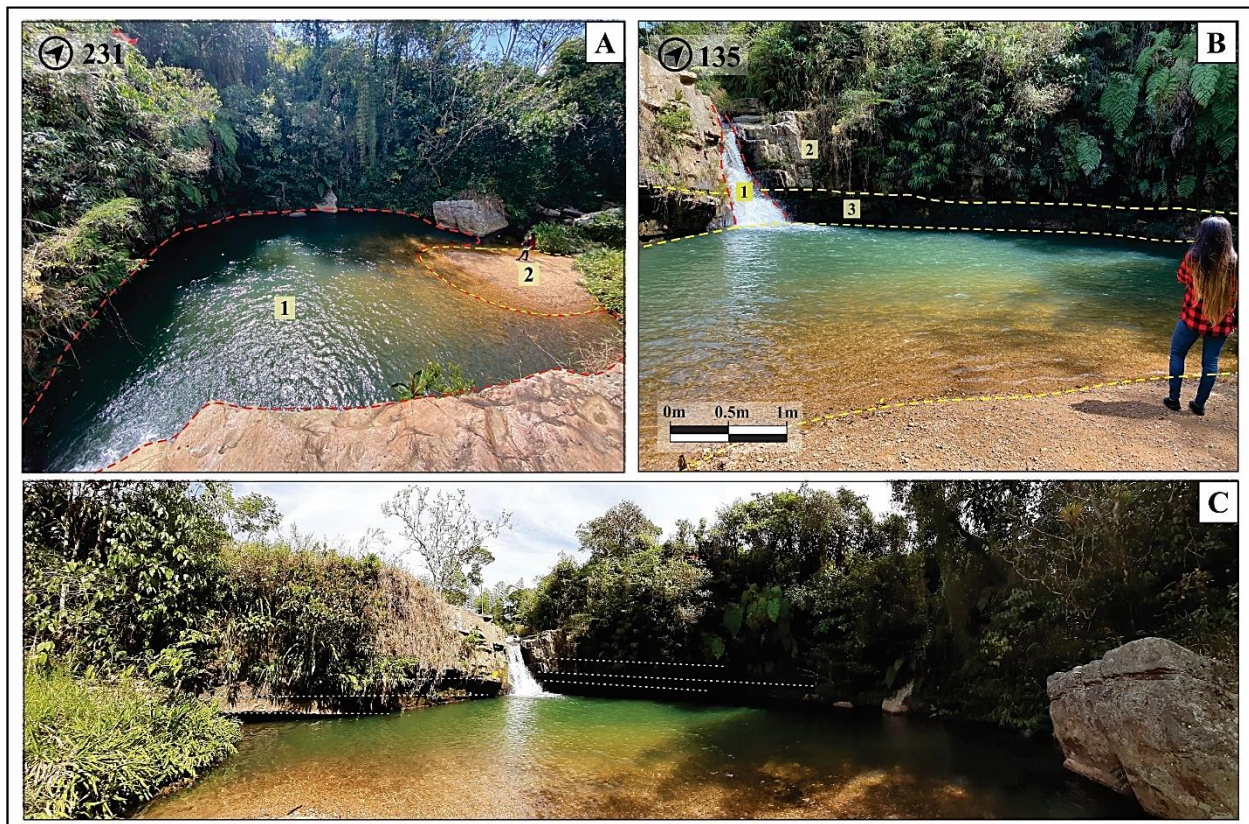
En este caso particular, se decide describir cada uno de los saltos de agua de manera independiente, ya que presentan características diferentes entre sí:

5.1.5.1 M05a - Pozo el Pino. Este lugar corresponde al primer salto de agua, ubicado a 40 metros al sur del punto de referencia denotado en el inciso anterior. Está compuesto por una caída de aproximadamente cinco (5) metros de alto por dos (2) metros de ancho, donde discurre el agua

de la Quebrada el Pino que nace desde el occidente de la zona como efluente del Rio Mogoticos, la cual se acumula formando la piscina de inmersión cuyas medidas son de aproximadamente 16 m de ancho por 10 m de largo y 3.5 - 4 m de profundidad (Figura 20). Al salir el agua del pozo, sigue su camino a través de un cauce de no más de 1.5 m que se abre paso entre la abundante vegetación de la zona, hasta encontrar el segundo salto de agua que forma la Cascada del Puente. Respecto a las otras cascadas que conforman este LIG, se puede decir que, aunque la altura de su caída de agua es menor, su piscina de inmersión es la más profunda.

Figura 20

Registro fotográfico de la franja M05a (Pozo el Pino)



Nota. A) Fotografía en vista superior del pozo El Pino donde (1) representa la profunda piscina de inmersión y (2) una zona de acumulación de material sedimentario transportado por el cauce. B) Vista frontal del Pozo El Pino donde se

evidencia (1) la pequeña caída de agua que forma la piscina de inmersión la cual está delimitada por un afloramiento de rocas calcáreas dispuestas en (2) paquetes potentes (2-3 m) infrayacidas por (3) capas menores de la misma litología. C) Fotografía panorámica de la franja, donde se evidencia la estratificación casi horizontal de las rocas.

Las características litológicas de este pozo son similares a las dadas para el sistema de cascadas, sin embargo, se detallan niveles de roca caliza más delgados (a escala de centímetros) hacia la base de la cascada mientras los niveles más potentes y fracturados se encuentran hacia el tope de la misma. Siguiendo la clasificación de cascadas según su forma dada por Goudie (2020) esta corresponde a una cascada *Punchbowl* pues presenta una amplia zona de acumulación de agua a manera de “piscina” donde también se apilan gran cantidad de partículas sedimentarias, principalmente tamaño arena gruesa y grava fina, producto de la erosión y arrastre del flujo involucrado. Esta pequeña franja, al hacer parte del LIG M05 descrito anteriormente, mantiene la disciplina geológica principal de tipo geomorfológico pues los procesos allí presentes evidencian una fuerte erosión de las rocas producto del flujo del cauce. Sin embargo, también hay interés hidrogeológico (por la interacción agua-roca carbonatada y las estructuras kársticas mencionadas) y estratigráfico (por la disposición de la sección estratigráfica continua de la Formación Rosablanca), los cuales podrían aumentar a medida que se desarrollen estudios científicos en la zona.

5.1.5.2 M05b - Cascada del Diablo/Cascada del Puente. Esta cascada se ubica a 400 metros al suroccidente del Pozo el Pino. Para llegar a ella, se debe seguir un camino que en su mayoría es paralelo al cauce del río y se abre paso a través de la vegetación, el cual ha sido adaptado artesanalmente (con palos, tablas y cuerdas) por el propietario del lugar a lo largo de la ribera derecha del cauce para garantizar la seguridad de los visitantes durante la realización de actividades

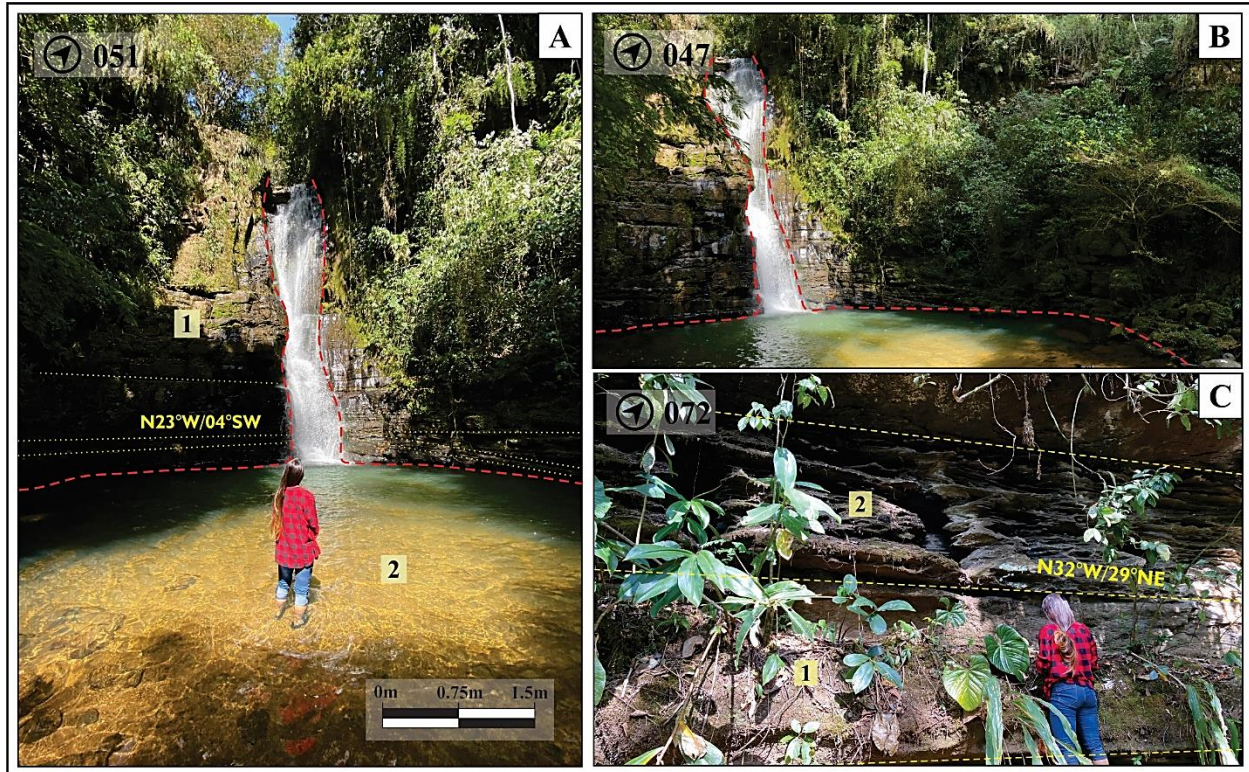
de senderismo. El trayecto o descenso desde el Pozo el Pino hasta la cascada es de 10-12 minutos en la dirección de la corriente.

Geológicamente se observa una pared de roca de aproximadamente 30 metros de altura, en la cual hay abundante desarrollo de vegetación, litológicamente está compuesta por capas gruesas de caliza tipo mudstone de color café oscuro con pequeñas intercalaciones de lodolitas calcáreas que se acentúan hacia la parte media y baja del salto de agua. Dichas rocas estratificadas presentan un buzamiento bajo (7°) y un patrón de fracturamiento similar al mencionado en todo el sistema de cascadas. La zona también presenta estructuras denudacionales fluviales como las marmitas de gigante (Figura 19) producidas por la acción de la corriente sobre los lechos del cauce.

Respecto a la caída de agua, esta se da en un escarpe de aproximadamente 30 m de alto por un caudal de 2 m de ancho, el cual cae y se acumula en una piscina de inmersión de aproximadamente 3 m de profundidad y de pequeñas dimensiones comparadas con la altura del salto de agua, la cual está rodeada por paredes y grandes fragmentos de roca (Figura 21). En función de la clasificación de Goudie (2020), corresponde a una *cascade* (en términos generales) pues su cauce se mueve a lo largo de escalones de roca sin características particulares.

Esta franja mantiene la disciplina geológica principal del LIG de tipo geomorfológico por los procesos fluviales allí involucrados y su modificación del paisaje. Además, al igual que en el Pozo el Pino, pueden ser tenidas en cuenta otras disciplinas como la hidrogeología (posible ocurrencia de manantiales) o estratigrafía por la amplia sección de la Formación Rosablanca, a medida que el conocimiento científico sea mayor.

Además, cabe recalcar que, en esta cascada, gracias a las características del salto de agua como su distribución espacial y altura, se realizan actividades de torrentismo.

Figura 21*Registro fotográfico de la franja M05b (Cascada del Diablo/Puente)*

Nota. A) Fotografía frontal de la cascada El Puente, donde se observan (1) capas casi horizontales y de gran espesor de caliza tipo Mudstone con pequeñas intercalaciones de lodolita calcárea, que rodea (2) la piscina de inmersión mientras en B) se observa el salto de agua de, aproximadamente, 30 metros de altura conformado por el cauce de la quebrada El Pino. En C) se evidencian capas potentes de caliza altamente meteorizadas intercaladas con (2) capas de lodolita calcárea que presentan mayor inclinación.

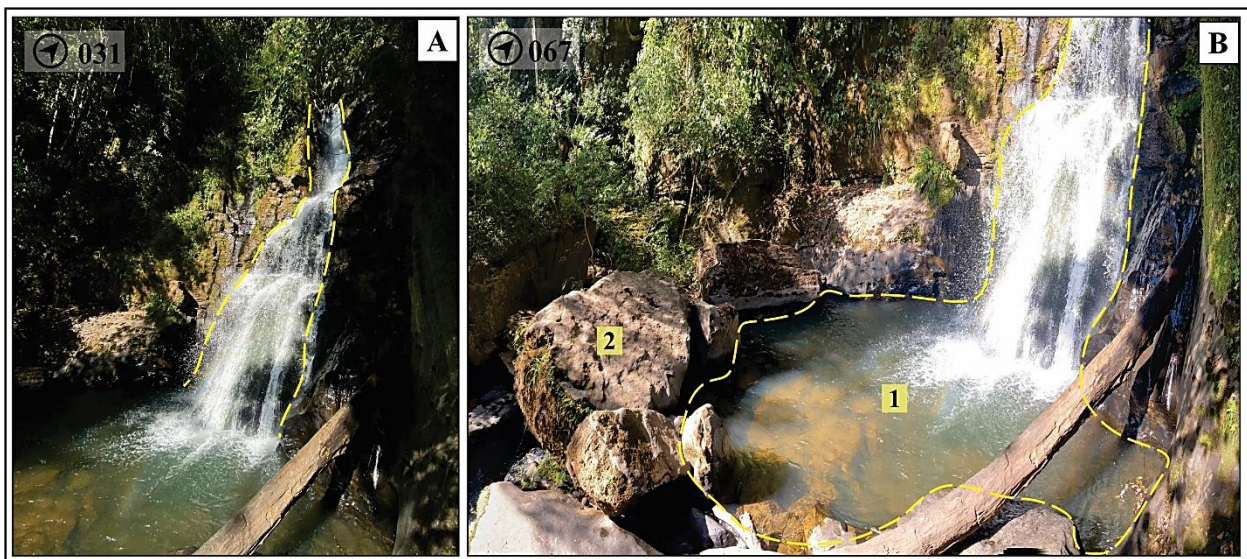
5.1.5.3 M05c - Cascada de la Virgen. Siguiendo el cauce de la quebrada El Pino aguas abajo por aproximadamente 700 metros se encuentra la tercera caída de agua perteneciente al sistema de cascadas el Pino (LIG M05) que cuenta con un acceso de alta dificultad debido a que no cuenta con un sendero adecuado para el descenso y, por ello, es necesario el uso de cuerdas y otros elementos de seguridad. El recorrido tarda entre 20-25 minutos hasta llegar a la zona del pozo.

Este lugar está conformado por una pared de roca de aproximadamente 15 metros de alto que litológicamente se compone de caliza tipo mudstone en paquetes potentes con pequeñas intercalaciones de lodolita calcárea negra/grisácea. En esta zona se observan dos direcciones predominantes de fracturamiento: Una dirección paralela a la estratificación, aprovechando los planos de anisotropía preexistente y otra de manera perpendicular a la misma, teniendo en cuenta que este patrón se conserva en esta franja de estudio. Geomorfológicamente se observan hacia la base la formación de Marmitas de gigante, por la acción erosiva del cauce y la acumulación de grandes cantos rodados, posiblemente, por efectos de remoción asociados a la pendiente, el control estructural y la acción del agua (Figura 22).

La cascada presenta una morfología particular pues la zona donde inicia la caída de agua (parte superior) presenta una amplitud cercana a los 2 metros mientras la base de la misma (parte más cercana a la piscina) es mucho mayor, alcanzando hasta 6 metros de ancho. Por tanto, según la clasificación de forma dada, esta cascada se clasifica como una cascada de abanico.

Figura 22

Registro fotográfico de la franja M05c (Cascada de la Virgen)



Nota. A) Fotografía de Cascada La Virgen, evidenciando el ensanchamiento del cauce hacia la base, en forma de abanico. B) Se observa (1) la piscina de inmersión limitada por (2) grandes bloques de roca tipo mudstone, con evidencias de abrasión fluvial.

Por lo anterior, se identifica que esta franja contribuye al entendimiento del desarrollo geomorfológico de la zona y, por ende, esta es su disciplina geológica principal. Entendiendo que esta zona hace parte del Sistema de Cascadas el Pino, también se observa que su mayor interés es turístico-recreativo.

5.1.6 M06 - Cascada del Resumidero

Para llegar a este, se toma la vía Mogotes – Hoyo de los Pájaros y tras 4 kilómetros de recorrido, a la altura del letrero de señalización de la Institución Educativa el Hoyo, sede Buenavista se toma el desvío a la derecha con destino a la vereda San Roque Alto. Algunos metros adelante, se toma nuevamente un desvío a mano derecha por aproximadamente 100 metros hasta llegar a la finca Cascada del Resumidero, ubicada al margen derecho del camino. El recorrido total, desde el parque principal del municipio hasta la finca, es de 15 km. En este punto, se inicia un recorrido a manera de senderismo en dirección Este por un camino un poco pantanoso que se abre paso entre vegetación tipo arbusto y pendientes bajas, por aproximadamente 20 minutos hasta llegar a la zona de cascada.

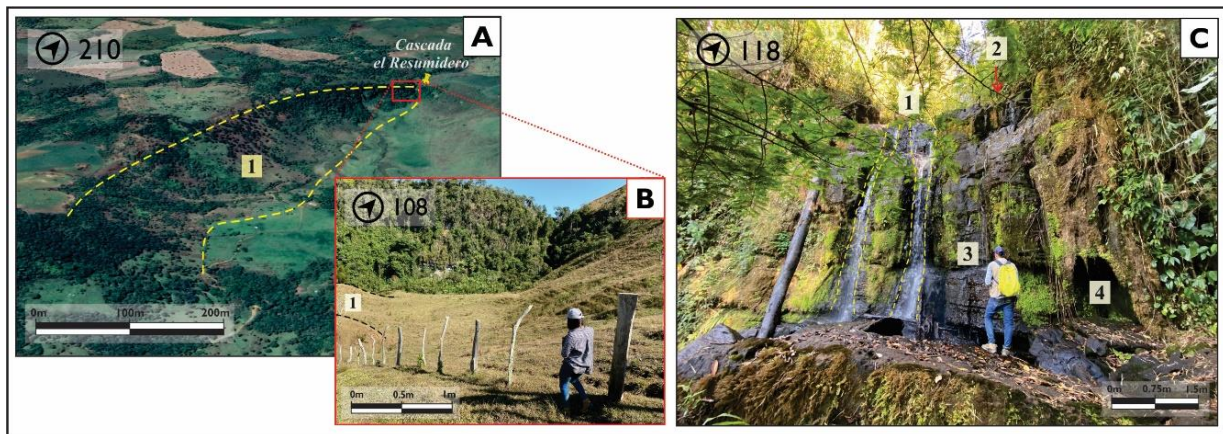
La litología observada en la franja de interés corresponde a rocas sedimentarias calcáreas de color gris oscuro-negro con alta compactación expuestas en paredes escarpadas, altamente fracturadas y meteorizadas por actividad biológica (desarrollo de vegetación tipo musgos y helechos de agua); además de bloques erráticos de tamaños variables que alcanzan hasta los 3 m. Dichas rocas están compuestas principalmente por constituyentes ortoquímicos de tipo micrita y

no se observa una presencia bioclástica y/o extraclástica notoria a escala de muestra de mano. Por tal motivo, se clasifican como Mudstone,

Localmente, la morfología del terreno comprende un relieve ondulado al interior de una depresión kárstica de tipo Polje con un área superficial cercana a los 0.35 km². Internamente, se forman algunos montículos residuales denominados hums y algunas zonas hendidas con acumulación de agua reconocidas como sumideros, atribuyendo cierto grado de inestabilidad al lugar (Figura 23).

Figura 23

Registro fotográfico correspondiente al LIG M06 (Cascada el Resumidero)



Nota. A) Imagen satelital de la zona, donde (1) se observa una estructura de polje, limitada por escarpes de roca en la franja SW y NE. B) Fotografía tomada en zonas aledañas a la cascada, en la cual se puede observar una morfología típica de ambientes kársticos, formada por zonas de depresión (dolinas o sumideros, en algunos casos) junto a (1) pequeños montículos residuales (posibles hums). C) Fotografía de la zona de cascada, en la que se observan (1) dos cauces principales y (2) un cauce menor, además de (3) un punto de manantial. Además, se detalla la (4) remoción de bloques debido al control kárstico de la zona, además de los procesos mecánicos generados por el cauce en cuestión.

En la zona de cascada, el flujo de agua discurre por un escarpe de aproximadamente 10 m de alto por 8 de ancho y no se concentra en un cauce principal, sino que se segmenta en tres caídas de agua de volúmenes distintos y, además, se observan dos aparentes puntos de manantial que aportan parte del fluido de la cascada (Figura 23). Por lo anterior, la cascada se clasificaría como una cascada segmentada. Una característica importante de este lugar, es que, a diferencia de las cascadas descritas anteriormente, en esta el agua que discurre por el escarpe no se acumula formando un pozo o piscina de inmersión, ni discurre a través de flujos superficiales, sino que se infiltra en el suelo, razón por la cual en la zona se observan algunos sumideros. Debido a dicho proceso, a este lugar se le atribuye el nombre de “Cascada del Resumidero”.

La disciplina geológica característica del lugar de interés es de tipo geomorfológico, debido a la variedad de estructuras kársticas encontradas y, además, por la ocurrencia de un salto de agua que puede evidenciar otros procesos relacionados con la dinámica fluvial.

La componente socio-económica de la zona indica que esta franja es reconocida como un destino turístico ofrecido a los visitantes para uso como zona de baño. En este lugar, la tarifa de entrada se paga en la Finca Cascada del Resumidero y tiene un coste de 3000 COP, allí, la propietaria del predio ofrece el servicio de guía hasta el lugar de interés. Sin embargo, la actividad económica que se destaca en la zona es la producción pecuaria debido a la continua y amplia presencia de pastos (Alcaldía de Mogotes, 2002).

Tabla 12.*Ficha de valoración del LIG M06 (Cascada el Resumidero)*

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M06			
NOMBRE	Cascada el Resumidero			
COORDENADAS	1' 209.700 N	1634 m.s.n.m		
	1' 115.676 E	Error: ± 5 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2		10	10
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		110	110	205
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

Este LIG presenta, respecto a la valoración dada en la Tabla 12, un alto interés turístico-recreativo pues en esta zona se presta un servicio de balneario y, además, el ingreso a ella, requiere la realización de actividades como senderismo, razón por la cual puede impulsarse para actividades de ecoturismo. Por su parte, el interés tanto didáctico como científico es clasificado como medio

debido a la expresión diversa de la geología local, ya que allí se pueden observar simultáneamente procesos geomorfológicos, estructurales y estratigráficos, pero dichas características son frecuentes a nivel local restando valor a su singularidad y, por ende, el interés de realizar investigaciones científicas en la zona es bajo.

5.1.7 M07 - Sistema de cascadas Peña Blanca

Este Lugar de Interés Geológico se ubica sobre la vía Mogotes - Vereda San Roque, a la altura del puente que atraviesa la Quebrada Los Pepes. El recorrido tiene una distancia total de 15.9 km y una duración aproximada de 60 minutos por carretera sin pavimentar pero transitable por cualquier automóvil (aunque no esté en las mejores condiciones).

Geológicamente la zona está compuesta por una secuencia de rocas sedimentarias de material calcáreo dispuestas en capas de espesor variable entre 25 cm - 2 m, compuestas por calizas altamente micríticas con nula evidencia de material bioclástico o extraclástico, razón por la cual se clasifican como Mudstone. Además, se encuentran pequeñas intercalaciones de lodolitas calcáreas fisiles, con un alto contenido de arcillas, clasificadas como margas, dispuestas en capas finas de 2-10 cm de espesor. Estas rocas, localmente, se encuentran altamente fracturadas y, algunas de estas estructuras están rellenas de carbonato de calcio. Además, se observan ciertas estructuras onduladas superficiales asociadas a la abrasión diferencial del cauce sobre la superficie de la roca (Figura 24).

Morfológicamente, se encuentra en una zona de valle en medio de dos altos topográficos enmarcado hacia el sur por el alto El Pino (con una variación de altura cercana a los 500 metros) y hacia el norte por una colina con altitud cercana a los 210 metros de altura. El cauce que discurre sobre esta zona, se denomina Quebrada los Pepes (o quebrada El Pino) y nace hacia el nororiente de la zona, siendo el mismo flujo que alimenta el sistema de cascadas El Pino (LIG M05). En este

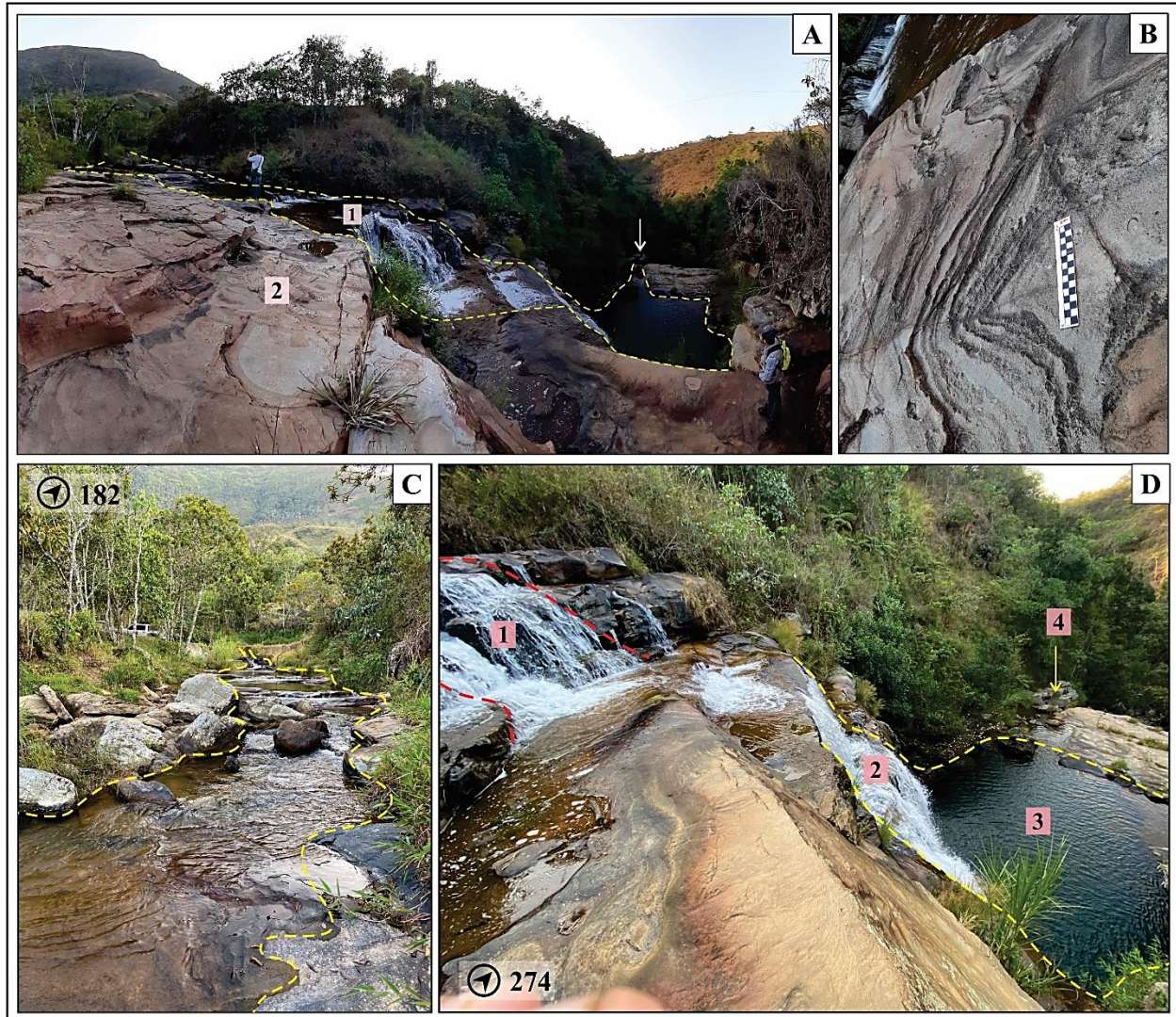
tramo, el orden de drenaje es de quinto nivel y termina siendo un efluente del cauce principal del Rio Mogoticos. Esta quebrada, luego de descender por la colina, llega a la zona de valle o lecho del río por donde discurre a través de un cauce de tamaño irregular que puede variar desde 2 - 5 m de ancho (aumenta aguas abajo). En esta zona se pueden observar geoformas erosionales fluviales como marmitas de gigante, las marcas de abrasión anteriormente mencionadas y tres saltos de agua principales, clasificados como una cascada *Multi-step* (Figura 24).

El primer salto de agua tiene una altura de 3 m aproximadamente y las rocas que lo conforman están dispuestas en forma “escalonada” debido a la abrasión diferencial del cauce sobre la superficie de la roca. Este salto no cuenta con un pozo o piscina de inmersión, ya que el agua sigue rápidamente su trayecto, favorecida por el buzamiento de las rocas, hasta encontrar el segundo salto que tiene una altura aproximada de 25 metros y, a diferencia del primero, este tiene una piscina de inmersión, a la cual no es posible acceder debido a la complejidad de la zona. Parte del agua que cae desde la segunda cascada, sigue su recorrido por el lecho del río hasta encontrarse con el tercer salto de agua, el cual tampoco se puede detallar porque no hay un camino adecuado para llegar allí, pero por la morfología observada se estima que es el de mayor altura.

A partir de lo anterior, se destaca que la disciplina geológica de interés en esta franja es de tipo geomorfológica relacionada con el desarrollo de los tres saltos de agua por el cauce de la Quebrada Los Pepes, además de las otras evidencias geomorfológicas que generan un aporte al entendimiento de los procesos fluviales denudacionales que allí ocurren.

Figura 24

Registro fotográfico del LIG M07 (Sistema de cascadas Peña Blanca)



Nota. A) Fotografía panorámica en la que se observa (1) el cauce de la Quebrada los Pepes, el cual discurre sobre (2) un lecho de rocas sedimentarias que presentan B) marcas de abrasión cuyo apéndice apunta en la dirección del flujo del agua, evidenciando la erosión diferencial generada por C) el paso del cauce principal estrecho y poco profundo de la quebrada, la cual presenta a lo largo de su trayectoria grandes bloques subredondeados de roca caliza y D) una secuencia de tres saltos de agua diferentes pero cercanos entre sí: (1) la primer caída es escalonada, de pequeñas dimensiones y no tiene piscina de inmersión, a unos cm de esta se encuentra (2) la segunda cascada, la cual tiene una altura mayor y si presenta acumulación de agua permitiendo la formación de (3) una piscina de inmersión y, finalmente algunos centímetros más delante de esta, se encuentra (4) la tercer caída de agua, la cual no se puede detallar pues el acceso es limitado.

El aporte económico de este LIG al municipio es nulo ya que es propiedad pública, el acceso es libre, está lejos de la cabecera municipal y no cuenta con las medidas necesarias que permitan su pleno aprovechamiento en actividades recreativas como torrentismo y balneario; razón por la cual, actualmente no es reconocido como destino turístico en ninguna documentación referenciada. No obstante, este lugar es usado de forma esporádica como balneario por parte de algunos habitantes de las veredas aledañas. Además, el uso actual del suelo refiere que dicha franja se encuentra en un sector de uso silvo-pastoril, enmarcado por un mosaico de pastos con espacios naturales (Alcaldía de Mogotes, 2002).

Tabla 13.

Ficha de valoración del LIG M07 (Cascada Peña Blanca)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M07			
NOMBRE	Cascada Peña Blanca			
COORDENADAS	1' 207.607 N	1414 m.s.n.m		
	1' 113.124 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2		10	10
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80

Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2		30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4		20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2		10
Entorno socioeconómico (ES)	1		10
TOTAL		110	215
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO

Según la valoración realizada (Tabla 13), el principal interés de este LIG es de tipo turístico-recreativo pues el atractivo generado por la secuencia de saltos de agua es comúnmente utilizado para actividades recreativas; además, debido a la gran caída que se reconoce en la segunda cascada, se podrían impulsar actividades deportivas relacionadas con el torrentismo y otros deportes extremos que son reconocidos en la región pero que aún no se realizan en este LIG. A pesar de que actualmente el lugar no está adecuado para la realización de dichas actividades, algunos habitantes lo recorren como balneario ya que es evidente el potencial y atractivo paisajístico que este presenta, lo cual lleva a pensar que, en un futuro, con la implementación de las medidas necesarias, este puede ser reconocido como uno de los sitios turísticos frecuentados en Mogotes.

5.1.8 M08 - Cascada El Avional

Este lugar de interés geológico está ubicado en la Vereda San Miguel. Partiendo del casco urbano, por la vía que conduce a la Vereda Guaure, a los 10.6 km se toma el desvío ubicado al margen derecho por el camino que conduce a la Escuela Guaure. 500 m antes de llegar a esta, se toma nuevamente un desvío a mano derecha donde se encuentra el cauce del Río Guaure, el cual debe ser atravesado para continuar el recorrido por aproximadamente 1.6 km hasta donde termina el paso vehicular. La duración del recorrido (en automóvil) hasta este punto es de aproximadamente 42 minutos recorriendo una distancia total de 12.6 km por una vía no asfaltada y en mal estado. En este punto, se inicia el recorrido a manera de senderismo ingresando por la

finca Don Jesús y atravesando varios predios, siguiendo el camino demarcado por aproximadamente 30 minutos hasta encontrar la Cascada El Avional.

En esta zona se observa una caída de agua de 28 metros de altura aproximadamente sobre una pared de roca que, litológicamente, corresponde a rocas metamórficas negras de aspecto masivo y de protolito sedimentario reconocidas en la zona de estudio como filitas cuarzosas correspondientes a la unidad Esquistos del Silgará. Estas rocas presentan, localmente, venillas de cuarzo y minerales como piritita y calcopiritita posiblemente asociados a eventos hidrotermales.

Sobre la roca discurre un cauce de segundo orden de la Quebrada San Miguel, que conforma la cascada dividiendo su curso principal en dos fracciones hacia la parte alta y, posteriormente, consolidando un único flujo que cae sobre el lecho de roca y discurre sobre él por un caudal de aproximadamente 2 metros de ancho que aguas abajo disminuye su grosor. Se denota, además, que la apertura de la cascada es baja, debido a la oposición de la roca a los procesos erosivos gracias a su compactación y dureza, sin embargo, los clastos que ha logrado remover se componen de bloques y cantos rodados de la unidad anteriormente descrita (Figura 25). Esta cascada puede clasificarse, según su forma, como una cascada en tobogán debido a que el agua se limita a un cauce muy estrecho pues la roca infrayacente es muy resistente a la meteorización.

En este caso, se identifica que la disciplina geológica principal es geomorfológica relacionada con la acción denudacional fluvial, en este caso, en litologías resistentes. Sin embargo, también se resalta el componente petrológico relacionado con la ocurrencia de un afloramiento potente de rocas de la unidad Esquistos del Silgará con ligeras evidencias de alteraciones hidrotermales.

Figura 25

Registro fotográfico del LIG M08 (Cascada el Avional)



Nota. A) Fotografía de una alta pero estrecha (1) cascada de tobogán que justo antes de terminar su recorrido por la caída de agua sufre (2) una bifurcación de su cauce principal en dos pequeños brazos que alimentan (3) la piscina de inmersión, la cual se encuentra B) bordeada por grandes bloques de roca metamórfica subsféricos que pertenecen a la Formación Silgará.

Respecto a la componente socioeconómica de este LIG, se destaca que el entorno directo basa su economía en la agricultura y, principalmente, en la cosecha de caña de azúcar, café, frijol y plátano, siendo el enfoque turístico pobremente reconocido en este lugar, razón por la cual no se encuentra adaptado de manera que permita el total aprovechamiento de su potencial como uso turístico-recreativo. Además, el uso actual del suelo refiere que la franja es una zona de

producción-protección (Consortio EOT Mogotes, 2018) especializada en actividades de producción de caña panelera y fique.

Tabla 14.

Ficha de valoración del LIG M08 (Cascada el Avional)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M08			
NOMBRE	Cascada el Avional			
COORDENADAS	1' 205.559 N	1642 m.s.n.m		
	1' 118.223 E	Error: ± 5 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		140	140	210
GRADO DE INTERÉS		ALTO	ALTO	ALTO

Con base en la valoración realizada a este LIG (Tabla 14) se identifica que su interés principal es de tipo turístico-recreativo pues este lugar presenta una potencialidad para realizar

actividades recreativas como senderismo (para el acceso) y zona de balneario frente a la cascada. Además, la variación del relieve y la caída de agua le añaden valor mediante la espectacularidad/belleza que ellos representan. Sin embargo, también el interés didáctico y científico son altos debido a sus buenas condiciones de observación y a la posibilidad de encontrar rocas con evidencias de alteración hidrotermal, que le añade diversidad geológica al LIG en cuestión.

5.1.9 M09 - Cañón del Río Mogoticos

Este Lugar de Interés Geológico se encuentra ubicado sobre la vía Mogotes-San Joaquín, justo en el límite político entre dichos municipios, a la altura de la vereda San Roque. Las características geológicas y paisajísticas de dicho LIG son apreciables a lo largo de toda la vía (Figura 26), sin embargo, la localidad de referencia escogida se ubica sobre la ladera oriental del cañón en el km 19 de la vía.

Figura 26

Fotografía panorámica del LIG M09 (Cañón del Río Mogoticos)



Nota. Vista panorámica tomada desde el punto de referencia de este LIG, en el que se observa (1) afloramiento de roca a margen de carretera constituido litológicamente por la Formación Los Santos, (2) valle por el que discurre el cauce del Río Mogoticos en contraste con (3) zonas de alta pendiente de la ladera occidental del cañón.

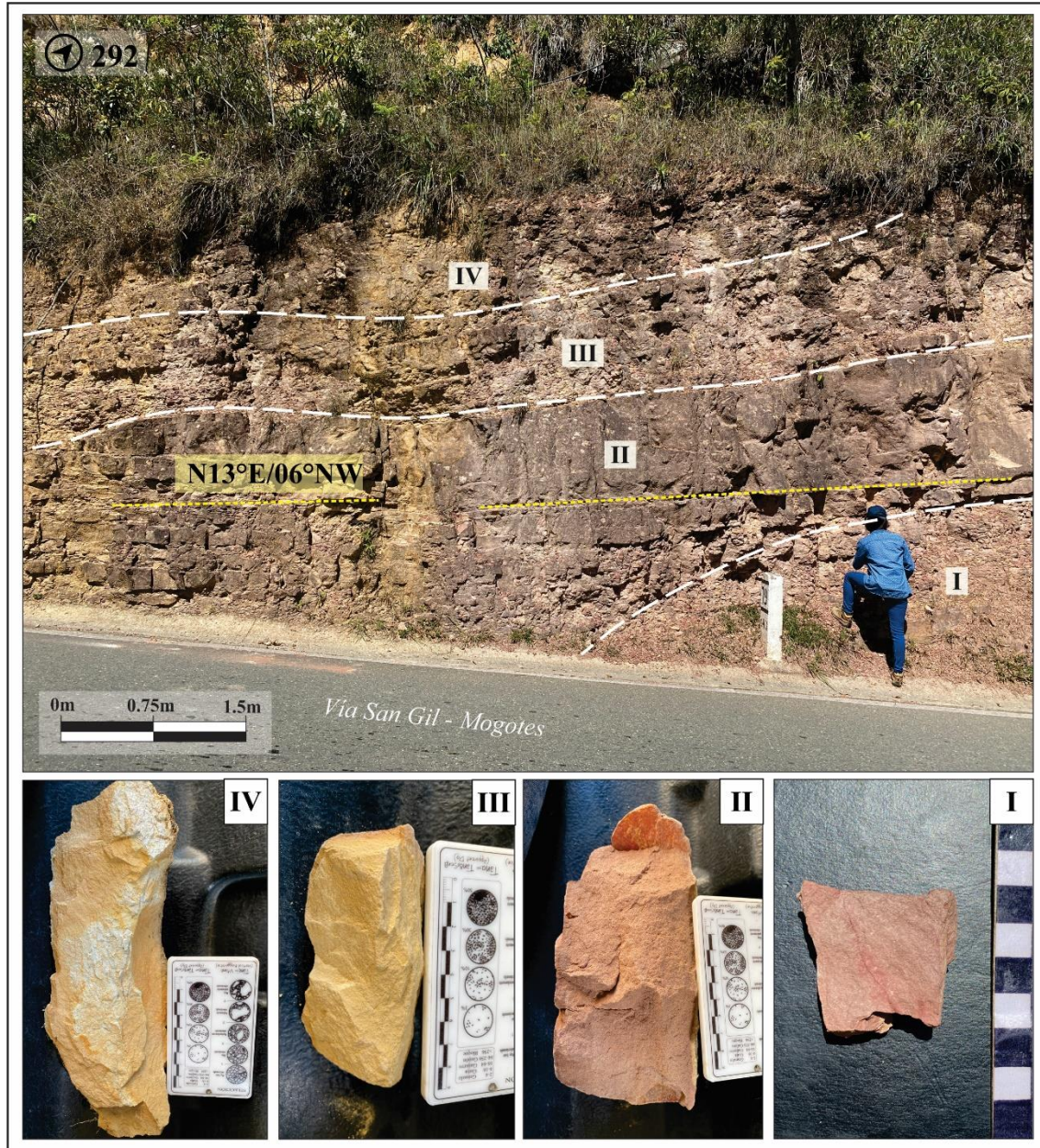
A margen derecho de la carretera se observa un afloramiento de roca de aproximadamente 5 metros de alto que se prolonga por todo el corte de carretera, el cual se encuentra fracturado y meteorizado por la acción biológica y mecánica producto del desarrollo de vegetación y la exposición al paso vehicular, respectivamente (Figura 27). Litológicamente corresponde a rocas sedimentarias siliciclásticas pertenecientes a la Formación Los Santos. Dichas rocas presentan las siguientes variaciones texturales: hacia la base se presentan niveles delgados de lodolita de color rojizo-violeta que presenta superficies lisas, una baja porosidad y alta compactación de la roca, seguido se observan capas potentes de areniscas de grano fino, rojizas, altamente porosas, clasificada en campo como subarcosa. De manera suprayacente se encuentra un paquete de areniscas de grano fino con matriz lodosa, altamente porosa, clasificada en campo como sublitoarenita. Al tope, se destacan capas de areniscas de grano muy fino intercaladas con lodolitas amarillentas-grisáceas fósiles. Estructuralmente, en este afloramiento se observan planos de estratificación cuya actitud es N13°E/06°NW (Figura 27).

Geomorfológicamente, esta zona evidencia los procesos denudativos generados por el cauce principal de la Cuenca del Rio Mogoticos, una zona que, fisiográficamente, se encuentra clasificada como un área deprimida con desarrollo de cañones (Consortio EOT Mogotes, 2018).

En la zona observada, y generalmente en casi toda su extensión, el cauce alcanza los 13 metros de ancho y su profundidad varía desde unos 50 cm en las riberas hasta aproximadamente 1.5 m en el centro del cauce; es meandriforme y está limitado por paredes inclinadas (con pendientes que alcanzan los 37°) que provocan la caída de material rocoso al lecho del río debido a efectos gravitatorios, principalmente se observan bloques de rocas compactos, esféricos – subangulares, que varían su tamaño desde 20 cm hasta 2-3 m.

Figura 27

Fotografía del afloramiento y las litologías expuestas en el LIG M09

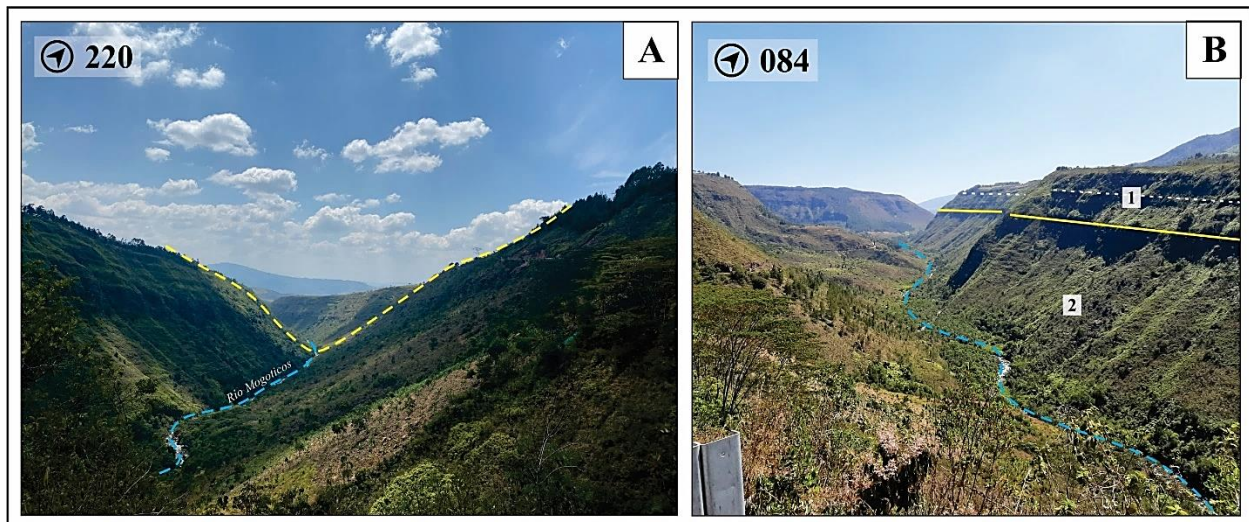


Nota. Fotografía de afloramiento de roca en corte de carretera donde (I) representa capas menores de lodolita rojiza suprayacida por (2) areniscas de grano fino clasificadas como subarcosas mientras sobre ellas se encuentran (3) areniscas de grano muy fino con tonalidades amarillentas clasificadas como sublitoarenitas mientras al tope (4) afloran intercalaciones entre areniscas de grano fino amarillentas y lodolitas grisáceas con planos de fisilidad.

Además, se identifican características geomorfológicas como una silla de montar (detrás del cañón), un patrón de drenajes alineados que discurren sobre la ladera occidental del cañón y desembocan en el río Mogoticos, asociado posiblemente a un control estructural en la zona; movimientos en masa y un cambio marcado de pendiente entre la zona media y alta del cañón relacionado una variación litológica de cuerpos de roca menormente consolidados que generan pendientes moderadas hacia la parte media, a estratos compactos y estratificados con cierto grado de buzamiento pertenecientes a la Formación Los Santos, los cuales forman escarpes hacia el tope del cañón (Figura 28).

Figura 28

Vistas del Cañón del Río Mogoticos (M09)



Nota. A) Se detalla la morfología de laderas escarpadas de alta incisión causada por el cauce del Río Mogoticos. B) Se observa (1) una topografía escarpada, compuesta por rocas estratificadas y compactas de la Formación Los Santos que han sufrido movimientos en masa a lo largo del tiempo y generan (2) una morfología de pendiente menor, ondulosa, característica de un talud de derrubios.

Estas características mencionadas permiten reconocer que la disciplina geológica principal en este LIG es de tipo geomorfológico debido a los procesos naturales que forman este paisaje.

Sin embargo, puede identificarse un interés secundario de tipo estratigráfico en función de la buena exposición de las rocas de la Formación Los Santos y la posibilidad de identificar características faciales distintivas entre capas.

En este tramo, la componente socioeconómica resalta que, en los márgenes del cañón y en las riberas del río Mogoticos, se han adelantado actividades productivas relacionadas con la extracción de material pétreo a partir de la técnica del lavado de peña. Sin embargo, actualmente esta actividad no se realiza debido a que no se encuentran contratos de concesión vigentes y, según lo dictado por la Corporación Autónoma Regional de Santander (2015), dicha extracción no está permitida pues la subcuenca del Río Mogoticos hace parte de la hidrografía del Ecosistema DMRI Guantiva - La Rusia. Las actividades económicas relacionadas con el turismo, son llevadas a cabo a manera de ecoturismo y el recaudo económico se lleva a cabo mediante la única empresa oficial del municipio, Turismo Mogotano, ofreciendo actividades de montañismo, senderismo, balneario, entre otros.

Tabla 15.

Ficha de valoración del LIG M09 (Cañón del río Mogoticos)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M09			
NOMBRE	Cañón del río Mogoticos			
COORDENADAS	1' 213.809 N	1639 m.s.n.m		
	1' 114.679 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	1	10	5	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	4	40	20	20

Rareza (A)	1	15	5	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	4			60
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	4		20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	4			60
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		165	150	300
GRADO DE INTERÉS		ALTO	ALTO	MUY ALTO

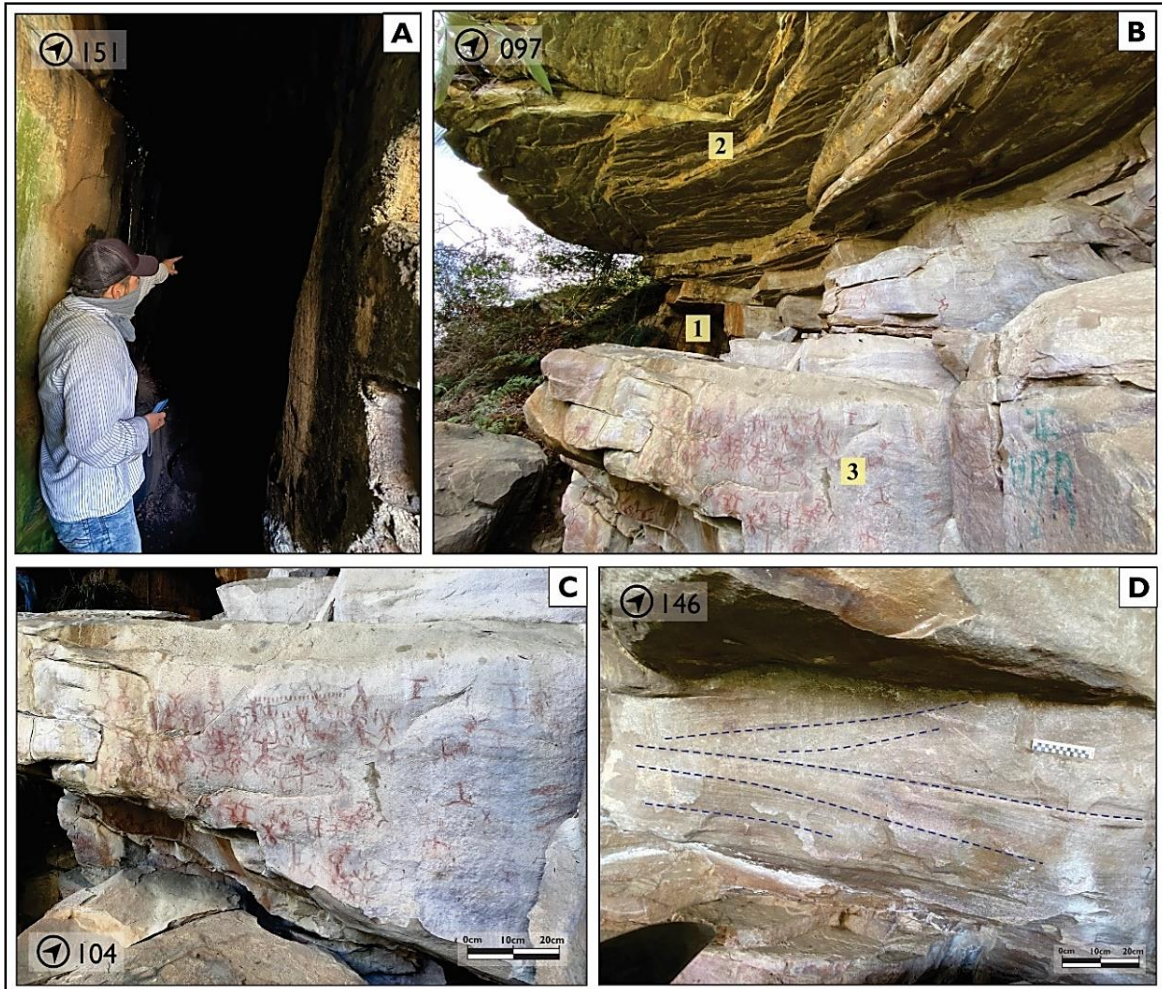
Como se puede observar en la Tabla 15, el interés principal de este LIG es turístico-recreativo, de hecho, es el único lugar que recibe una valoración muy alta (300 puntos). Esto se debe a características como el tamaño y espectacularidad que lo convierten en un lugar muy atractivo para el desarrollo de múltiples actividades turísticas y recreativas como senderismo, montañismo, balneario (en el río), entre otras. Además, el interés tanto científico como didáctico es alto pues este lugar reúne características geológicas importantes de distintas especialidades como estratigrafía y sedimentología, geomorfología, hidrología, geología estructural, entre otras, que pueden ser foco de estudios científicos y utilizadas como una alternativa para las instituciones de educación y el público en general para el entendimiento de los procesos naturales de la tierra.

5.1.10 M10 - Cueva Rica

Este lugar de interés se ubica sobre la ladera sur del Cañón del río Mogoticos. Para llegar allí, se toma la vía Mogotes - San Gil y a la altura del kilómetro 19+320 se inicia el descenso por la ladera oriental del cañón siguiendo el camino que conduce a la finca Don Tiberio donde se continua el senderismo, por un camino estrecho y poco distinguible que se abre paso entre la

abundante vegetación de la zona, hasta llegar a la ribera del Rio Mogoticos. el cual debe ser atravesado. Una vez cruzado el rio, se inicia el ascenso por las altas pendientes de la ladera oriental del cañón, siguiendo un sendero difuso que ha sido levemente adaptado con cuerdas, hasta llegar al lugar de referencia, ubicado a 80 m de altura respecto al lecho del río. La duración total del recorrido (senderismo) es cercana a los 90 minutos.

En esta franja afloran rocas sedimentarias siliciclásticas de color marrón claro, compactas y dispuestas en capas estratificadas en dirección N20°W/06°SW mientras presentan una dirección de fracturamiento principal de N75°W; texturalmente descritas como areniscas de grano medio y fino equigranular y composicionalmente clasificadas como cuarzoareniscas que hacen parte de la Formación Los Santos. Además, las rocas presentan estructuras sedimentarias como laminación plano-paralela y cruzada (Figura 29), junto a un alto grado de fracturamiento posiblemente asociado a factores de carga-pendiente que generan deslizamientos de grandes bloques de roca. Estos últimos factores se asocian al desarrollo de cavernas de gran tamaño como la denominada “Cueva Rica” que no es más que una cavidad producida en el afloramiento como consecuencia del deslizamiento de grandes bloques de roca. Por ende, cabe recalcar que, aunque este LIG tiene la forma característica de una cueva no debe confundirse con la típica cueva kárstica (formada por la disolución de rocas calcáreas) ya que los procesos que les dieron origen son muy diferentes. Dicho esto, las dimensiones de la cueva son 3 m de alto por 1 m de ancho y 10 m de profundidad.

Figura 29*Registro fotográfico del LIG M10 (Cueva Rica)*

Nota. A) Apertura de entrada a la cueva, con una altura superior a los 3 metros y una profundidad muy limitada. B) Fotografía general del lugar donde (1) representa la franja de cueva, (2) evidencia la estratificación en pequeñas capas de arenisca de grano fino y (3) presenta bloques mayores de dicha litología, donde se encuentran los pictogramas. C) Variedad de pictogramas realizados por los Guane sobre las rocas. D) Estructuras sedimentarias de laminación plano-paralela y cruzada que se observan sobre la roca en cuestión.

Con las descripciones anteriores, se determina que la disciplina geológica principal en este LIG es de tipo geomorfológico en función a los riesgos geológicos que se presentan en la zona y que forman dichas cavidades de gran tamaño como Cueva Rica. Sin embargo, también hay un

interés sedimentológico relacionado con el afloramiento rocoso allí disponible (formación Los Santos), sus estructuras sedimentarias y sus características texturales-composicionales que podrían identificar paleo-ambientes de formación de dichas rocas.

Respecto a la parte socio-económica, se reconoce que este LIG refleja un componente histórico-cultural muy destacado pues en él se conservan estructuras pictográficas realizadas sobre la roca por antiguos grupos indígenas (Tribu Guane) que han sido exploradas y descritas por Bautista (1980), Estos pictogramas eran la manera en la que los Guane expresaban cómo vivían y lo que veían, mediante la pintura de líneas, figuras, animales y seres antropomorfos. En estos pictogramas en particular predominan las líneas rectas con un trazo de menos de 1 cm de ancho y la presencia de una sola figura no lineal (circulo); todo esto pintado de colores rojo y ocre gracias a materiales minerales como la hematita y componentes orgánicos. Esta cueva, junto a otras 25 que han sido identificadas en el municipio de los Santos son de gran importancia ya que son la evidencia del paso de los Guane por la región. Razón por la cual, desde el EOT (Alcaldía de Mogotes, 2002) se plantea esta franja como destino ecoturístico que requiere de buen cuidado y manejo por parte de los visitantes para conservar dicha área. En este caso, la única entidad encargada del cuidado y protección de este lugar es don Tiberio, el dueño de la finca por la cual se ingresa para llegar a la cueva, cobrando una tarifa de 4000 COP por persona para el ingreso.

Tabla 16.

Ficha de valoración del LIG M10 (Cueva Rica)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M10			
NOMBRE	Cueva Rica			
COORDENADAS	1' 213.390 N	1590 m.s.n.m		
	1' 114.810 E	Error: ± 5 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo

Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	1	15	5	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	1		5	20
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	1			15
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	4			20
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		125	125	150
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

A partir de la valoración realizada (Tabla 16) se puede deducir que el interés principal de este LIG es turístico-recreativo en función del desarrollo del ecoturismo asociado a actividades como senderismo y montañismo (con escalada), además del atractivo histórico que le otorgan los pictogramas allí encontrados.

5.1.11 M11 - Cueva el Resumidero

El acceso a este LIG se realiza mediante la vía que del casco urbano conduce a la Vereda el Hoyo, siguiendo la vía por 8.3 kilómetros hasta llegar a la finca La Esperanza, ubicada a margen izquierdo. Allí, se desciende por un sendero, aproximadamente 3 minutos hasta llegar a la cueva. La duración total del recorrido es de 25-30 minutos.

En esta zona se encuentra una morfología ondulada conformada por una serie de planicies kársticas hacia la base rodeada de pequeños montículos (lomos) que ocupan las zonas

topográficamente más altas. Localmente, se identifica una apertura de 1 metro de ancho y 9 metros de alto, con abundante desarrollo de vegetación (Figura 30). Las rocas allí presentes son de color gris claro, fracturadas y dispuestas en planos de estratificación con aptitud $N70^{\circ}W/77^{\circ}NE$. Composicionalmente corresponden a rocas sedimentarias calcáreas con presencia de fósiles tipo bivalvos y fragmentos de conchas que no superan los 5 mm de ancho y 5 cm de largo, bien conservados y recristalizados, clasificadas como tipo *Wackestone*. Estas rocas pertenecen a la Formación Tablazo.

Figura 30

Registro fotográfico del LIG M11 (Cueva el Resumidero)



Nota. A) Apertura de entrada a la cueva de pequeñas dimensiones (9 metros de alto y 1 metro de ancho), formada por rocas calcáreas que varían entre wackestone y mudstone de la Formación Tablazo. B) Morfologías de erosión que desarrollan (1) textura lenar a los costados de la cueva y (2) posible formación temprana de espeleotemas.

El ancho de la cueva se mantiene más o menos constante a la amplitud de la entrada hasta unos 80 metros, donde sufre un ensanchamiento de la cavidad formando una zona comúnmente conocida como sala o cámara, la cual algunos metros más adelante se reduce a 20 centímetros, dificultando el paso. La longitud final del recorrido no pudo ser determinada por problemas logísticos, sin embargo, según información suministrada, el recorrido completo por el interior de la cueva tiene una duración aproximada de 70 minutos.

Al interior de esta, se observan una familia de diaclasas paralelas a la dirección de la cueva, lo que permite reconocer un evidente control estructural en el fracturamiento de las rocas y la posterior disolución y desarrollo del karst. Además, se evidencia el desarrollo (aún en fase prematura) de estructuras endocársticas tales como espeleotemas de tipo Estalactitas, coladas, mondmilch, entre otros (Figura 30), con tonalidades principalmente blancas o gris claro (debido al carbonato de calcio) o marrón (debido a los sedimentos generados por la disgregación de la roca). También se observan algunas venas de recristalización de calcita de aproximadamente 1 cm.

La disciplina geológica que destaca en este LIG es la Geomorfológica y, exactamente, de tipo espeleológico en función del desarrollo de esta cavidad y las geoformas allí presentes, sin embargo, puede adquirir un interés hidrogeológico relacionado con el flujo de agua subterránea que se presenta, su patrón de movimiento y las zonas donde se acumula dentro de dicha estructura.

En el área de influencia del LIG, la actividad económica principal es la agricultura, señalado por el EOT (Alcaldía de Mogotes, 2002) como una franja silvopastoril. Además, este sector es reconocido en el inventario turístico municipal (Jaimes y Vargas, 2011) como una zona recreativa donde es posible realizar actividades como caminatas, camping y espeleología, entre

otros. El beneficio económico de dichas actividades es recaudado por la propietaria del predio, en convenio con la empresa de turismo llamada Turismo Mogotano, teniendo una tarifa de 4000 COP por persona.

Tabla 17.

Ficha de valoración del LIG M11 (Cueva el Resumidero)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M11			
NOMBRE	Cueva el Resumidero			
COORDENADAS	1' 209.160 N	1720 m.s.n.m		
	1' 117.200 E	Error: ± 4 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	0	0	0	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	2			30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	1		5	20
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		100	110	170
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	MEDIO	ALTO

Con base en la valoración realizada a este LIG (Tabla 17), se puede deducir que su interés principal es de tipo turístico-recreativo pues el ingreso a este tipo de estructuras comprende las actividades recreativas mencionadas anteriormente. Además, las componentes didáctica y científica poseen un interés medio pues la franja no presenta una diversidad geológica notable y, en el ámbito científico, no se han desarrollado actividades investigativas en este lugar.

5.1.12 M12 - Hoyo de los pájaros

Para llegar a este LIG se toma la vía sin pavimentar que conduce hacia la Vereda el Hoyo y a los 4-5 minutos de pasar por la Institución Educativa El Hoyo, a la altura del ramal ubicado en la tienda Doña Bertha, se toma el desvío hacia la derecha. Unos metros más adelante, al margen izquierdo se encuentra el lugar de interés, el cual se puede reconocer fácilmente pues está ubicado sobre la vía y se encuentra señalizado y demarcado debido a su importancia histórica en el marco municipal. El recorrido desde el parque principal del municipio es de 11.3 km y tiene una duración aproximada de 35 minutos.

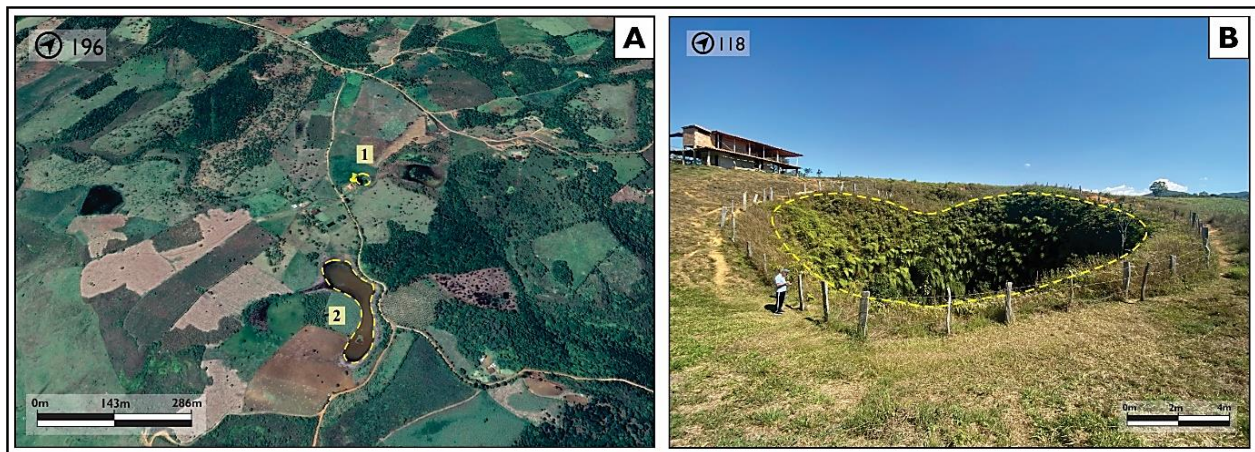
En la zona de interés se observa una depresión cárstica redondeada de, aproximadamente, 40 metros de diámetro y entre 120-130 metros de profundidad, que corresponde a una dolina de colapso (Figura 31) formada por paredes verticales de roca calcárea de la Formación Rosa Blanca, las cuales se encuentran estratificadas y compactas. Al interior del mismo, se percibe la circulación de agua subterránea y la ocurrencia de puntos de manantial que alimentan dicha zona, sin embargo, estas características no son apreciables debido a que en él hay abundante desarrollo de vegetación que impiden ver sus características, además de que el descenso a través de él está prohibido y por seguridad, el perímetro del Hoyo de los Pájaros se encuentra cercado.

Morfológicamente, el lugar de interés se encuentra en una zona de planicie kárstica rodeado de montículos levemente inclinados (con pendientes promedio entre 4-6%) tanto al NW como al

SW. Mediante fotogeología, se determina la ausencia de drenajes superficiales en los alrededores y, también, a 250 metros al norte, se detalla una Laguna natural que, estructuralmente, podría estar asociada a dichas morfologías kársticas (Figura 31).

Figura 31

Material fotográfico del LIG M12 (Hoyo de los Pájaros)



Nota. A) Imagen satelital que capta el entorno al Hoyo de los Pájaros donde se aprecia (1) el LIG en cuestión y (2) la formación de una laguna sobre rocas kársticas. Resalta, en esta imagen, la ausencia total de drenajes superficiales que puede implicar la percolación de agua al interior de la roca. B) Formación de cavidad natural, producto de una dolina de colapso, que alcanza más de 100 metros de profundidad y mantiene en su interior un hábitat especial de aves, peces y anfibios.

Por lo anterior, se atribuye que la disciplina geológica principal en este LIG es de tipo geomorfológico asociado al desarrollo del karst en la zona, además, la componente hidrogeológica puede adquirir un alto potencial en función de determinar las características del flujo subterráneo que alimenta el Hoyo de los Pájaros y discurre sobre las rocas.

La componente socioeconómica del LIG destaca que, en el área de influencia, se realizan actividades económicas asociadas a la ganadería (uso del suelo silvopastoril) y a la agricultura de café y caña panelera en mayor medida con cultivos de maíz, frijol, yuca, entre otros. (Alcaldía de

Mogotes, 2002). Además, aunque no se cuenta con un registro económico detallado, la empresa Turismo Mogotano afirma que este atractivo natural corresponde al principal destino turístico de los visitantes de la región, siendo ofrecido en el 90% de los paquetes turísticos disponibles. Finalmente, se destaca que su uso actual es netamente turístico, pues las actividades recreativas (como rapel, camping, entre otras) están prohibidas en esta zona, debido a que cuenta con un mecanismo de protección especial dado por la CAR en función del hábitat protegido en la zona, específicamente el ave *Steatornis caripensis*, más conocida como guácharo (denominado Hoyo de los Pájaros en honor a esta especie), que es un ave nocturna que habita en esta geoforma y ofrece un espectáculo alrededor de las 6:30 pm cuando salen alrededor de 200 individuos en búsqueda de comida o a las 4:00 am cuando vuelven a ingresar a las profundidades del Hoyo.

Tabla 18.

Ficha de valoración del LIG M12 (Hoyo de los Pájaros)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M12			
NOMBRE	Hoyo de los Pájaros			
COORDENADAS	1' 209.420 N	1748 m.s.n.m		
	1' 114.872 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	1	10	5	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	1	10	5	5
Rareza (A)	1	15	5	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10

Tamaño del LIG (F)	2		30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4	20	20
Espectacularidad o belleza (B)	4	20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	4		60
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4		20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2		10
Entorno socioeconómico (ES)	1		10
TOTAL		155	160
GRADO DE INTERÉS		ALTO	ALTO

Finalmente, en la valoración (Tabla 18) se puede observar que este LIG presenta un alto interés en los 3 usos, pero el principal es turístico-recreativo por su singularidad y atractivo natural que lo convierten en uno de los principales destinos turísticos en Mogotes. Además, este lugar representa un fenómeno geológico (en este caso, de tipo kárstico) de una manera clara y visible, siendo uno de los mejores ejemplos reportados a nivel regional que junto a la singularidad de su tamaño y profundidad, le otorgan cierta potencialidad de uso tanto para actividades turísticas y didácticas como para investigaciones científicas en la zona.

5.1.13 M13 - Mirador del Alto de San José

El Lugar de Interés Geológico está ubicado en el sector de San Ignacio. Para llegar allí, se toma la vía que comunica al casco urbano de Mogotes con la Vereda San José (salida suroriental del pueblo) y después de recorrer 3.2 km por una vía en malas condiciones que se encuentra sin asfaltar y es altamente inclinada se llega a la Finca Villa Esperanza, la cual se encuentra en proceso de adecuación como mirador turístico del municipio. El tiempo total de recorrido es de 20-22 minutos aproximadamente.

En el ascenso hacia el Lugar de Interés, es posible observar la predominancia litológica de cuerpos de roca ígnea de textura fanerítica-porfirítica con cristales de cuarzo de tamaño de grano medio, embebidos, en su mayoría, en una matriz cristalina conformada por plagioclasa y feldespato

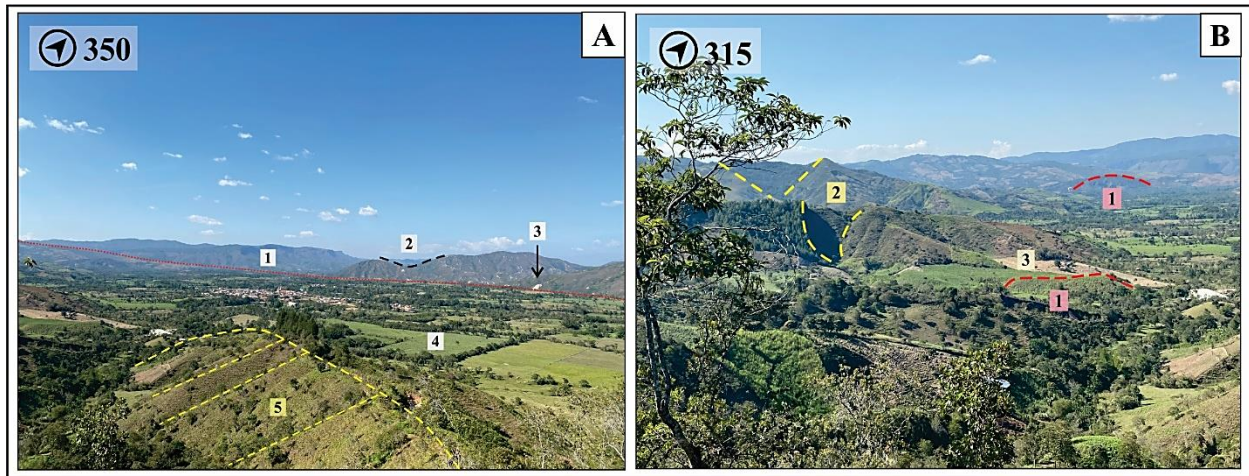
potásico en proporciones similares, presentando estos últimos un alto grado de alteración (posiblemente a caolín). En esta zona, se realiza la clasificación en campo de la roca como Monzogranito.

En la zona de mirador es posible observar la variabilidad geomorfológica que presenta la zona, detallando hacia el norte la expresión paisajística del Cañón del Rio Mogoticos a manera de sierra desnuda (o como se caracterizó anteriormente, ladera escarpada de alta incisión) y sus características geológicas como los cambios de pendiente asociadas, posiblemente, a cambios litológicos; esto en contraste con la zona de planicie formada por depósitos aluviales asociados al cauce del Rio Mogoticos y sus afluentes, que conforman el abanico de Mogotes donde se encuentra el asentamiento municipal. Hacia el NE se observa una franja dispuesta con drenajes alineados y facetas triangulares que se clasifica como un espolón facetado, teniendo en cuenta que el Abanico de Mogotes es bordeado por la Falla de Lebrija (Figura 32A), una estructura de componente de rumbo sinistral (Velandia, 2017). Mientras hacia el SW del municipio, se observan lomos de falla de base amplia que se encuentran ligeramente redondeados al tope. Finalmente, hacia el occidente se encuentran algunos lomos de presión enmarcados en una de ladera erosiva y adyacente a ella, un espolón facetado (Figura 32B).

Por lo anterior, se determina que la disciplina geológica principal en este LIG es geomorfológica, pues la identificación de las unidades geomorfológicas del área permitiría reconocer y distinguir procesos denudacionales fluviales, estructurales, kársticos, entre otros, que han influenciado en la evolución del paisaje.

Figura 32

Registro fotográfico tomado en el Mirador de San José (M13)



Nota. Expresión paisajística del municipio de Mogotes donde A) representa una vista hacia el NE del municipio conformada por (1) ladera escarpada de alta incisión que forma el Cañón del Rio Mogoticos, (2) Espolón facetado bordeado por la Falla de Lebrija, (3) Zona de posibles deslizamientos de roca, (4) Abanico de Mogotes y (5) Cerro residual con desarrollo de drenajes alineados. Mientras B) permite observar al SW del municipio (1) una serie de lomos de falla asociados a la tectónica presente, (2) espolón facetado y (3) zona de ladera erosiva.

Entre las características socioeconómicas, el LIG se ubica en una zona de uso de suelo de Protección-producción, donde la economía se basa en la agricultura de café y caña panelera, además de otros cultivos transitorios (Alcaldía de Mogotes, 2002). El aprovechamiento económico de la franja no se desarrolla aún, sin embargo, el propietario del predio de la Finca Villa Esperanza se encuentra en proceso de construcción y adecuación de un mirador turístico municipal ya que esta franja es comúnmente utilizada en actividades culturales y religiosas por los habitantes de dicha localidad.

Tabla 19.

Ficha de valoración del LIG M13 (Mirador del Alto de San José)

INFORMACIÓN DEL LIG	
CÓDIGO	M13
NOMBRE	Mirador del Alto de San José

COORDENADAS		1' 205.959 N	1862 m.s.n.m	
		1' 122.997 E	Error: ± 3 m	
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	0	0	0	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	4		80	
Infraestructura logística (IL)	4		60	20
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	2		10	40
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2			30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	4			20
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		120	225	195
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO	ALTO

Respecto a la valoración (Tabla 19), se reconoce que el uso principal en este LIG es didáctico en función de la completa expresión paisajística de la zona, la cercanía a la cabecera municipal (que constituye un parámetro como la infraestructura logística) y la belleza asociada a los grandes cambios de relieve que le otorgan un alto potencial para ser usado en actividades didácticas. A su vez, el uso turístico-recreativo es alto pues actualmente este lugar es usado como mirador por su expresión paisajística, pero a futuro se espera que pueda ofrecer otras alternativas recreativas.

5.1.14 M14 - Mirador Alto de los Cacaos

Este lugar de interés geológico se encuentra sobre la vía principal que comunica los municipios de Mogotes y San Joaquín, a la altura de la vereda El Gaital. El recorrido partiendo del parque principal de Mogotes es de 16.8 km y 45 minutos en automóvil. Al margen izquierdo de la vía se observa la zona de mirador paupérrimamente adecuada para su uso mientras al costado derecho se detalla un afloramiento de roca.

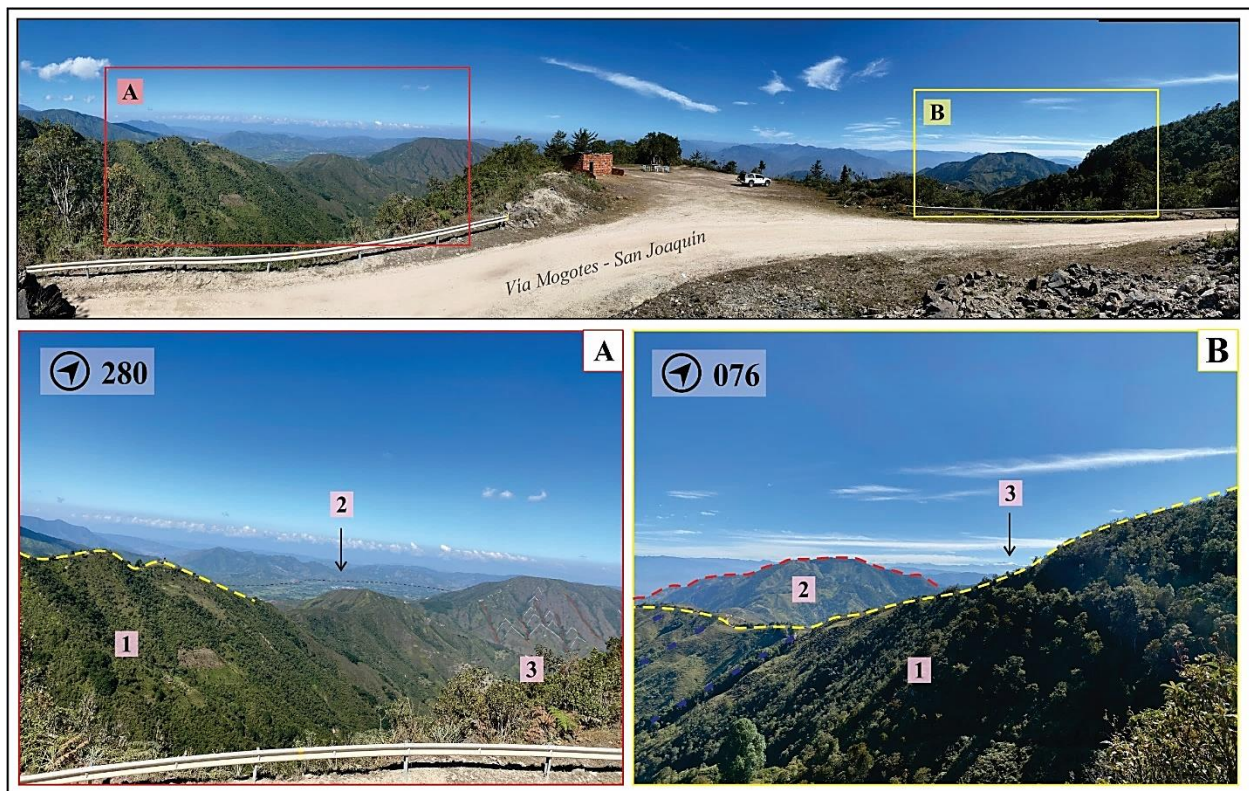
La litología expuesta corresponde a una roca ígnea de textura fanerítica de color blanco con ligeras tonalidades oscuras que, composicionalmente, está compuesta en su mayoría por cuarzo, feldespato plagioclasa, feldespato potásico y mica biotita, además, muestra algunas franjas con presencia de caolín como mineral de alteración. Por tal motivo, la roca fue clasificada en campo como una Cuarzomonzonita de grano medio perteneciente a la unidad litoestratigráfica Batolito de Mogotes.

Por otro lado, la zona de mirador presenta una componente paisajística importante pues su altura de 2568 msnm permite observar la diferencia geomorfológica entre la unidad cuaternaria del Abanico de Mogotes en contraste con los relieves adyacentes como el Alto el Cardonal, la Loma de San José y la Loma El Rubí. De manera adyacente, se identifica al este una morfología de sierra continua con patrón de drenaje subparalelo alineados, que a medida que se prolonga presenta mayores evidencias de procesos denudativos (Figura 33); mientras que la morfología al oeste refleja una componente estructural evidenciada en las continuas facetas triangulares sobre el relieve, además de aparentes sillas de montar, que resaltan esta franja como un espolón facetado. Además, es importante resaltar que desde este mirador es posible observar una geoforma de referencia nacional como la Sierra Nevada del Cocuy a pesar de encontrarse a cerca de 90 km de distancia (Figura 33).

Este lugar se distingue del LIG M15 (rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos) debido a que la disciplina geológica principal es diferente, pues en este caso se resalta como disciplina principal la geomorfología en función de los procesos destacados anteriormente y no la historia de la geología regional en función del dominio geológico dado, recordando que el concepto de LIG requiere un lugar con continuidad y homogeneidad del rasgo a destacar (García-Cortés y Carcavilla, 2013) y, en este caso, se evalúan rasgos distintos.

Figura 33.

Fotografías de la expresión paisajística observada en el LIG (M14)



Nota. Fotografía panorámica que evidencia la expresión paisajística apreciable desde esta franja, donde en A) se observa una geoforma de (1) sierra denudada con algunos indicadores de falla (sillas de montar), mientras en la zona posterior (2) se observa parte del Abanico de Mogotes y en (3) se observa otro espolón facetado producto de la actividad tectónica local. En B) se presenta una vista NE donde se destaca (1) una morfología de sierra continua con

desarrollo (poco perceptible por la vegetación) de drenaje subparalelo, mientras (2) evidencia un fuerte control estructural marcado por facetas triangulares por lo cual se le denomina espolón facetado, además, en (3) se alcanza a apreciar la Sierra Nevada del Cocuy.

La componente socioeconómica del LIG relaciona pequeñas actividades de agricultura (principalmente café y maíz) en la zona, que según el EOT (Alcaldía de Mogotes, 2002) está destinada como una zona de protección al pertenecer al sistema de páramos Guantiva-La Rusia. Además, el inventario turístico municipal dado por Jaimes y Vargas (2011) propone la inclusión de esta franja natural para actividades ecoturísticas-agroturísticas, las cuales no se realizan actualmente.

Tabla 20.

Ficha de valoración del LIG M14 (Mirador Alto de los Cacaos).

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M14			
NOMBRE	Mirador Alto de los Cacaos			
COORDENADAS	1° 204.874 N	2568 m.s.n.m		
	1° 131.971 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad ©	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación ©	4	40	20	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	1	10	10	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	4		80	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10

Tamaño del LIG (F)	1		15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	1	5	5
Espectacularidad o belleza (B)	4	20	80
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	2		30
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	1		5
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	0		0
Entorno socioeconómico (ES)	1		10
TOTAL		130	190
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO
			ALTO

Finalmente, en la valoración realizada a este LIG (Tabla 20) se puede observar un alto interés turístico-recreativo y didáctico, siendo este último el principal ya que este lugar actualmente está siendo utilizado en actividades de docencia relacionadas con la geología, más específicamente, la geomorfología ya que allí se puede observar gran variedad de geoformas y sus correspondientes procesos geológicos que les dan origen; además, no sólo tiene potencial para ser usado en actividades didácticas sino también turísticas, debido a la belleza paisajística que este representa. Respecto a su interés científico, este es menor debido a que dicha expresión morfológica no cuenta con estudios investigativos documentados.

5.1.15 M15 – Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos

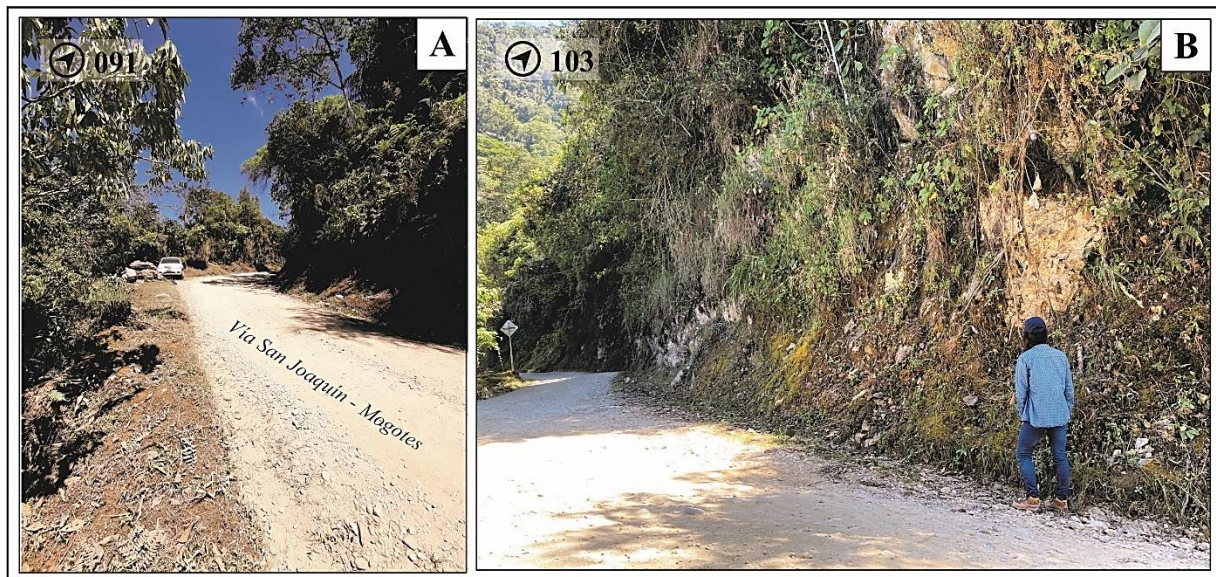
Este Lugar de Interés Geológico se encuentra sobre la Vía Mogotes – San Joaquín tras 7.5 km de recorrido desde el parque principal de Mogotes. En este punto (a una altura aproximada de 1890 msnm) se encuentra este LIG que se extiende por la carretera que bordea la Cuchilla de San Antonio hasta la zona de mirador que se ubica a 2545 msnm.

En el ascenso por esta franja se observan gran variedad de afloramientos, la mayoría de ellos afectados por meteorización biológica (Figura 34), que evidencian la variación litológica entre los miembros descritos por Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018) para la Formación Floresta Metamorfoseada que corresponden a un miembro basal compuesto por rocas metapelíticas

y metasamíticas con evidencia de foliación metamórfica, un miembro medio conformado por rocas de protolito sedimentario con desarrollo de pizarrosidad y textura sedosa y un miembro superior compuesto por lodolitas sin evidencia de metamorfismo. Además, afloran un paquete de rocas metacarbonatadas con evidencia fósil que, según Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018), pertenecen al carbonífero. También, se encuentra otra litología más reciente que corresponde a rocas ígneas con textura porfiritica descritas como la unidad Riolitas del Alto de los Cacaos de edad triásico tardío según Correa-Martínez et al (2018) teniendo en dicho lugar su sección tipo descrita.

Figura 34

Fotografías de afloramientos ubicados en el Alto de los Cacaos (M15)



Nota. A) Fotografía tomada sobre la vía Mogotes – San Joaquín, a la altura de una curva donde se encuentra un afloramiento de rocas metasedimentarias. B) Afloramiento ubicado sobre el margen derecho de la vía, en el que afloran rocas

Estas rocas representan una evidencia importante (en términos de edad de formación, procesos geológicos involucrados, entre otros) para el entendimiento de la evolución del Macizo

de Santander, por tanto, a lo largo del tramo se seleccionaron cinco franjas en las cuales aflora alguna de las litologías mencionadas anteriormente, razón por la cual, aunque pertenecen al mismo LIG, su descripción se realiza de manera independiente pues las litologías son diferentes.

A partir de lo anterior, se reconoce que la disciplina principal de este LIG está relacionada con la Historia de la Geología del dominio geológico involucrado (M.S). Además, el lugar adquiere interés en otras disciplinas como Petrología-Mineralogía, Tectónica (en función de determinar la fuente del metamorfismo), Paleontología (en el caso de las rocas metacalcáreas), entre otros.

Las características socioeconómicas de esta franja son similares a las dadas en el anterior LIG, ya que se encuentran en áreas colindantes.

Tabla 21.

Ficha de valoración del LIG M15 (Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M15			
NOMBRE	Rocas aflorantes en el Alto de Los Cacaos			
COORDENADAS	1' 203.440 N	2230 m.s.n.m		
	1' 130.020 E	Error: ± 4 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	4	120	20	
Carácter localidad tipo (T)	1	10	5	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	2	30		
Estado de conservación (C)	1	10	5	
Condiciones de observación (O)	1	10	5	5
Rareza (A)	2	30	10	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	4		80	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	2			30

Asociación con elementos eco-culturales (NH)	2	10	10
Espectacularidad o belleza (B)	0	0	0
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	1		15
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	0		0
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	0		0
Entorno socioeconómico (ES)	1		10
TOTAL		230	195
GRADO DE INTERÉS		ALTO	ALTO
			MEDIO

Con base en la valoración (Tabla 21) se identifica que el interés principal del LIG es de tipo científico, seguido de una alta componente didáctica relacionada con las actividades de docencia dadas por la Escuela de Geología-UIS; mientras que el interés turístico recibe una muy baja valoración ya que no es potencialmente atractivo para desarrollarse en él actividades recreativas ni turísticas.

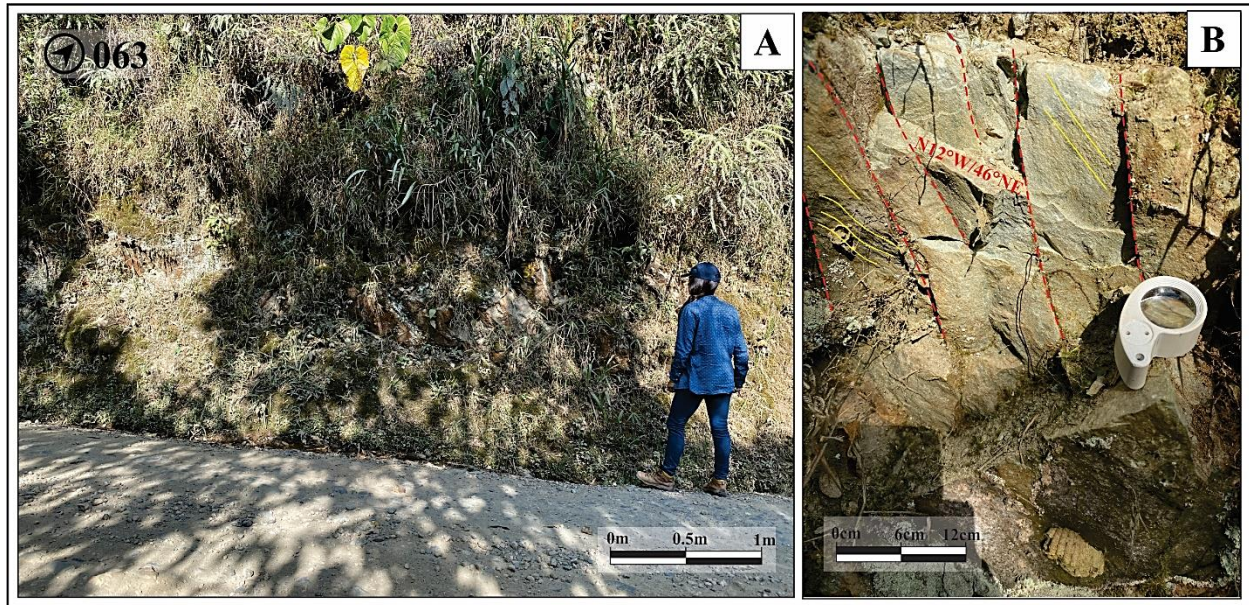
5.1.15.1 M15a - Miembro basal de la Formación Floresta Metamorfoseada en el Alto de los Cacaos (Filitas Cuarzosas). Esta franja está ubicada sobre la vía Mogotes-San Joaquín a 8.2 kilómetros desde el Parque Principal del primer municipio, a la altura de la vereda Cabecera. El recorrido tiene una duración aproximada de 18 minutos.

En esta zona se observa un afloramiento a margen derecho de carretera cuyas dimensiones son 2.5 m de alto y 35 m de ancho (Figura 35), correspondiente a una roca meta sedimentaria descrita como una meta-arenisca (de manera general) o filita cuarcítica de aspecto compacto, sedoso y color gris claro con textura lepidogranoblástica. Esta roca presenta una clara reorientación de sus componentes en dirección NW-SE (Figura 35), y composicionalmente son rocas mayormente cuarzosas, aunque algunas (generalmente, las que alteran a un color rojizo-pardo) pueden tener un mayor contenido de feldespatos. A lo largo del borde de carretera, se pueden observar variaciones composicionales entre filitas psamíticas (que componen la mayoría de la secuencia y, ente las que se incluyen las filitas cuarcíticas), filitas pelíticas y meta-chert. Estas rocas presentan planos de estratificación N12°W/46°NE y hacen parte del miembro basal de la

Formación Floresta Metamorfoseada según Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018), presentando evidencias texturales de esfuerzos dinámicos sobre la roca (Figura 35).

Figura 35

Registro fotográfico del tramo M15a (Filitas cuarzosas)



Nota. A) Fotografía general del afloramiento, en el cual pese al gran desarrollo de vegetación, aun se alcanzan a observar los planos de estratificación del protolito. B) Roca metasedimentaria de protolito pelítico que presenta planos de estratificación (líneas discontinuas rojas) $N12^{\circ}W/46^{\circ}SE$ y foliación tectónica en la dirección señalada (líneas amarillas continuas).

En esta franja, la disciplina geológica principal es de tipo histórico (al igual que el LIG al que pertenece), pues allí se encuentran evidencias geológicas particulares que permiten entender los procesos geotectónicos sufridos en el Macizo de Santander, además de que dicho miembro ha sido objeto de dataciones absolutas que permiten clarificar el modelo evolutivo del dominio geológico anteriormente mencionado.

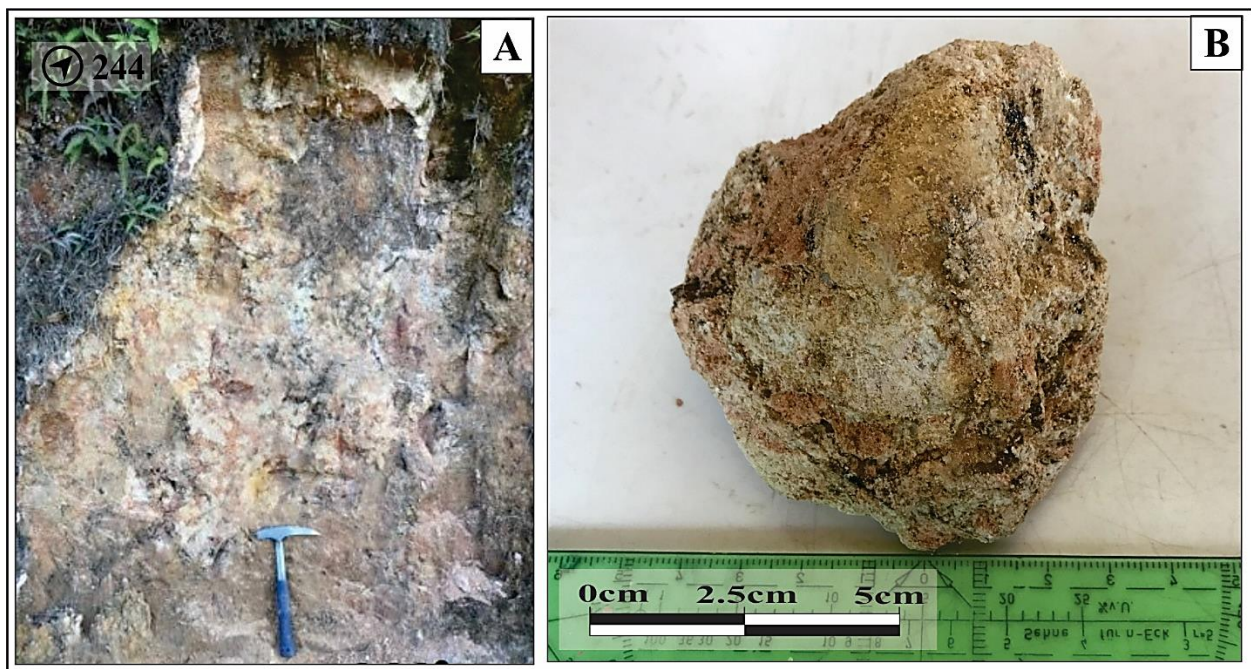
5.1.15.2 M15b - Riolita del Alto de Los Cacaos. Esta sección de roca aflora ocasionalmente a lo largo de la vía Mogotes-San Joaquín en el recorrido sobre el Alto de Los

Cacaos, sin embargo, la franja descrita se ubica a 9.1 kilómetros del Parque Principal del primer municipio, en un recorrido de aproximadamente 20 minutos.

La litología observada corresponde a una roca ígnea subvolcánica de coloración rosa-amarillenta que presenta una textura porfíritica enmarcada por cristales de cuarzo bipiramidal embebidos en una matriz feldespática (feldespato potásico y plagioclasa en proporciones similares) altamente alterada a caolín. Además, las rocas presentan pequeñas vetillas de color negro (Figura 36), posiblemente biotita que también ha sufrido procesos de alteración supérgena, por este último motivo, la mayoría de los afloramientos se conservan a manera de saprolito, sin embargo, en algunas franjas se puede observar la estructura y mineralogía de la roca. Composicionalmente, estas rocas han sido clasificadas como Riolitas y la unidad a la que corresponden fue ampliamente descrita por Correa-Martínez et al (2018) siendo denominada Riolitas del Alto de Los Cacaos.

Figura 36

Fotografías del afloramiento y muestra de mano del tramo M15b (Riolitas)



Nota. A) Fotografía general del afloramiento ubicado sobre la vía Mogotes- San Joaquín, margen derecho, el cual se encuentra saprolitizado. B) Muestra de mano de roca ígnea con textura porfírica, en la cual se observan pequeñas vetillas de color negro.

Esta franja adquiere un alto valor respecto a la historia de la geología en el ámbito regional y el dominio geológico dado (Macizo de Santander), pues ha sido diferenciada cartográficamente del Batolito de Mogotes (Ward et al., 1973) debido a las variaciones composicionales y cronológicas entre estas litologías, por tanto, puede generar un aporte al modelo geo-dinámico que formó estas rocas y al entendimiento de la secuencia de eventos magmáticos ocurridos durante el jura-triásico. Además, estas rocas pueden adquirir un valor petrológico-mineralógico debido a las variaciones descritas por Correa-Martínez et al (2018) halladas en el área de influencia.

5.1.15.3 M15c - Miembro medio de la Formación Floresta Metamorfoseada en el Alto de los Cacaos (Pizarras). Este lugar se encuentra sobre la vía Mogotes- San Joaquín, a la altura de la vereda Cabecera, aproximadamente a 10.7 km y 25 minutos partiendo del parque principal de Mogotes.

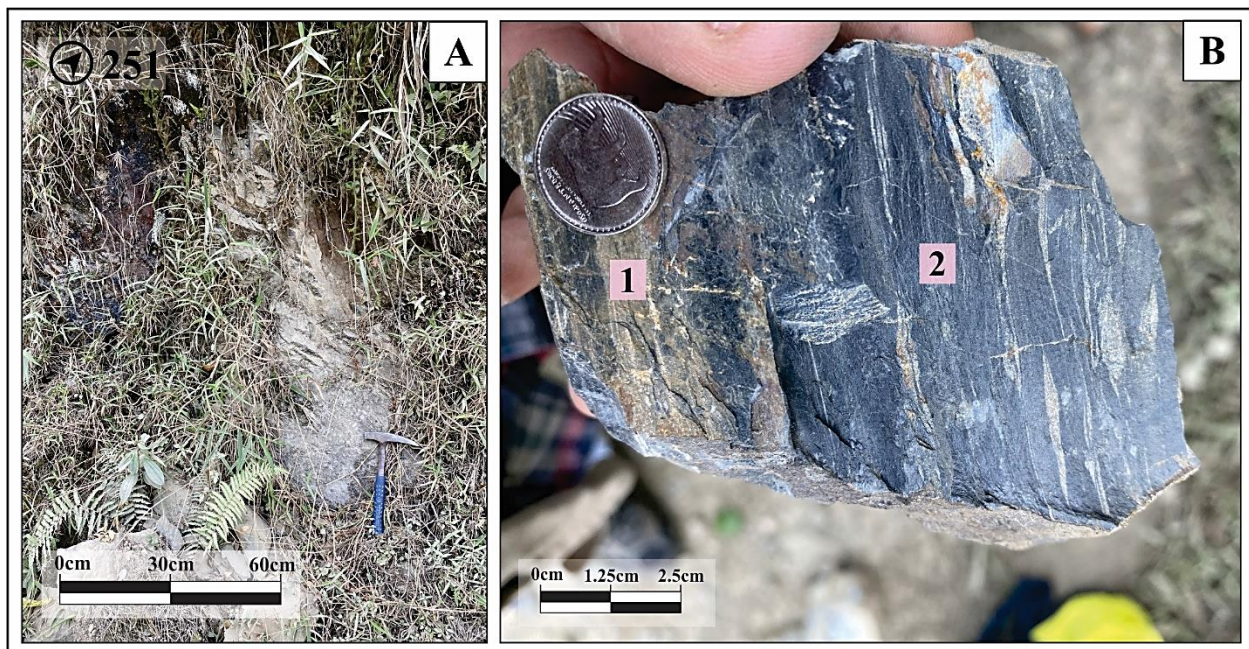
En la zona de interés se encuentra un afloramiento de aproximadamente 2.5 m de alto y 30 m de ancho, cubierto en su mayoría por vegetación. En este, afloran rocas meta sedimentarias de aspecto sedoso y color negro, de textura lepidogranoblástica que composicionalmente son identificadas como rocas de protolito pelítico (es decir, cuarzo-micáceas) con estructuras sedimentarias relicticas como laminación plano-paralela y, en ocasiones, lenticular. Texturalmente, el protolito podría corresponder a areniscas de grano fino y algunos niveles menores de lodolitas. Además, estas rocas presentan foliación metamórfica muy leve evidenciada en planos de pizarrosidad (Figura 37), por ello, se clasifica como una pizarra de protolito pelítico. La evidencia de minerales metamórficos neoformados es poca, sin embargo, en algunas franjas se observa clorita (en pequeñas venillas) posiblemente relacionada a eventos hidrotermales en la zona

(Mantilla-Figueroa, 2018, conversación personal). Estas rocas presentan planos de estratificación N28°E/35°NW y pizarrosidad N29°E/90°.

Esta litología hace parte del miembro medio de la Formación Floresta Metamorfoseada la cual, según Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018) se presume sufrió un evento de metamorfismo local de carácter dinamo-térmico.

Figura 37

Fotografías del afloramiento y muestra de mano del tramo M15c (Pizarras)



Nota. A) Fotografía general del afloramiento constituido por rocas del miembro medio de la Fm Floresta Metamorfoseada, el cual se encuentra en su mayoría cubierto por vegetación tipo musgos. B) Muestra de mano de roca metasedimentaria que presenta (1) bandas blancas elongadas, posiblemente asociadas a la mineralogía del protolito y (2) estructuras de pizarrosidad.

Esta franja comparte la disciplina geológica del LIG al que pertenece (Historia de la Geología), pues afloran estas rocas de la Unidad Floresta Metamorfoseada que son clave en el

entendimiento de la evolución del Macizo de Santander y que, según Ward et al (1973) son poco abundantes respecto a afloramientos de roca haciendo difícil su caracterización.

5.1.15.4 M15d - Rocas Metasedimentarias del Alto de Los Cacaos. Este afloramiento de interés se ubica a aproximadamente 11.65 km por la vía que conduce entre Mogotes y San Joaquín, a la altura de la vereda Cabecera, en un recorrido de 28 minutos.

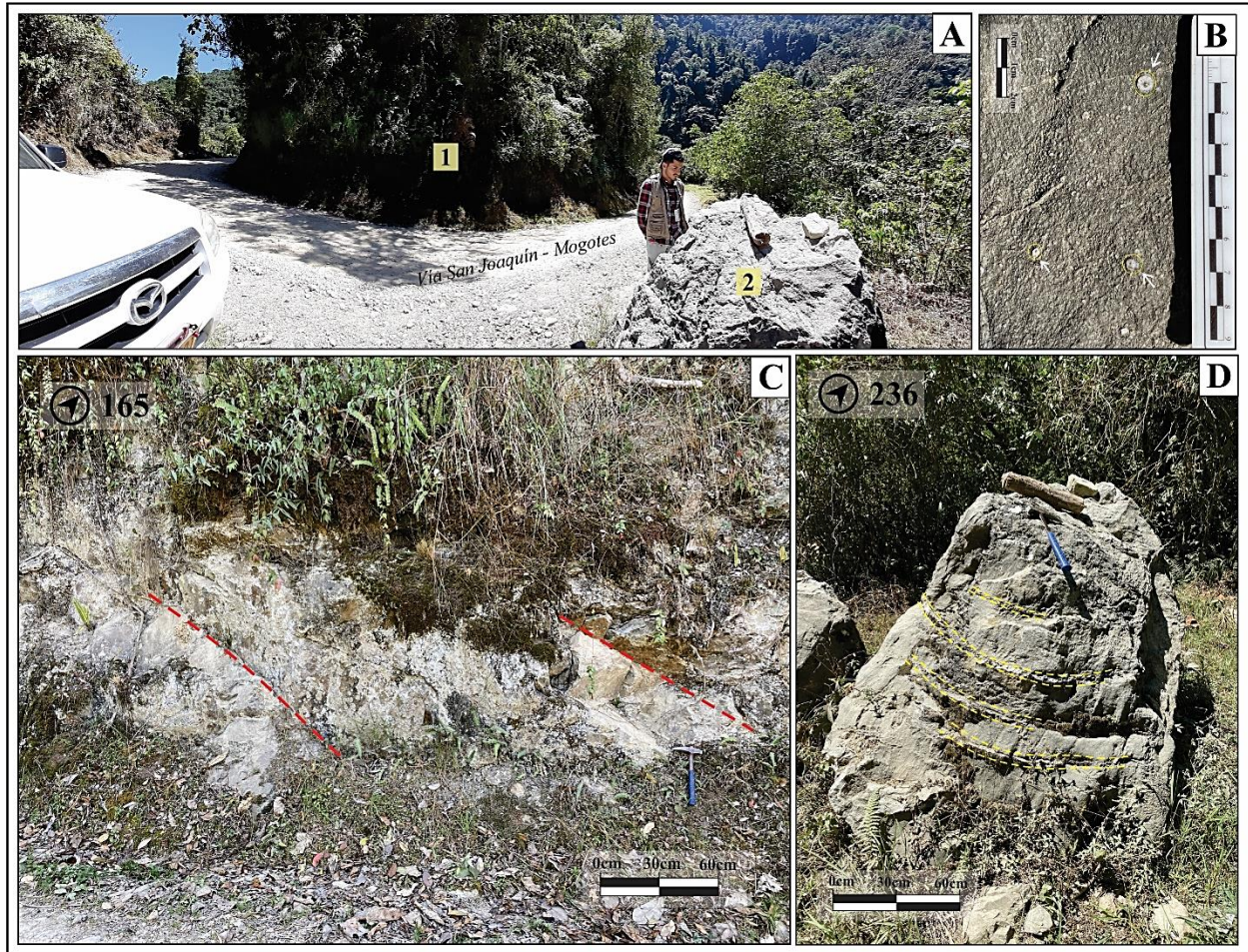
A margen derecho de carretera se observa un afloramiento de roca de 10 metros de alto y 40 metros de ancho con presencia de rocas meta sedimentarias que aún conservan sus planos de estratificación, de composición variable entre metapelitas carbonatadas de color gris claro que, por efectos de la meteorización, evidencia colores anaranjados-marrones y algunas veces gris-verdoso (Figura 38). Además, se observan bloques caídos de roca metacaliza con registro fósil de crinoideos (apoyados en Mantilla y León, comunicación personal, 2018) que presentan venas de cuarzo con grosores entre 1-2 cm orientadas de manera paralela, también se observan minerales como pirolusita, pirita, calcopirita y epidota (Figura 38).

La unidad litológica descrita corresponde a rocas sedimentarias predominantemente calcáreas de edad carbonífero, en el sentido de Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018), reconociendo que allí se describen los procesos hidrotermales que pudieron afectar dicha roca presumiendo la posibilidad de este metamorfismo.

Aunque el LIG tiene como disciplina principal el tipo histórico-evolutivo, en esta franja pueden detallarse otros tipos de disciplinas como Petrográfico-Mineralógico debido a los tipos de roca allí encontrados en relación al ambiente geológico que provocó el metamorfismo. Además, las rocas metacalizas podrían adquirir un interés paleontológico relacionado con la fauna presente y su posible contribución para el reconocimiento de la edad del protolito de la roca.

Figura 38

Registro fotográfico del tramo M15d (Rocas metasedimentarias carboníferas)



Nota. A) Fotografía panorámica de la franja M15d, donde se observa sobre una curva de la vía Mogotes – San Joaquín (1) el afloramiento in situ ubicado al borde derecho y (2) bloques rodados de roca metacaliza ubicados al margen izquierdo de la misma, los cuales presentan (B) evidencia fósil asociada a fauna del Carbonífero y (D) procesos hidrotermales asociados a la aparición de sulfuros y venas de cuarzo paralelas (líneas discontinuas amarillas). C) Fotografía del afloramiento de roca que conserva los planos de estratificación del protolito pelítico (líneas discontinuas rojas).

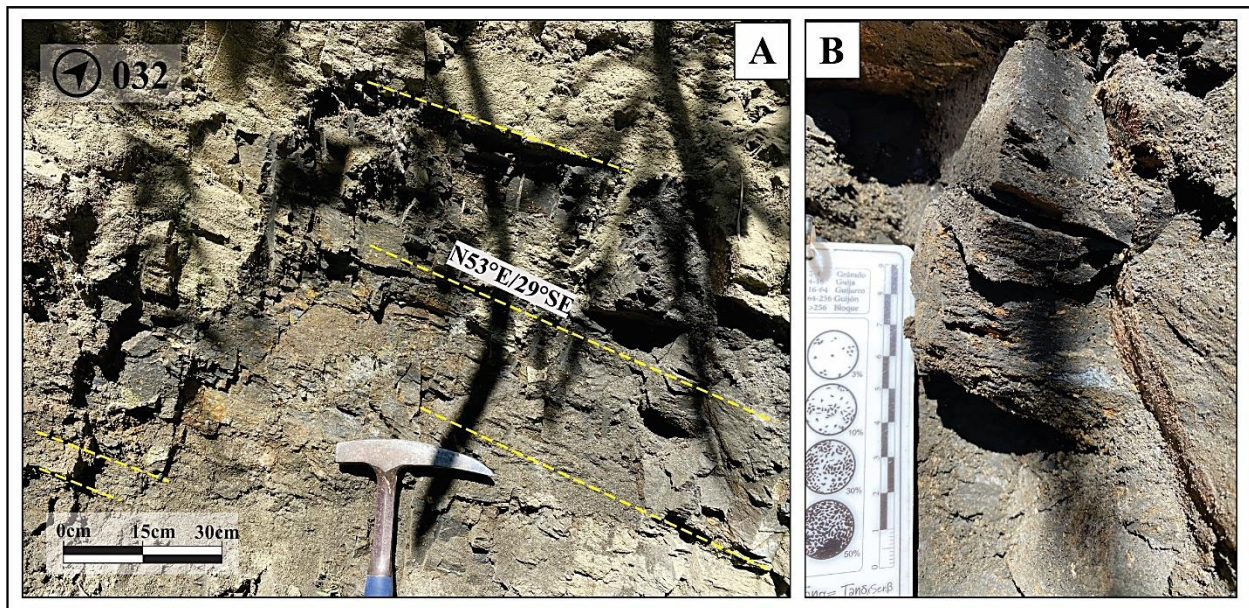
5.1.15.5 M15e – Rocas sedimentarias lodolíticas del pérmico. Este afloramiento particular se ubica sobre la vía Mogotes-San Joaquín, partiendo desde el parque principal de

Mogotes en un recorrido de 12.1 km hasta llegar a la franja de estudio. Este recorrido tiene una duración aproximada de 30 minutos en vehículo y se ubica a la altura de la vereda Cabecera.

Litológicamente, en esta franja se observa un paquete de rocas sedimentarias dispuestas en estratos cuyos planos de estratificación se evidencian en la Figura 39, que texturalmente corresponden a lodolitas (principalmente limolitas) no fisiles, de color negro que refleja el alto contenido de materia orgánica y con una estructura de laminación plano-paralela. Además del material orgánico, estas rocas presentan el desarrollo de porosidad secundaria a partir de la lixiviación de, posiblemente, algunos fósiles o fragmentos de los mismos identificado a partir de su estructura.

Figura 39

Registro fotográfico del tramo M15e (Rocas sedimentarias lodolíticas)



Nota. A) Fotografía de afloramiento de roca con planos de estratificación N53°E/29°SE. (líneas discontinuas amarillas)

B) Estructura de la roca, compuesta por capas de lodolita rica en materia orgánica con evidencias de lixiviación fósil.

De manera diferencial, estas rocas no conservan evidencias de metamorfismo, razón por la cual se diferencia de la Formación Floresta Metamorfoseada y de la unidad de Rocas Metacalcáreas carboníferas aflorante en la zona.

También, en algunos sectores de la carretera, la roca se encuentra cortada por cuerpos ígneos de composición riolítica que, a pesar de su grado de alteración, conserva sus cristales de cuarzo bipiramidales en medio de una matriz feldespática caolinitizada. Estos cuerpos hacen parte de la unidad litoestratigráfica Riolitas del Alto de los Cacaos (Figura 36).

Teniendo en cuenta que se encuentran este tipo de rocas sin evidencia de metamorfismo, se reconoce que la disciplina geológica principal es de tipo Histórica, pues la investigación y análisis de dicha litología en relación con los otros miembros descritos de la Unidad Floresta Metamorfoseada puede aportar al entendimiento de los procesos de metamorfismo ocurridos en la franja en relación al ambiente geodinámico de la misma

5.1.16 M16 - Saprolito de rocas diabásicas del Macizo de Santander

Este lugar de interés se ubica en la vereda Guayaguata, para llegar a él se conduce por la vía que comunica el casco urbano de Mogotes con la vereda Guare, tomando el desvío que se dirige hacia la Vereda Santa Barbara por aproximadamente 200 metros. La duración aproximada del recorrido es de 14-16 minutos.

En la franja se encuentra un afloramiento de roca continuo sobre el margen de la vía, cuyas dimensiones son 3 m de alto y 5 m de ancho, que litológicamente corresponde a cuerpos de roca ígnea con variaciones composicionales y texturales (Figura 40) entre los que se encuentran:

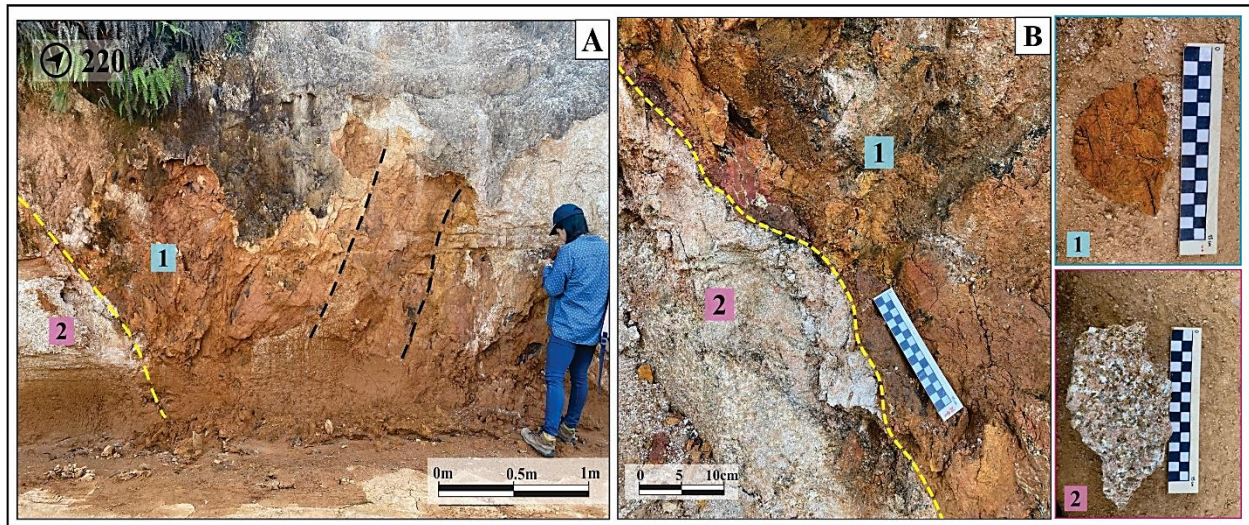
- Rocas félsicas con textura fanerítica y aspecto moteado compuesta por cristales de grano medio de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa en proporciones similares y un menor contenido de mica biotita, razón por la cual se clasifica en campo como Monzogranito.

Localmente, esta roca presenta un alto desarrollo de saprolito, sin embargo, aún se conserva la apariencia mineral.

- Rocas básicas con textura y composición mineral no identificable debido al alto desarrollo de saprolito, que genera unas tonalidades anaranjadas oscuras en la roca. Sin embargo, se observan relaciones de contacto intrusivo entre esta litología y las rocas félsicas antes mencionadas. Además, las rocas presentan vetillas de alteración, mayormente paralelas entre sí y continuas por aproximadamente 1 metro cuya mineralogía tampoco es posible identificar. Estas rocas se clasifican como Diabasas o Micro-gabros. (Mantilla-Figueroa y García-Ramírez (2018).

Figura 40

Registro fotográfico del LIG M16 (Saprolito de rocas diabásicas)



Nota. A) Fotografía de afloramiento de roca donde se distinguen 2 litologías: (1) roca básica altamente saprolitizada con presencia de venillas de alteración hidrotermal (líneas discontinuas negras) y (2) roca ígnea fanerítica que pertenece al Batolito de Mogotes. B) Contacto intrusivo (línea discontinua amarilla) entre dichas litologías y sus correspondientes muestras de mano.

La ocurrencia de estas litologías básicas mesozoicas no es común en el Macizo de Santander (Moreno-Sánchez et al., 2016), razón por la cual, la disciplina geológica de interés en

esta zona recae en la historia de la geología (regional) en función de caracterizar a profundidad dicha roca para identificar los ambientes geo-dinámicos que la formaron relacionado con la historia evolutiva del Macizo de Santander.

Entre las características socioeconómicas del LIG, esta franja se ubica en una zona de cultivos con mosaicos naturales, lo cual indica que el aprovechamiento del suelo es dado en actividades de agricultura y, en mayor medida, la cosecha de caña panelera, café y maíz (Alcaldía de Mogotes, 2002). Además, se aclara que en la zona no se adelantan actividades turístico-recreativas ni se encuentran contempladas en un mediano-largo plazo (según lo reportado por la empresa Turismo Mogotano durante la visita).

Tabla 22.

Ficha de valoración del LIG M16 (Saprolito de Diabasas)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M16			
NOMBRE	Saprolito de Diabasas			
COORDENADAS	1' 206.246 N	1779 m.s.n.m		
	1' 122.109 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	1	10	5	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	2	30		
Estado de conservación (C)	0	0	0	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	1	15	5	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	4		80	
Infraestructura logística (IL)	4		60	20
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	0		0	0
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	1			15

Potencialidad para realizar actividades (PTR)	0		0
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2		10
Entorno socioeconómico (ES)	1		10
TOTAL		155	220
GRADO DE INTERÉS		ALTO	MEDIO

Para este caso particular, la valoración (Tabla 22) indica que el interés principal es de tipo didáctico pues su uso actual, relacionado con actividades de campo por parte de la Escuela de Geología-UIS, sumado a la cercanía al casco urbano, atribuyen un alto valor en dicha componente. Sin embargo, el interés científico obtiene una valoración cercana pues representa procesos geológicos poco comunes (en este caso, la formación de rocas básicas mesozoicas en el Macizo de Santander) bajo una evidencia medianamente representativa.

5.1.17 M17 - Parque Arqueológico

De manera inicial, se aclara que el nombre de “Parque Arqueológico” corresponde al nombre dado por la comunidad local, sin embargo, esta zona no comprende ningún registro arqueológico documentado o evidenciado hasta ahora, razón por la cual se propone el cambio de nombre a “Exposición geológica de la Formación Tablazo”.

El acceso a este LIG se da por la vía que comunica al casco urbano de Mogotes con la vereda el Hoyo, tomando el desvío hacia la vereda Margajita, continuando el camino hasta el siguiente desvío a mano derecha por aproximadamente 500 metros hasta llegar a la Finca El Caracol. Este trayecto tarda aproximadamente 25 minutos en automóvil pues se recorre una distancia medida de 7.2 km desde el casco urbano.

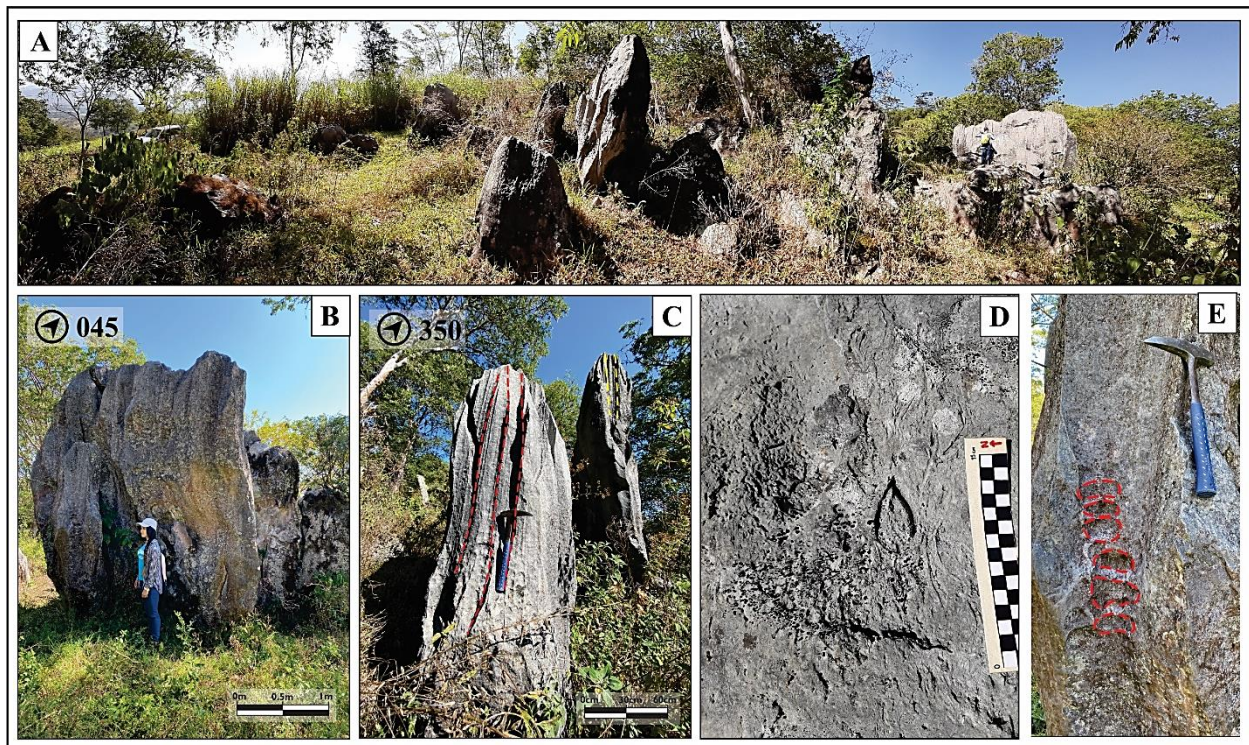
En la zona se observan grandes bloques de roca, que van entre los 0.5 - 4 metros de alto (Figura 41), constituidos por roca sedimentaria calcárea bioclástica de color gris claro con fragmentos fósiles recristalizados correspondientes a bivalvos con conchas esparitizadas y

desarticuladas en su mayoría (Figura 41). La roca se clasifica en campo como un *Wackestone* correspondiente a la Formación Tablazo según la propuesta de Pulido (1985).

Además, las rocas que allí afloran presentan evidencias morfológicas de procesos de disolución de tipo karren formando oquedades y estructuras de lapiaces que evidencian surcos de erosión sobre las rocas (se conoce como textura lenar) y algunas franjas hendidas asociadas a pequeñas dolinas, de alrededor de 7 metros de diámetro, cubiertas por el material vegetal de la zona (Figura 41). Además, se observa una influencia estructural provocada por la acción de la Falla de Ocamonte en razón del amplio diaclasamiento de la roca (en dirección NE-SW) y la recristalización de fracturas en la roca.

Figura 41

Registro fotográfico a diferentes escalas del LIG M17 (Parque Arqueológico)



Nota. A) Fotografía panorámica del LIG donde se observan algunos bloques. B) Bloque grande de roca con formas características producto de la erosión. C) Bloque en el que se observa desarrollo de textura lenar (líneas discontinuas rojas) de grandes dimensiones. D) Superficie rocosa de tipo wackestone, en la que se observa fósiles de bivalvos articulados y desarticulados. E) Bloque de roca en la que se observan pequeñas oquedades producto de disolución.

A partir de esto, se atribuye la geomorfología como disciplina geológica principal en este lugar, en función de las componentes observadas que sufren los efectos de la disolución dada por factores eólicos y de precipitación (lluvia). Además, se resalta el potencial interés paleontológico que puede determinarse en estas rocas si se realiza una caracterización a escala macro-microscópica del contenido fósil, para determinar características faciales particulares y ambientes de formación de dichas litologías.

La caracterización socioeconómica del área permite definir que en el área de influencia del LIG se realizan actividades económicas agroforestales específicamente silvoagrícolas, asociadas a cultivos de caña panelera, café, maíz, frijol, yuca, entre otros. Además, la producción de fique lleva a los campesinos locales a desarrollar empaques artesanales y sombreros (Consortio EOT Mogotes, 2018). En el aspecto turístico, esta franja es reconocida en el Esquema de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de Mogotes, 2002), como un lugar potencial de actividades turísticas, sin embargo, actualmente no se encuentra adaptado y/o adecuado para tal fin.

Finalmente, la valoración realizada (Tabla 23) permite reconocer que el interés didáctico corresponde al valor principal, ya que en este lugar se pueden identificar de forma clara e ilustrativa fenómenos geológicos (en este caso, asociados a la morfología de disolución) y, además, involucra varios tipos de disciplinas geológicas (sedimentación, paleontología, geomorfología y desarrollo del karst). Seguido a este, se reconoce un alto interés turístico debido a la posibilidad de observar en él minerales carbonatados y/o fósiles que junto a las formas peculiares que han adquirido los

bloques de roca, lo convierten en un lugar muy atractivo para el público en general. Por su parte, el interés científico es medio ya que no hay investigaciones científicas en la zona debido a su no singularidad.

Tabla 23.

Ficha de valoración del LIG M17 (Parque arqueológico)

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M17			
NOMBRE	Parque Arqueológico			
COORDENADAS	1' 210.320 N	1768 m.s.n.m		
	1' 117.810 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	2	20	10	10
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	2	20	20	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	2		40	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	0		0	0
Tamaño del LIG (F)	1			15
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	2		10	40
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	1			15
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	1			5
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	2			10
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		120	150	145
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO	ALTO

5.1.18 M18 - Zona minera La Aguada, La Isla

Este lugar de interés se ubica sobre la vía que comunica el casco urbano de Mogotes y la vereda Cuchiquira. El recorrido consta de 6.1 kilómetros desde el parque principal del municipio y tiene una duración aproximada de 23 minutos en vehículo.

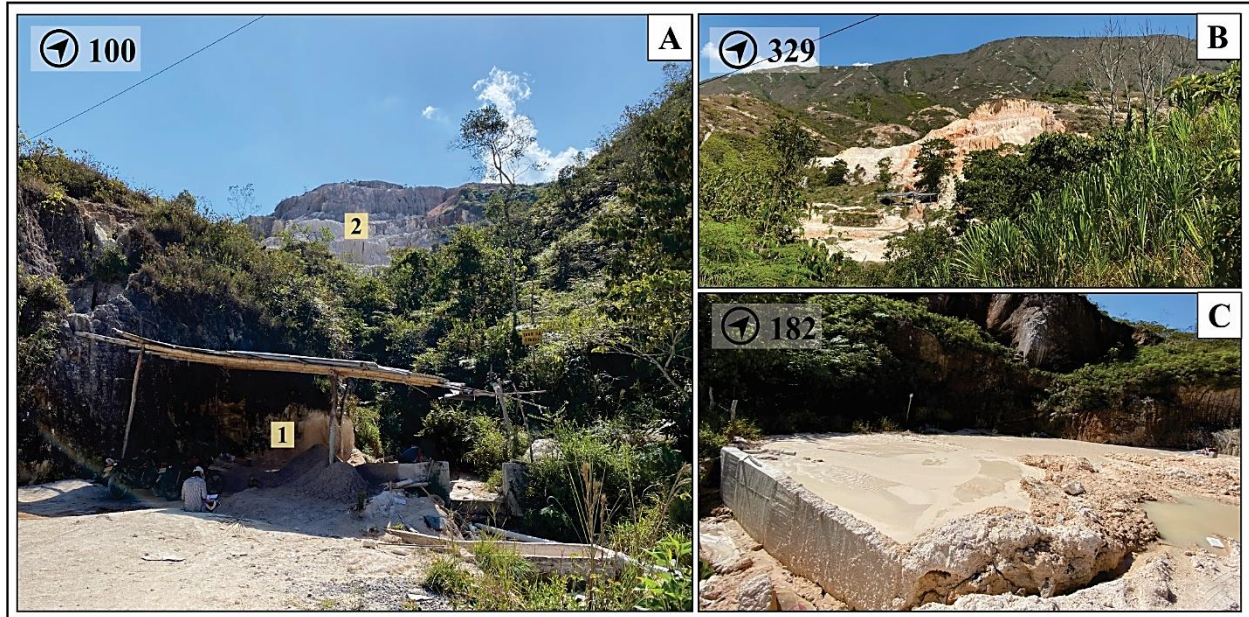
En la franja se observa una explotación minera de aproximadamente 128 hectáreas, constituida por varios títulos mineros; uno de ellos, y en este caso el lugar de referencia, es la mina La Aguada (Figura 42) en la cual se calcula una recolección diaria de material cercana a las 35 toneladas.

En esta zona se realiza una extracción a cielo abierto del material del talud de roca, mediante la técnica conocida popularmente como el lavado de peña (Figura 42). En la zona en general, afloran rocas ígneas félsicas leucocráticas que corresponden al Batolito de Mogotes, destacando que dicha litología se encuentra altamente meteorizada provocando la destrucción de la estructura mineral de la roca y generando un saprolito constituido por material arenoso rico en sílice, el cual es utilizado en construcción. Este lugar constituye la única zona minera del municipio avalada por las autoridades minero-ambiental.

La disciplina geológica destacada en esta zona es de tipo minero-metalogenético, en función de las actividades de explotación que se llevan a cabo allí, teniendo en cuenta que son posibles gracias a la ocurrencia de dicha unidad litoestratigráfica sumada a los procesos naturales de meteorización y erosión.

Figura 42

Registro fotográfico de la zona minera correspondiente al LIG M18



Nota. A) Fotografía general de la zona donde (1) corresponde a la zona de recolección de material que cae aguas-abajo desde (2) la roca ubicada en zonas topográficamente más altas, mediante la técnica de lavado de peña. B) Terrazas realizadas para la explotación del material utilizado en construcción. C) Piscina de sedimentación donde acumulan el material arenoso mezclado con agua.

Las características socioeconómicas de este LIG reflejan que la actividad productiva en este sector corresponde a las actividades mineras que allí se adelantan, presentando la coexistencia de 12 títulos mineros a lo largo del municipio distribuidos en tres franjas distintas, una en el sector noroccidental a la altura de la vereda Vegas, la segunda ubicada sobre la vereda Cabecera y, finalmente, la involucrada en este LIG a la altura de la vereda Cuchiquira (Consortio EOT Mogotes, 2018), la cual alberga la mayoría de estos títulos. Además, el precio de venta de dicho material en el punto de extracción es de 8000 COP por metro cúbico de material (Alcaldía de Mogotes, 2002)

Tabla 24.*Ficha de valoración del LIG M18 (Zona minera la Aguada - la Isla)*

INFORMACIÓN DEL LIG				
CÓDIGO	M18			
NOMBRE	Zona Minera La Aguada - La Isla			
COORDENADAS	1' 211.667 N	2158 m.s.n.m		
	1' 125.184 E	Error: ± 3 m		
PARÁMETROS	PUNTOS	VALORES		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
Representatividad (R)	2	60	10	
Carácter localidad tipo (T)	0	0	0	
Grado de conocimiento científico del lugar (K)	0	0		
Estado de conservación (C)	2	20	10	
Condiciones de observación (O)	4	40	20	20
Rareza (A)	0	0	0	
Diversidad geológica (D)	0	0	0	
Contenido didáctico/ uso didáctico (CDD)	1		20	
Infraestructura logística (IL)	2		30	10
Densidad de población (DP)	2		10	10
Accesibilidad (Ac)	1		15	10
Tamaño del LIG (F)	2			30
Asociación con elementos eco-culturales (NH)	4		20	20
Espectacularidad o belleza (B)	0		0	0
Contenido divulgativo/uso divulgativo (CDV)	1			15
Potencialidad para realizar actividades (PTR)	0			0
Cercanía a zonas recreativas (ZR)	1			5
Entorno socioeconómico (ES)	1			10
TOTAL		120	135	130
GRADO DE INTERÉS		MEDIO	ALTO	MEDIO

Teniendo en cuenta la valoración (Tabla 24), se identifica que el interés principal es de tipo didáctico pues la franja evidencia los procesos naturales-geológicos ocurridos para que la

explotación sea posible, además, su potencial uso podría estar relacionado con actividades educativas en el marco local y/o regional.

Sintetizando los resultados mencionados anteriormente, se presenta la Tabla 25 que evidencia la valoración asignada a cada Lugar de Interés Geológico en los 3 intereses/usuarios.

Tabla 25.

Listado de los LIG seleccionados con su código, nombre e interés/uso evaluado.

CÓDIGO	NOMBRE DEL LIG	INTERÉS / USO		
		Científico	Didáctico	Turístico/ Recreativo
M01	Pozo del Oso	110	110	200
M02	Pozo La Esmeralda	110	120	210
M03	Pozo Negro	140	140	210
M04	Pozo del Minero	90	115	160
M05	Sistema de cascadas el Pino	130	135	230
M06	Cascada del Resumidero	110	110	205
M07	Cascadas Peña Blanca	110	125	215
M08	Cascada El Avional	140	140	210
M09	Cañón del Río Mogoticos	165	150	300
M10	Cueva Rica	125	125	150
M11	Cueva del Resumidero	100	110	170
M12	Hoyo de los pájaros	230	175	265
M13	Mirador de San José	120	225	195
M14	Mirador Alto de los Cacaos	130	190	185
M15	Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos	230	195	90
M16	Saprolito de Diabasas	155	220	110
M17	Parque Arqueológico	120	150	145
M18	Zona minera La Aguada - La Isla	120	135	130

Nota. Los grados de interés están distribuidos de la siguiente manera: muy alto: $I \geq 267$; Alto: $134 \leq I < 267$; Medio: $67 \leq I < 134$; bajo: $I < 67$.

5.2 Cartografía de los LIG propuestos

El mapeo de la distribución espacial de los LIG dados se presenta en los Apéndices 8-25, resaltando que tres lugares de interés geológico se representaron junto a la base cartográfica debido a que su disposición supera los 0.5 kilómetros cuadrados, mientras el restante (15 LIG) se

presentan sobre la imagen satelital del área, destacando las vías de acceso y/o puntos de referencia más cercanos.

5.3 Valoración de la Susceptibilidad de Degradación (SD) de los LIG

El cálculo de este criterio para cada LIG requiere la valoración independiente de dos componentes: la Fragilidad (F) y la vulnerabilidad por amenazas antrópicas (V), cálculos que han sido detallados en el apéndice 26 y 27, respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26.

Valoración de la susceptibilidad de degradación (SD) para cada LIG.

CÓD	LIG	F	V	TOTAL SD	GRADO SD
M04	Pozo del Minero	160	285	114	Alta
M18	Zona minera La Aguada - La Isla	160	220	88	Media - alta
M07	Cascadas Peña Blanca	140	215	75.25	Media - alta
M01	Pozo del Oso	140	210	73.5	Media - alta
M13	Mirador de San José	140	195	68.25	Media - alta
M15	Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos	130	205	66.63	Media - alta
M06	Cascada del Resumidero	200	130	65	Media - alta
M09	Cañón del Río Mogoticos	120	215	64.5	Media - alta
M16	Saprolito de Diabasas	140	180	63	Media - alta
M14	Mirador Alto de los Cacaos	110	220	60.5	Media - alta
M10	Cueva Rica	200	100	50	Media - baja
M08	Cascada El Avional	140	125	43.75	Media - baja
M17	Parque Arqueológico	140	100	35	Media - baja
M03	Pozo Negro	110	125	34.38	Media - baja
M12	Hoyo de los pájaros	70	150	26.25	Media - baja
M02	Pozo La Esmeralda	140	65	22.75	Media - baja
M11	Cueva del Resumidero	100	70	17.5	Media - baja
M05	Sistema de cascadas el Pino	70	85	14.88	Media - baja

Nota. Los datos están ordenados de mayor a menor puntuación. La susceptibilidad de degradación alta: $SD \geq 109.2$; Media - alta: $54.6 \leq SD < 109.2$; Media - baja: $0 \leq SD < 54.6$ y baja: $SD = 0$.

A partir de los valores expuestos en la Tabla 26, se puede evidenciar que solo 1 (M04 – Pozo del Minero) de los 18 LIG tenidos en cuenta en este proyecto, presenta una susceptibilidad de degradación alta siendo urgente la asignación de una figura de protección específica que se encargue de su recuperación y protección, ya que dicha susceptibilidad se debe principalmente a factores externos como las amenazas antrópicas. Además, otros nueve Lugares de Interés Geológico presentan valores de SD medio-alto (M18, M07, M01, M09, M13, M15, M06, M09, M16 y M14), en los cuales es necesario asignar una figura de protección específica a mediano plazo que se encargue de su conservación. Los 8 LIG restantes (M10, M08, M17, M03, M12, M02, M11 y M05) presentan una susceptibilidad de degradación media-baja y actualmente no requieren una figura de protección, pero podrían requerirla a largo plazo.

5.4 Prioridad de Protección

A partir de la susceptibilidad de degradación (SD) se calcula la prioridad de protección (PP) de cada lugar teniendo en cuenta que éste se evalúa para cada uno de los intereses (científico, didáctico y turístico) y de forma global. Dichos resultados se exponen en la Tabla 27.

Tabla 27.

Valoración de la Prioridad de Protección (PPc, PPd, PPt y PP) para cada LIG.

CÓD	SD	VALOR PPc		VALOR PPd		VALOR PPt		PP
		Ic	PPc	Id	PPd	It	PPt	
M01	73.5	110	5.56	110	5.56	200	18.38*	9.00*
M02	22.75	110	1.72	120	2.05	210	6.27	3.06
M03	34.375	140	4.21	140	4.21	210	9.47	5.73
M04	114	90	5.77	115	9.42*	160	18.24*	10.55*
M05	14.875	130	1.57	135	1.69	230	4.92	2.53
M06	65	110	4.92	110	4.92	205	17.07*	8.15

M07	75.25	110	5.69	125	7.35	215	21.74*	10.58*
M08	43.75	140	5.36	140	5.36	210	12.06	7.29
M09	64.5	165	10.98*	150	9.07*	300	36.28**	16.94**
M10	50	125	4.88	125	4.88	150	7.03	5.56
M11	17.5	100	1.09	110	1.32	170	3.16	1.75
M12	26.25	230	8.68*	175	5.02	265	11.52	8.18
M13	68.25	120	6.14	225	21.59**	195	16.22*	13.82*
M14	60.5	130	6.39	190	13.65*	185	12.94*	10.71*
M15	66.625	230	22.03**	195	15.83*	90	3.37	12.27*
M16	63	155	9.46*	220	19.06**	110	4.76	10.29*
M17	35	120	3.15	150	4.92	145	4.60	4.19
M18	88	120	7.92*	135	10.02*	130	9.30	9.06*

Nota. * grado medio-alto; ** grado alto. Los demás valores son considerados de grado medio-bajo. Ningún LIG es de grado bajo.

La asignación del grado de Prioridad de Protección de cada LIG se realizó teniendo en cuenta el promedio de cada grupo de datos, es decir, el promedio de los valores de PPc, PPd, PPt y PP. Con base en esto se obtuvo los resultados expuestos en la Tabla 27 de la cual se puede deducir:

Para la prioridad de protección científica (PPc) el promedio de los datos es 6.42, los valores por debajo de este pero mayores a cero ($0 < PPc < 6.42$) son considerados de grado medio-bajo; a este grupo pertenecen la mayoría de los LIG tenidos en cuenta, específicamente 13 de los 18 lugares evaluados. Los valores de PPc mayores o iguales a 6.42 pero menores al doble del promedio ($6.42 \leq PPc < 12.84$) son de grado medio – alto; a esta categoría pertenecen 4 LIG (M09, M12, M16 y M18). Finalmente, los valores de PPc superiores a 12.84 son considerados de grado alto perteneciendo a este grupo únicamente el LIG M15 (Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos).

Por otro lado, en la prioridad de protección didáctica (PPd) el promedio de los valores es 8.11, los resultados menores a este pero mayores a cero ($0 < PPd < 8.11$) son considerados de grado medio-bajo; este grupo está conformado por 11 LIG. Los valores de PPd mayores o iguales al promedio pero menores al doble de este ($8.11 \leq PPd < 16.22$) son de grado medio – alto; a esta categoría pertenecen 5 LIG (M04, M09, M14, M15 y M18). Finalmente, los valores de PPd iguales o superiores a 16.22 son considerados de grado alto perteneciendo a este grupo 2 LIG (M13 y M16).

Por su parte, el promedio en la prioridad de protección turística (PPt) es 12.07, los valores menores a este pero mayores a cero ($0 < PPt < 12.07$) son considerados de grado medio-bajo; a este grupo lo conforman 11 LIG. Los valores de PPt que estén entre 12.07 y 24.14 son de grado medio – alto; a este conjunto pertenecen 6 LIG (M01, M04, M06, M07, M13 y M14). Finalmente, los valores de PPt superiores o iguales a 24.14 son considerados de grado alto, en este caso sólo un LIG (M09 – Cañón del Río Mogoticos).

Para la prioridad de protección global (PP) el promedio de los valores dados es 8.32, los resultados menores a este pero mayores a cero ($0 < PP < 8.32$) son considerados de grado medio-bajo; a este grupo pertenecen la mitad de los LIG tenidos en cuenta en este proyecto. Los valores de PP mayores o iguales a 8.32 pero menores al doble del promedio ($8.32 \leq PP < 16.63$) son de grado medio – alto; a esta categoría pertenecen 8 LIG. Finalmente, los valores de PP superiores o iguales a 16.63 son considerados de grado alto perteneciendo a este grupo únicamente el LIG M09 (Cañón del Río Mogoticos).

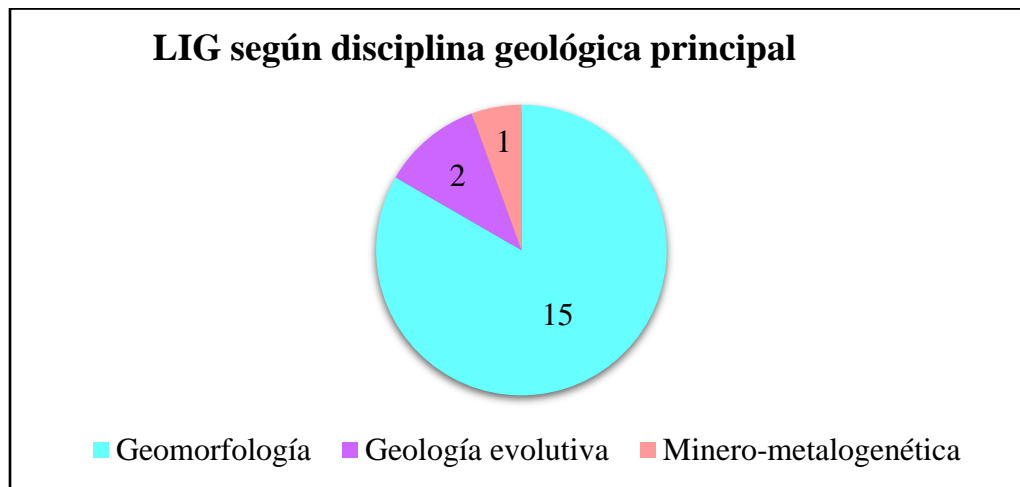
6 Discusiones

6.1 Disciplina geológica principal de cada LIG

Se puede afirmar que la disciplina geológica predominante en el conjunto de los LIG tenidos en cuenta en este proyecto, tal como se puede observar en la Figura 43, es la geomorfología; siendo esta la categoría principal en la mayoría de ellos (15 de los 18 LIG), en los cuales se observa el desarrollo de procesos y estructuras características de dos ambientes geomorfológicos principales: un ambiente kárstico evidenciado en la formación de estructuras como cuevas, dolinas, úvalas, lapiazes, entre otras; y un segundo ambiente fluvial relacionado con procesos denudacionales como es el caso del cañón, los pozos y cascadas.

Figura 43.

Disciplina geológica principal de los LIG



Además, otros 2 Lugares de Interés Geológico (M15 y M16) evidencian interés desde la geología evolutiva pues allí afloran formaciones geológicas que, debido a sus características intrínsecas, aportan a la comprensión de la formación y evolución del Macizo de Santander. El

LIG restante (M18) está asociado con la disciplina minero-metalogenética pues allí se adelantan procesos de extracción de material mineral.

6.2 Interpretación de la valoración de los LIG

6.2.1 Valoración de la Potencialidad de Uso de los LIG

A partir del cálculo de la valoración de cada LIG respecto a su potencialidad de uso (Tabla 26), se puede establecer el interés principal de cada uno y con base en ello, agruparlos en tres grandes conjuntos: científico, didáctico y/o turístico-recreativo. Tal como se muestra en la Tabla 29, únicamente uno de los 18 Lugares de Interés Geológico (M15) tiene como interés principal el científico, debido a que corresponde a una zona que ha sido objeto de investigaciones y estudios geológicos de relevancia nacional por la importancia que tiene para el entendimiento de la formación y evolución del dominio geológico donde se encuentra ubicado (Macizo de Santander); además, presenta la sección tipo de una unidad litoestratigráfica (Riolita del Alto de los Cacaos).

Respecto al interés didáctico (Tabla 29), se reconocen cinco LIG (M13, M14, M16, M17, M18) en los cuales este es su interés principal, pues algunos de estos lugares están siendo son utilizados en actividades de docencia dentro del marco de la asignatura campo II-geología UIS (como es el caso de M13, M14 y M16) y los demás, aunque actualmente no son utilizados en dichas actividades, tienen gran potencial para ello ya que representan diversas categorías geológicas o ejemplifican de forma clara algún proceso geológico (como M18 y el proceso de extracción minera que allí se realiza).

Finalmente, el interés turístico comprende la mayor cantidad de los LIG (12 de los 18) (Tabla 29) pues para su valoración no se tienen en cuenta las propiedades intrínsecas del lugar sino parámetros asociados a su uso potencial y la mayoría de estos lugares presentan características que

resultan atractivas para el público en general, favoreciendo la implementación de actividades turísticas y/o recreativas, como ocurre en la mayoría de los pozos y zonas de cascadas en los cuales ya existen actividades turísticas organizadas. Además, otro de los parámetros tenidos en cuenta en la valoración de dicho interés es la asociación con elementos eco-culturales; en este aspecto, la Alcaldía de Mogotes (2002) reconoce varios elementos eco-culturales en la zona como lo es Piedra del Muerto, Parque los Arrayanales, Hoyo de los Pájaros, Río Mogoticos, entre otros, los cuales debido a su cercanía a los LIG en cuestión, le otorgan un mayor valor turístico. Por lo anterior, en el municipio podrían destacarse algunos corredores geo-turísticos como los propuestos en la Figura 43, los cuales agrupan a los LIG que presentan gran interés turístico según su cercanía. Esta actividad puede representar una alternativa para el desarrollo económico del municipio.

Tabla 28.

Agrupación de los LIG según su interés principal

USO/INTERÉS PRINCIPAL					
CIENTÍFICO		DIDÁCTICO		TURÍSTICO/RECREATIVO	
M15	Rocas aflorantes en el Alto de los Cacaos	M13	Mirador de San José	M09	Cañón del Río Mogoticos
		M16	Saprolito de Diabasas	M12	Hoyo de los pájaros
		M14	Mirador Alto de los Cacaos	M05	Sistema de cascadas el Pino
		M17	Parque Arqueológico	M07	Cascadas Peña Blanca
		M18	Zona minera La Aguada - La Isla	M03	Pozo Negro
				M08	Cascada El Avional
				M02	Pozo La Esmeralda
				M06	Cascada del Resumidero
				M01	Pozo del Oso
				M11	Cueva del Resumidero
		M04	Pozo del Minero		
		M10	Cueva Rica		

Nota. Dentro de cada grupo los lugares están ordenados de mayor a menor según la valoración obtenida en cada uno.

Es preciso reconocer que una de las hipótesis de la investigación asociaba algunos Lugares de Interés Geológico, como el Hoyo de los Pájaros (M12) y Saprolito de Diabasas (M16), a un interés principal de tipo científico, pues de manera preliminar correspondían a lugares singulares en el dominio geológico en cuestión. Sin embargo, la falta de investigaciones científicas en la zona, pésimo estado y las malas condiciones de observación influyeron negativamente en la puntuación de dicho valor produciendo que el uso o interés principal del LIG sea otro.

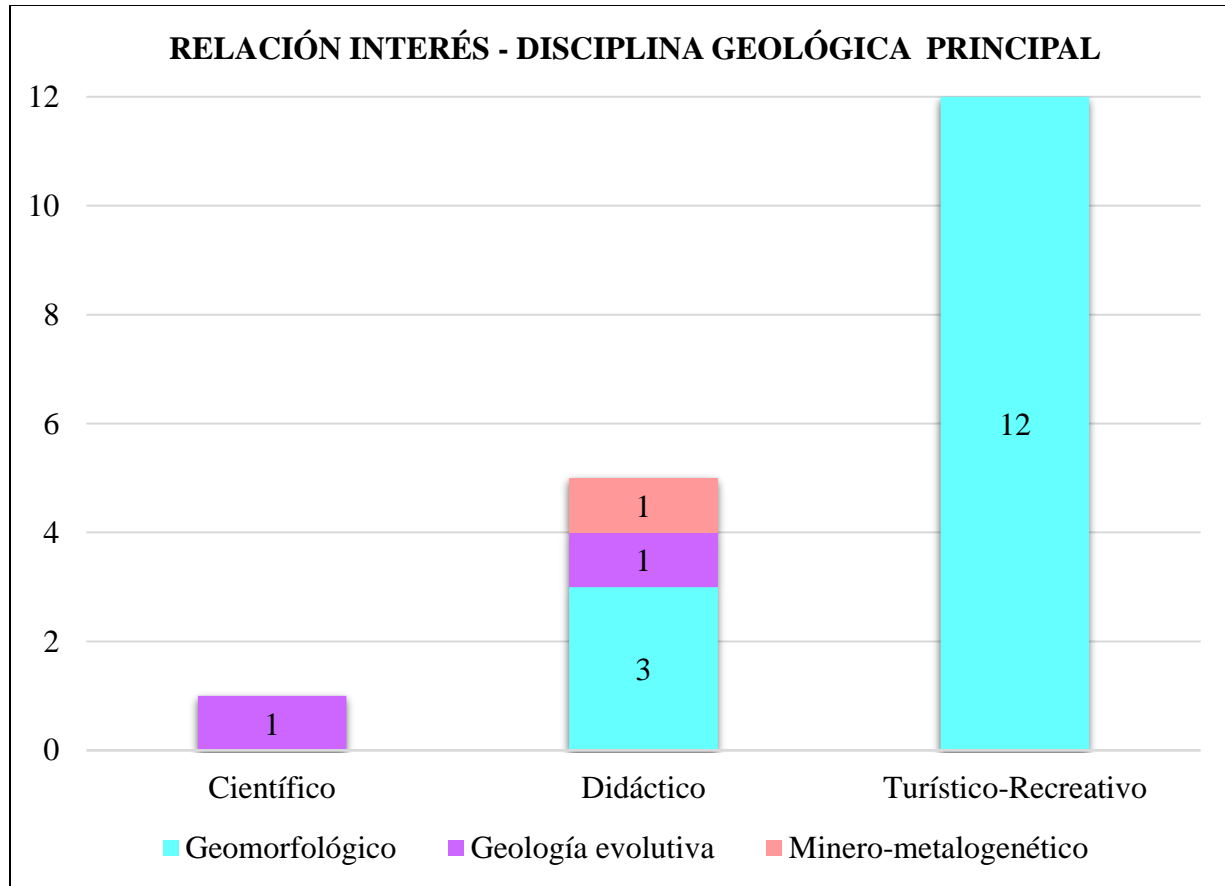
6.2.2 Valoración de la Potencialidad de Uso de los LIG

Respecto a la relación entre el interés y la disciplina geológica principal de los LIG se puede deducir de la Figura 44 que la totalidad de los LIG cuyo interés principal es turístico – recreativo están asociados a la geomorfología. Por otra parte, los 5 LIG identificados con interés principal didáctico están asociados a diferentes disciplinas: 3 de ellos se relacionan con procesos geomorfológicos, 1 con la disciplina minero metalogénica y el restante con la geología evolutiva. Finalmente, el único LIG cuyo interés principal es el científico está asociado, precisamente, a la geología evolutiva por las características que este presenta.

La ubicación, interés principal y disciplina geológica asociada a estos lugares se puede evidenciar en la Figura 45.

Figura 44.

Gráfico de la relación interés – disciplina geológica principal de los LIG



6.2.2 Susceptibilidad de Degradación (SD) y Prioridad de Protección (PP)

El cálculo de estos parámetros, propuestos por la metodología adoptada, permite interpretar qué lugares están expuestos a una potencial degradación, con el fin de asignarle figuras de protección específicas que permitan salvaguardar su integridad. En el marco del presente proyecto y con base en los resultados de la Tabla 26, se identificó 1 LIG (M04) con susceptibilidad de degradación alta, debido tanto a su vulnerabilidad por amenazas antrópicas, ya que es de acceso libre y se encuentra al margen de la vía principal San Gil-Mogotes) como a su fragilidad por amenazas naturales (Apéndice, pues allí se han realizado actividades de explotación minera ilegales que provocaron la exposición directa de la roca al intemperismo, generando procesos activos muy fuertes de erosión y movimientos en masa. Respecto a la necesidad de una figura de

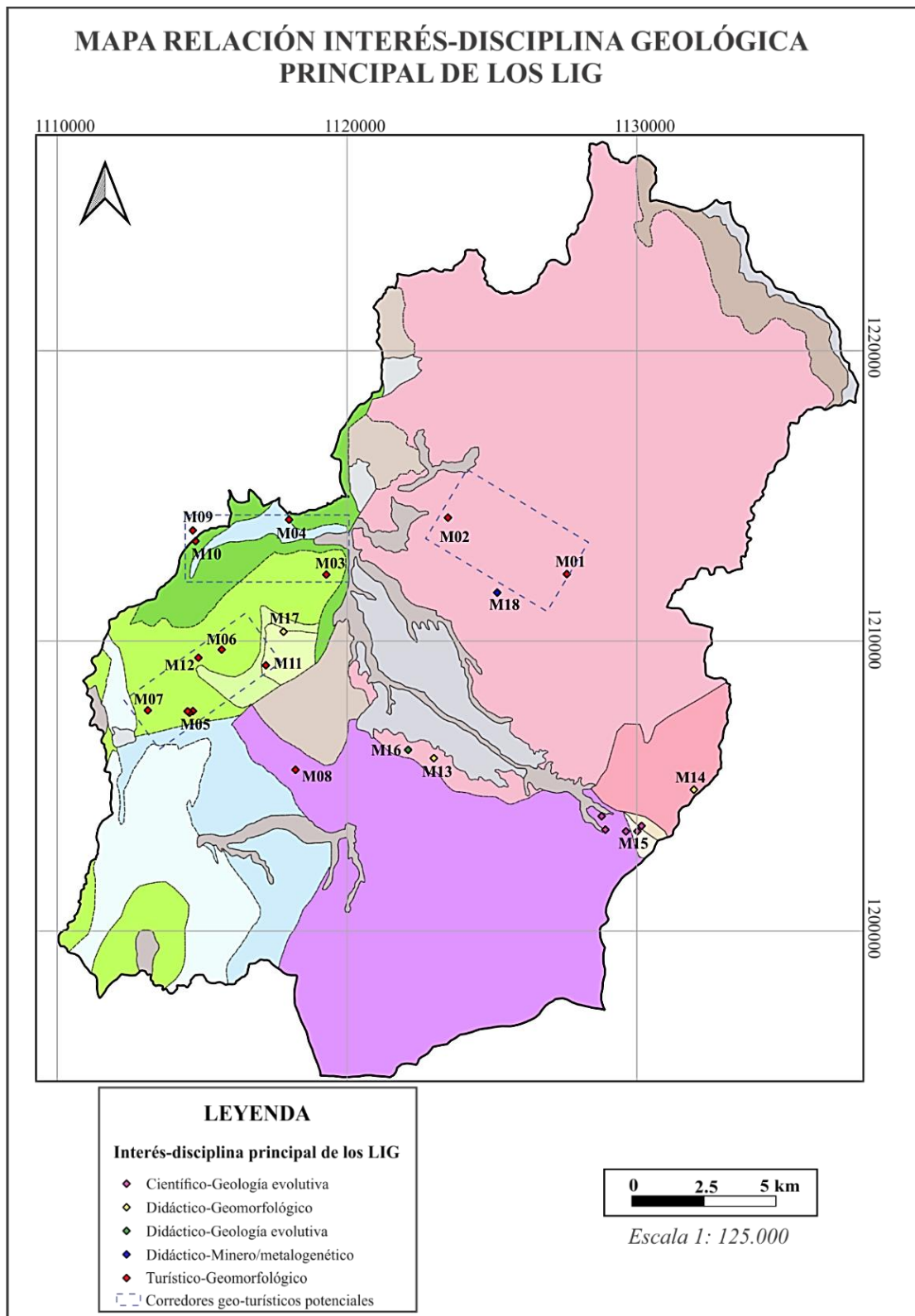
protección en este lugar, se debe aclarar que ya cuenta con medidas dirigidas por autoridades locales asociadas a la prohibición de dichas actividades mineras, sin embargo, se deben establecer medidas de recuperación de los pasivos mineros encaminadas a la reforestación vegetal de la zona para evitar la exposición directa de la roca a los procesos mencionados anteriormente.

Además, 9 de los 18 LIG presentan una susceptibilidad de degradación media-alta donde uno de ellos (M06) está mayormente afectado por su fragilidad ante las amenazas naturales pues corresponde a una zona donde los procesos han afectado a la roca en cuestión y, presuntamente, también se presentan efectos de la actividad tectónica ejercida por la Falla de Ocamonte. Por tanto, en este caso las figuras de protección deben estar encaminadas a controlar la estabilidad de los escarpes de roca ubicados en la zona de cascada. Los otros ocho lugares que presentan SD media-alta (M01, M07, M09, M13, M14, M15, M16, M18) se encuentran influenciados, principalmente, por la vulnerabilidad por amenazas antrópicas pues presentan un acceso libre (siendo el caso de M07, M01, M13, M15, M09, M16, M14) o se realizan explotaciones mineras en la zona (M18). En estos lugares, el establecimiento de figuras de protección no es necesario a corto plazo; sin embargo, podrían establecerse medidas relacionadas a limitar su acceso (si es posible) y/o concientizar a los visitantes sobre el cuidado y manejo de estos lugares. En el caso específico de la explotación minera, las medidas deben asociarse al control de los residuos mineros pues el vertimiento del material sedimentario al cauce de la Quebrada Canoas afecta tanto ambiental como económicamente pues además de ser un agente contaminante para dicho ecosistema representa un riesgo para las actividades ganaderas desarrolladas por los habitantes de la zona.

Finalmente, los 8 LIG restantes presentan una susceptibilidad de degradación media-baja, razón por la cual no se proponen figuras de protección específicas.

Figura 45.

Mapa que relaciona el interés y la disciplina geológica principal de los LIG



Respecto a los resultados obtenidos sobre el cálculo de la prioridad de protección (Tabla 28), se generan los gráficos expuestos en la Figura 46 en los cuales se puede identificar un lugar (M15) con alta puntuación en el ámbito científico (PPc) debido a su alta valoración en este y a la susceptibilidad media-alta que presenta por su ubicación (al margen de la vía principal Mogotes-San Joaquín) y los intensos procesos de erosión y meteorización que lo afectan. Por tanto, se puede inferir que las medidas de protección en dicho lugar deben estar encaminadas a proteger las características intrínsecas de los afloramientos de roca allí dispuestos para garantizar su conservación y la posibilidad de realizar futuras investigaciones. Sin embargo, en esta franja no se proponen medidas particulares ya que hace parte del área cartografiada del sistema de páramos Guantiva-La Rusia, dada por la Corporación Autónoma Regional de Santander (2015).

En el ámbito didáctico (Figura 46B), dos LIG presentan prioridad de protección alta (M13 y M16) debido a su cercanía con la cabecera municipal (aumentando su vulnerabilidad por amenazas antrópicas) y su uso actual como lugar de actividades didácticas dadas por la Escuela de Geología-UIS que le otorgan mayor interés en dicho valor. Lo anterior indica que en estas franjas deben tomarse medidas de adecuación para que siga siendo posible su aprovechamiento, pero de una manera organizada y controlada.

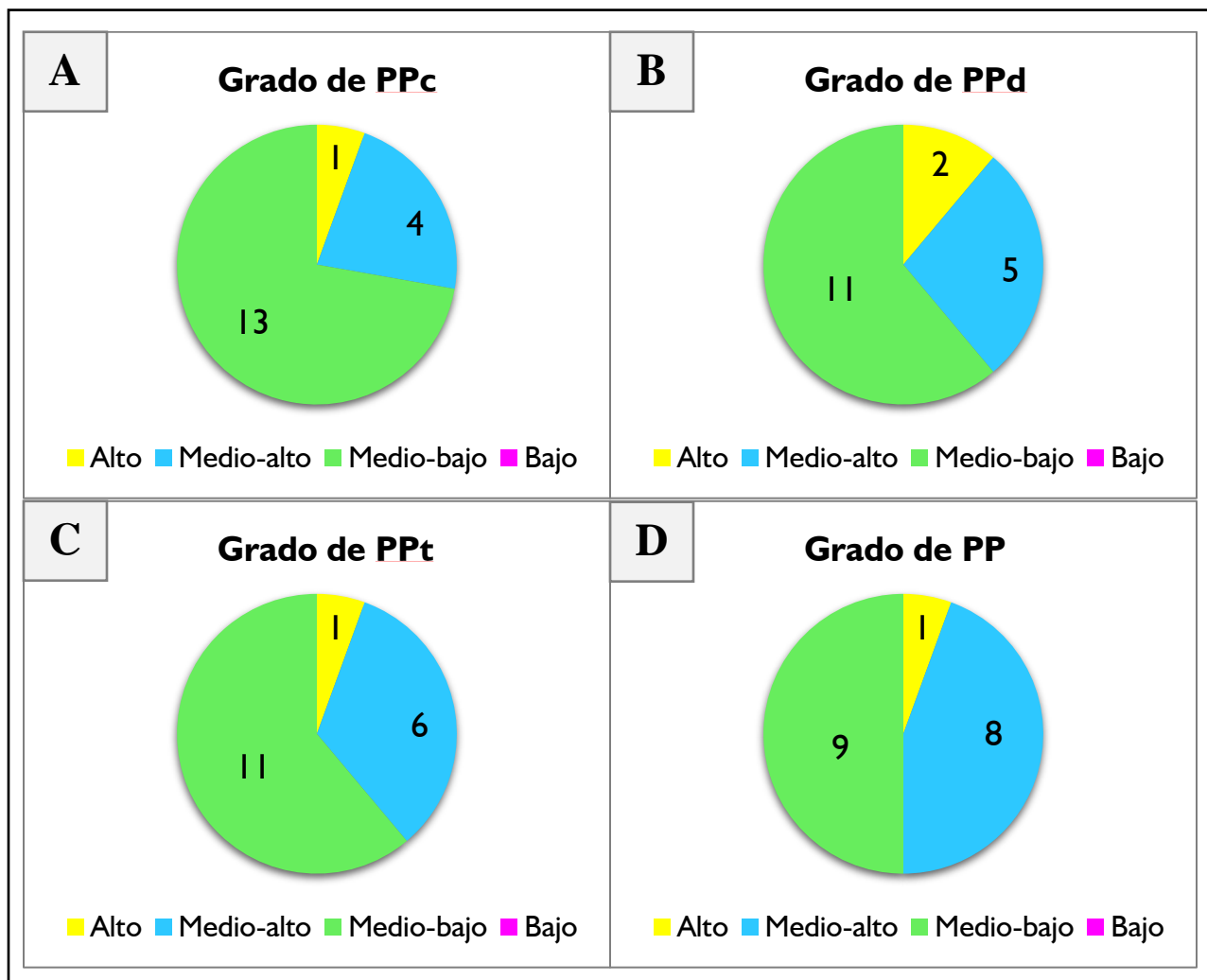
Por su parte, la prioridad de protección turística (Figura 46C) indica que un lugar (M09) presenta un alto valor en este aspecto, debido a su interés/uso actual sumado a su exposición sobre la vía principal San Gil-Mogotes que aumenta su vulnerabilidad ante las amenazas antrópicas. Sin embargo, este lugar cuenta con medidas de protección establecidas por la Alcaldía de Mogotes (2002) por hacer parte de un corredor ecoturístico del municipio.

Finalmente, el cálculo de la prioridad de protección global (Figura 46D) indica que el Cañón del Río Mogoticos (M09) es el único con una alta puntuación pues la valoración según su

potencialidad de uso (Tabla 16) permite observar que este lugar presenta un valor muy alto en el interés turístico-recreativo y alto en los otros dos intereses (didáctico y científico), que sumados a su susceptibilidad de degradación media-alta lo convierten en un lugar con alta Prioridad de Protección global. Sin embargo, como se especificó anteriormente, este lugar ya cuenta con figura de protección local.

Figura 46.

Gráfico de PPc, PPd, PPt y PP de los LIG



Nota. Gráficos circulares que representan el grado de A) Prioridad de Protección Científica (PPc); B)) Prioridad de Protección Didáctica (PPd); C)) Prioridad de Protección Turística (PPt) y D)) Prioridad de Protección Global (PP) de los 18 LIG tenidos en cuenta en este proyecto.

6.3 Evaluación de la metodología propuesta por García-Cortés y Carcavilla (2013)

La aplicación de la metodología de García-Cortés y Carcavilla (2013) en el marco de este proyecto desarrollado en Colombia, y enfocado a una escala municipal, brinda una serie de ventajas y desventajas que son expuestas a continuación:

6.3.1 Ventajas

- La metodología concibe la delimitación cartográfica del LIG como un aspecto fundamental al momento de generar propuestas respecto a su uso y/o protección, teniendo en cuenta que los lugares no pueden ser representados como un punto sino deben tratar de definirse sus dimensiones. Sin embargo, se reconoce que la inclusión de puntos de interés geológico representativos de cada LIG, pueden aportar a dicha delimitación si logran ser de uso únicamente como referencia o paradas técnicas.

- La selección preliminar de los Lugares de Interés Geológico se realiza mediante un proceso lógico, ordenado e inclusivo en el cual se aplican mecanismos de encuestas y el método de Delphi, como método de comunicación estructurado.

- La valoración de los LIG sigue un modelo lógico, en el cual se atribuyen puntajes al ámbito científico en función de las propiedades intrínsecas del lugar y al ámbito didáctico y turístico asociado a su potencialidad de uso.

- Establece un modelo matemático, mediante fórmulas, para el cálculo de los valores de cada LIG, su susceptibilidad de degradación y prioridad de protección.

- De manera general, presenta una estructura clara y entendible, en la cual establece un paso a paso a seguir para la selección, descripción y valoración de los LIG, siguiendo estructuras propuestas como fichas descriptivas, las cuales recopilan de buena manera la información tomada en campo.

- Es una de las metodologías más completas y por ende, conocidas y utilizadas en el ámbito de temas relacionados con el Patrimonio Geológico.

6.3.2 Desventajas

La principal desventaja que presenta esta metodología consiste en la dificultad para adaptar los parámetros propuestos por esta, a una escala municipal en el entorno colombiano. Esto se puede evidenciar en los siguientes casos:

- Las escalas propuestas para la delimitación cartográfica de los LIG no permite representar, en algunos casos, lugares de pequeña dimensión que pueden ser importantes a escala municipal.

- La consideración de criterios de valoración como: densidad de población, entorno socioeconómico, accesibilidad, contenido didáctico, entre otros, no deben ser fijos para su aplicación sino deben ser variables en función de la escala y área de trabajo, pues dependen de las condiciones económicas, sociales, educativas y de infraestructura del área en cuestión. Un claro ejemplo radica en que las condiciones viales del país donde nace la propuesta (España) difieren bastante de las condiciones comunes de Colombia.

- La rigidez con la que se valoran algunos parámetros genera que algunos LIG no sean valorados correctamente, asignándoseles un uso o interés principal que no corresponde al real. Este es el caso, por ejemplo, del LIG M16 (Saprolito de rocas diabásicas) que por parámetros como sus condiciones de observación y estado de conservación, recibió una baja valoración en el uso

científico pese a la singularidad de estas rocas dentro de su dominio geológico que lo han convertido en foco de estudios científicos.

- Para proyectos locales o regionales, la valoración del carácter de localidad tipo debe ser variable pues se entiende que, a esta escala de trabajo, no pretenden destacarse lugares con divulgación internacional y/o estratotipos documentados sino franjas destacables dentro del área de trabajo en cuestión y posiblemente a nivel regional.

- La falta de argumentación de algunos criterios de evaluación (p. ej. el contenido divulgativo o representatividad) genera dudas al momento de realizar la valoración del LIG dado.

- No se integran los estudios geológicos junto a otras investigaciones referentes al patrimonio natural de una determinada zona. Esto, en situaciones como las ocurridas en el marco del presente proyecto, dificulta el proceso de selección de los LIG debido al desconocimiento científico generalizado de la franja (que cuenta estudios realizados únicamente en franjas focalizadas), reconociendo que, el aporte de algunas franjas de interés natural, pueden tener valor geológico que debe ser evaluado por parte del grupo de trabajo en cuestión.

- La valoración de la susceptibilidad de degradación (SD) y prioridad de protección (PP) propone que los LIG cuya puntuación obtenida sea cero (0) son de bajo valor. No obstante, esto es una forma idealizada y equivocada de categorizar estos criterios, ya que todos los Lugares de Interés Geológico están expuestos a amenazas ya sean naturales o antrópicas, que en mayor o menor grado lo afectan, por ende, se propone distribuir de mejor manera esta categorización para lograr un mejor manejo de los LIG en términos de protección.

7. Limitaciones

En el marco del presente proyecto se planteó la descripción y valoración de 21 Lugares de Interés Geológico. Sin embargo, tres de ellos (Cueva del Sapo, Alto El Canelo y Cascada de las Águilas) no pudieron ser visitados durante la campaña de campo debido a la imposibilidad de acceder a ellos durante esa época producto de derrumbes en la vía. Posteriormente, debido a la situación generada por el COVID-19 y, las medidas tomadas para su control, fue imposible realizar una visita de campo a estos lugares, razón por la cual no son tenidos en cuenta en el desarrollo de este proyecto pero no se descartan como potenciales LIG en futuros estudios.

8. Conclusiones

En el presente proyecto se logró identificar, seleccionar y valorar un total de 18 Lugares de Interés Geológico presentes en el área de estudio (Municipio de Mogotes). En primera medida, se define el dominio geológico al cual pertenecen dichos LIG, siendo este el Macizo de Santander (MS). El dominio geológico propuesto en este proyecto (MS), difiere de la subdivisión de dominios geológicos propuesta en el programa del Inventario Nacional Geológico y Paleontológico de Colombia (INGEP), ya que se considera dicha subdivisión muy general razón por la cual en este proyecto se reduce dicho dominio al Macizo de Santander (MS), el cual hace parte a su vez de la Cordillera Oriental (CO) uno de los 15 dominios geotectónicos propuestos por el INGEOP y sugeridos por el SGC para la elaboración del inventario nacional. La mayoría de los LIG identificados en la zona están asociados a la geomorfología, siendo esta la disciplina geológica

principal, ya que en la zona de estudio son comunes los procesos kársticos y fluviales; aunque, también se evidencian franjas con interés desde la geología evolutiva del dominio considerado en relación con las características composicionales y texturales de las rocas allí encontradas. Finalmente, también es posible encontrar lugares cuyas características se relacionan con la minero-metalogenética por la extracción de material que allí tiene lugar. Por otra parte, siguiendo la valoración de García-Cortés y Carcavilla (2013) se relaciona que el 67% de estos lugares mantienen un interés principal de tipo turístico-recreativo pues presentan, adicional a las características geológicas allí descritas, una potencialidad de uso en dicho ámbito, mientras el 28% presentan el interés didáctico como principal, el cual está asociado a las frecuentes actividades didácticas universitarias que se adelantan en la región. El porcentaje restante (5%) corresponde al único LIG identificado con interés principal científico pues, debido a sus propiedades intrínsecas, ha sido objeto de estudio por diversos grupos de investigación.

Dichos lugares, fueron representados a partir de su extensión en superficie, mediante el mapeo según lo propuesto por García-Cortés y Carcavilla (2013), reconociendo que tres lugares de interés geológico presentaban áreas mayores a 0.5 km cuadrados, mientras los lugares restantes abarcan superficies de menor extensión.

Respecto a la susceptibilidad de los LIG ante el deterioro, se identificó un lugar con alto valor, debido a las actividades mineras que anteriormente se desarrollaban allí y que actualmente generan pasivos minero-ambientales y un gran deterioro de los taludes de roca dispuestos (debido a la fuerte acción del intemperismo). En este caso, las figuras de protección aplicadas actualmente, que prohíben cualquier actividad minera en esta franja, deben estar acompañadas de medidas de recuperación ambiental asociadas a la reforestación vegetal.

Entre otros aspectos analizados en el proyecto de investigación, se recopila parte de la terminología frecuentemente utilizada en el ámbito del patrimonio geológico y, específicamente, los conceptos propuestos por García-Cortés y Carcavilla (2013) para cada uno de los parámetros tenidos en cuenta durante la valoración del LIG; logrando homogenizar y definir criterios claros y concisos necesarios para el ejercicio valorativo realizado durante el trabajo de campo.

7. Recomendaciones

A lo largo del desarrollo del presente proyecto, se reconoce que la etapa de geo-divulgación de los resultados obtenidos puede resultar en un aporte importante para el sector económico y cultural del municipio de Mogotes y de la región en general, pues pueden potenciarse aquellas franjas destacadas como corredores geo-turísticos donde se relacionen los conceptos geológicos aquí descritos con la potencialidad de uso del lugar.

En el área de trabajo se encuentran lugares potenciales donde la realización de investigaciones geológicas podría generar un aporte importante al conocimiento científico de la región y del dominio geológico al que pertenece, debido a los intereses potencialmente reconocidos (hidrogeológico, geomorfológico, estructural, paleontológico, entre otros).

Respecto a la selección preliminar de los LIG, se recomienda contar con un grupo de trabajo numeroso y capacitado que podría incluir profesionales de diversas disciplinas (no limitadas al ámbito geológico) ya que de esta manera se pueden generar aportes valiosos que aumenten el volumen de lugares propuestos y cubran diferentes ámbitos

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Mogotes. (2002). *Esquema de Ordenamiento Territorial: Componente físico-biótico*.
- Alexandrowicz, Z., & Kozłowski, S. (1999). From selected geosites to geodiversity conservation - polish example of modern framework. *Towards the Balanced Management and Conservation of the Geological Heritage in the New Millenium, October*, 40–44. <https://doi.org/10.13140/2.1.4950.2728>
- Andreu, J. M., Calaforra, J. C., Cañaveras, J. ., & Cuezca, S. (2016). Karst: un concepto muy diverso (Karst: a very diverse concept). *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 24(1).
- Ballesteros, J. C. (2002). *Estudio geomorfológico-paisajístico del cañón del río Chicamocha en el tramo Cepitá-Pescadero-Jordán: Aporte al conocimiento del patrimonio geológico del departamento de Santander. Universidad Industrial de Santander*.
- Bautista, E. (1980). *Exploraciones arqueológicas, espeleológicas y de pictografías en las cuevas de Mogotes, Santander del Sur: Informe final*.
- Bollati, I., Smiraglia, C., & Pelfini, M. (2013). Assessment and selection of geomorphosites and trails in the Miage Glacier area (Western Italian Alps). *Environmental Management*, 51(4), 951–967. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9995-2>
- Brilha, J. (2018). Geoheritage: Inventories and evaluation. *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*, 69–85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00004-6>
- Brocx, M., & Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation - History, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90(2), 53–87.
- Bruschi, V., & Cendrero, A. (2009). Direct and parametric methods for the assessment of geosites

and geomorphosites. In E. Reynard, P. Coratza, & G. Regolini-Bissig (Eds.), *Geomorphosites*.

Campbell, J. (1965). *The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting*.

Carcavilla, Luis; Delvene, Graciela; Diaz-Martinez, Enrique; García Cortés, Ángel; Lozano, Gonzalo; Rábano, Isabel; Sánchez, Alejandro; Vegas, J. (2014). *Geodiversidad y patrimonio geológico*.

Carcavilla, L., López-Martínez, J., & Durán, J. J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad : investigación , conservación , gestión y relación* (Issue January). Instituto Geológico y Minero de España.

Carton, A., Coratza, P., & Marchetti, M. (2005a). Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy. *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 11(3), 209–218. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.374>

Carton, A., Coratza, P., & Marchetti, M. (2005b). Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy Propositions pour la cartographie des sites géomorphologiques : exemples italiens. *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 11(3), 209–218. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.374>

Caster, K. (1939). *A devonian fauna from Colombia*.

Cediel, F. (1968). El Grupo Girón, una molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental. *Boletín Geológico*, XVI, 15–88.

Cediel, F., Etayo, F., & Cáceres, C. (1997). *Distribución de facies y ambito tectónico a través del Fanerozoico de Colombia*.

Cendrero, A. (1983). Propuesta sobre criterios para la clasificación y catalogación del patrimonio geológico. In MOPTMA (Ed.), *El patrimonio geológico: Bases para su valoración*,

protección, conservación y utilización.

Cendrero, A. (1996). *El patrimonio geológico, Bases para su valoración, protección, conservación y utilización.*

Cheng, J. (2015). *Establishing Waterfall types by geometrical classification.* Waterfall Classification: What Types of Waterfalls Exist In Nature? <https://www.world-of-waterfalls.com/what-types-of-waterfalls-are-there/>

Clavijo, J., & Laverde, F. (1985). *Análisis facial de la Formación Los Santos, según el corte de “Tu y yo” (Zapatoca).*

CMARPAT. (2015). *Monumento Natural Cueva de Castañar.*

Colegial, J. D., Piscioti, G., & Uribe, E. (2002). Metodología Para La Definición, Evaluación Y Valoración Del Patrimonio Geológico Y Su Aplicación En La Geomorfología Glaciar De Santander (Municipio De Vetas). *Boletín de Geología*, 24(39), 121–134.

Consortio EOT Mogotes. (2018). *Revisión, actualización y ajuste del componente general y los contenidos de corto mediano y largo plazo del esquema de ordenamiento territorial de municipio de Mogotes, Santander.*

Coratza, P., & Giusti, C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Il Quaternario*, 18, 307–313.

Corporación Autónoma Regional de Santander. (2015). *Plan de acción 2016-2019: Ecosistemas y áreas protegidas.* <http://cas.gov.co/images/MAPAS-SIG/ecosistemas-y-areas-protegidas.pdf>

Correa-Martínez, A., Rodríguez, G., & Zapata, G. (2018). *Catálogo de Unidades Litoestratigráficas de Colombia: Riolitas del alto de los Cacaos, Cordillera Oriental, Departamento de Santander.* (Issue May).

Cvijic, J. (1918). Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. *Revue de*

Géographie Alpine, 6(4).

DANE. (2019). *Censo demográfico: Mogotes, Santander*.

Dunham, R. J. (1962). Classification of Carbonate Rocks: A Symposium. *American Association of Petroleum Geologists*, 1(1).

Erikstad, L., Nakrem, H. A., & Markussen, J. A. (2018). Protected Geosites in an Urban Area of Norway, Inventories, Values, and Management. *Geoheritage*, 10(2), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0223-6>

Erikstad, Lars. (2008). History of geoconservation in Europe. *Geological Society Special Publication*, 300, 249–256. <https://doi.org/10.1144/SP300.19>

Etayo-Serna, F. (1968). *El sistema Cretácico en la región de Villa de Leiva y zonas próximas*.

Etayo-Serna, F. (1984). *Mapa de terrenos geológicos de Colombia*.

Etayo-Serna, F., & Guzman-Ospitia, G. (2019). Formación Rosa Blanca: subdivisión de la Formación y propuesta de Neoestratotipo. Sección laguna El Sapo, vereda El Carrizal, municipio de Zapatoca, departamento de Santander. In *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena* (pp. 3–54).

Fuertes-Gutiérrez, I., & Fernández-Martínez, E. (2010). Geosites Inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): A Tool to Introduce Geoheritage into Regional Environmental Management. *Geoheritage*, 2(1), 57–75. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0012-y>

Galvis-Gómez, M. A. (2018). *Mapa del potencial kárstico del departamento de Santander (Colombia)*.

Galvis, M., & Velandia, F. A. (2019). Mapa del potencial kárstico del departamento de Santander, Colombia. *Revista de Topografía Azimut*, 10.

- García-Cortés, Á., & Carcavilla, L. (2013). *Propuesta para la actualización metodológica de Lugares de Interés Geológico*.
- García, C., Rios, C. A., & Castellanos, O. (2005). Medium-pressure metamorphosis of the Silgará Formation in the central Santander Massif, eastern cordillera, Colombian Andes: constraints for a collision model. *Boletín de Geología*, 27, 43–68.
- Gelvez-Chaparro, J., Barajas-Rangel, D., Herrera-Ruiz, J., & Ríos-Reyes, C. A. (2020). Introducción al Geopatrimonio kárstico del municipio de El Peñón (Santander), Colombia. *Boletín de Geología*, 42(2), 147–167. <https://doi.org/10.18273/revbol.v42n2-2020008>
- Goldsmith, R., Marvin, R., & Mehnert, H. (1971). Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. *U.S Geological Survey Professional Paper*.
- Gomez Guerrero, M., Valentin, C., Cabrera, N., Vivas, D., & Salgado, E. (2017). Estado del arte del Patrimonio Geológico Colombiano. *XVI Congreso Colombiano De Geología. III Simposio de Exploradores Geología, Sociedad y Territorio*, 1145–1152.
- Goudie, A. S. (2020). Waterfalls: Forms, Distribution, Processes and Rates of Recession. *Quaestiones Geographicae*, 1.
- Grandgirard, V. (1995). Méthode pour la réalisation d'un inventaire de géotopes géomorphologique. *Cahiers de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg*, 121–137.
- Guerrero, J. C., & Mancera, A. (2014). *Itinerario geológico entre el municipio de San Juan de Girón y la represa de Hidrosogamoso (Santander) Aprovechamiento del Patrimonio Geológico*. Universidad Industrial de Santander.
- Gutierrez, F., & Calaforra, J. M. (2008). Geological and environmental implications of evaporitic karst in Spain. *Environmental Geology*, 53(5).

- Hernandez, C. (2011). *Estudio mineralógico, petrográfico y geoquímico de las rocas ígneas aflorantes en el Cerro el Mirador (Via Mogotes-San Joaquín, departamento de Santander)*. Universidad Industrial de Santander.
- Hettner, A. (1982). Die Kordillere von Bogotá. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 351.
- Horton, B., Saylor, J., Nie, J., Mora, A., Parra, M., Reyes-Harker, A., & Stockli, D. (2010). Linking sedimentation in the northern Andes to basement configuration, Mesozoic extension, and Cenozoic shortening: Evidence from detrital zircon U-PB ages. *Geological Society of America Bulletin*, 122, 1423–1444.
- Ingeominas. (1997). *Microzonificación sísmica del área metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia*.
- Jaimes, F., & Vargas, M. (2011). *Inventario de atractivos turísticos de Mogotes-Santander*.
- Jaramillo, L. (1971). *Informe sobre las manifestaciones de sulfuros de la Quebrada Cedrillal, Municipio de Coromoro, Santander*.
- Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, (2007).
- Jiménez, G., Speranza, F., Faccena, C., Bayona, G., & Mora, A. (2014). Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a < 3mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Julivert, M. (1958). La morfoestructura de la Zona de las Mesas al SW de Bucaramanga. *Boletín de Geología*, 7–43.
- Julivert, M., Barrero, D., & Navas, J. (1964). Geología de la Mesa de los Santos. *Boletín de Geología*, 18, 5–11.
- Mantilla-Figueroa, L. C., & García-Ramírez, C. A. (2018). Geología y geocronología de las litologías aflorantes en el tramo Mogotes-San Joaquín (sector SW del Macizo de Santander).

Boletín de Geología, 40.

Mantilla-Figueroa, L. C., García-Ramírez, C. A., & Valencia, V. A. (2016). PROPUESTA DE ESCISIÓN DE LA DENOMINADA “FORMACIÓN SILGARÁ” (MACIZO DE SANTANDER, COLOMBIA), A PARTIR DE EDADES U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS. *Boletín de Geología*, 38(1).

Mantilla, L. C., Thomas, B., Valencia, V., & Craig, H. (2013). The magmatic history of the Vetas, California mining district; Santander Masiff, eastern cordillera, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 38.

Monroe, W. H. (1970). *A Glossary of Karst Terminology*.

Montoya, D. (2019). Formación Tablazo: descripción de la sección tipo. Depósitos de carbonatos en una rampa afectada por exposiciones subaéreas iterativas. In *Estudios geológicos y paleontológicos sobre el Cretácico en la región del embalse del río Sogamoso, Valle Medio del Magdalena* (pp. 159–252).

Morales, L., Podesta, D., Hatfield, W., Tanner, H., Jones, S., Barker, M., O’Donoghue, D., Moler, C., Dubois, E., Jacobs, C., & Goss, C. (1958). *General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia: Habitat of Oil*.

Moreno-Sánchez, M., Toro-Toro, L., Gómez-Cruz, A., & Ruiz, C. (2016). Formación Nogontova, una nueva unidad litoestratigráfica en la Cordillera Oriental de Colombia. *Boletín de Geología*, 38(2), 55–62.

Navas, J. (1963). Estratigrafía del Girón al W del Macizo de Santander. *Boletín de Geología*.

Palacio Prieto, J. L. (2012). Geositios, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía*, 82.

- Patarroyo, P. (2000). Distribución de Amonitas del Barremiano de la Formación Paja en el Sector de Villa de Leyva (Boyacá, Colombia). *Bioestratigrafía. Geología Colombiana*, 25(0), 149–162.
- Peña-Monné, J. L., de Dapper, M., Constante, A., de Vliegheer, B. M., & Pavlopoulos, K. (2008). El foso defensivo de la Primera Edad del Hierro del Cabezo de la Cruz (La Muela, Zaragoza) José María Rodanés Vicente, Jesús Vicente Picazo Millán, José Luis Peña Monné *Revista d'arqueologia de Ponent*, ISSN 1131-883X, N° 21, 2011, págs. 211-219 Artículo E. *Geographicalia*, 53.
- Pettijohn, F., Potter, P., & Siever, R. (1972). *Sand and Sandstone* (1st ed.). Springer-Verlag New York.
- Pulido, O. (1979). *Geología de las planchas 135 San Gil y 151 Charalá*. INGEOMINAS.
- Pulido, O. (1985). *Geología de plancha 135-San Gil*. INGEOMINAS
- Raasveldt, H. (1956). *Fallas de rumbo en el nordeste de Colombia*.
- Reynard, Emmanuel. (2013). *The revision of the Swiss Inventory of Geosites (2006-2012)*. 15, 3568.
- Ríos, C. A., Amorocho, R., Villarreal, C. A., Mantilla, W., Velandia, F. A., Castellanos, O. M., Muñoz, S. I., Atuesta, D. A., Jerez, J. H., Acevedo, O., Vargas, M., Caballero, V. M., Goso, C. A., & Briggs, A. (2020). Chicamocha Canyon Geopark project: A novel strategy for the socio-economic development of Santander (Colombia) through geoeducation, geotourism and geoconservation. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 8(2), 96–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2020.05.002>
- Rios, C. A., García-Ramírez, C. A., & Takasu, A. (2013). Tectonometamorphic evolution of the Silgara Formation metamorphic rocks in the southwestern Santander Massif, Colombia.

- Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 133–154.
- Rod, R. (1954). Revision of Lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela. *Association of Petroleum Geology Bulletin.*, 38, 193–283.
- Rodriguez, G., Arango, M. I., Correa-Martínez, A., & Zapata, G. (2018). *Catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia: Riolita de San Joaquín.*
- Rozo, J. M. (2013). *Propuesta metodológica para el inventario de PG en el sector de Chicamocha.* Universidad Industrial de Santander.
- Sánchez, J. P., & Brilha, J. B. R. (2017). Terrestrial impact structures as geoheritage: An assessment method of their scientific value and its application to Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 89(2), 825–834. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160081>
- Serrano Cañadas, E., & Ruiz Flaño, P. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes Caracena (Soria). *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 45, 79–98. <https://doi.org/10.21138/bage.640>
- Servicio Geológico Colombiano. (n.d.). *Patrimonio Geológico y Paleontológico.* Bogotá. <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/patrimonio-geologico.aspx>
- Servicio Geológico Colombiano. (2014). *Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 136-Málaga, departamento de Santander y Boyacá.*
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Patrimonio Geológico y Paleontológico.* Bogotá. <https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/patrimonio-geologico.aspx>
- Strahler, A. (1957). Quantitative analysis of Watershed Geomorphology. *American Geophysical Union Transactions*, 38, 912–920.
- Sturm, B. (1999). The Geotope Concept: Geological Nature Conservation by town and country

Planning. *Geological Society*.

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. In *Geology* (Vol. 30).

Thomas, D. S. (2016). *Dictionary of Physical Geography*. John Wiley & Sons.

Toro, J. (1990). *The Termination of the Bucaramanga Fault in the Cordillera Oriental, Colombia*.
University of Arizona.

Torres, J., & Villabona, G. (2019). *GEOEDUCACIÓN Y PATRIMONIO GEOLÓGICO EN BARICHARA*. Universidad Industrial de Santander.

Ulloa, C., Guerra, A., & Escovar, R. (1998). *Geología de la plancha 172-Paz de Río, Escala 1:100.000*.

UNESCO. (1972). *Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural 1972*. Paris. http://portal.unesco.org/es/ev.php.URL_ID=13055&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html

Vargas, Rodrigo; Arias, Alfonso; Jaramillo, Luis; Téllez, N. (1987). *Geología de la plancha 152-Soata*.

Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Téllez, N. (1981). *Geología del cuadrángulo I-13, Málaga*.

Vargas, R., Arias, A., Jaramillo, L., & Téllez, N. (1985). *Geología de Plancha 136-Málaga*.

Velandia, F. A. (2005). Interpretación de transurrencia de las fallas Soapaga y Boyacá a partir de imágenes LANDSAT TM. *Boletín de Geología*, 27, 81–94.

Velandia, F. A. (2017). *Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander-énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga*. Universidad Nacional de Colombia.

Velandia, F. A., Garcia, H., López, J., Bermúdez, M., Zuluaga, C., & Taboada, A. (2017). *Modelo estructural del Macizo de Santander y zonas adyacentes*.

- Villabona, J. J., & Mantilla, E. (2013). *Itinerario geológico entre el municipio de Piedecuesta-Peaje Mesa de los Santos Santander: Aprovechamiento del Patrimonio Geológico*. Universidad Industrial De Santader.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., & Restrepo, H. (1973). *Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, departamento de Santander*.
- Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Jaramillo, L., & Vargas, R. (1977). *Mapa geológico del cuadrángulo H-13, Pamplona*.
- Wheeler, O. (1929). *Report on the Palmira series with notes on stratigraphy of the Umir, Lisama and La Paz formation near the eastern part of the Mares concession*.
- Yepes, D., & Daza, J. (2017). *Patrimonio geológico: Identificación, valoración y gestión de sitios de interés geológico en el municipio de Los Santos, Santander-Colombia*. Universidad Industrial de Santander.
- Zafra-Otero, D., Gelvez, J., Barajas, D., & Rios, C. A. (2019). Geodiversidad y Patrimonio geológico de la Mesa de Zapatoca (Santander). *XVII Congreso Colombiano de Geología*.
- Zamarreño de Julivert, I. (1963). Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la región de la Mesa de los Santos (Cordillera Oriental). *Boletín de Geología*, 5–34.