



GEOCONSERVACIÓN **EN COLOMBIA:**

Aproximaciones teórico-prácticas.



Escuela de
Ciencias Aplicadas e Ingeniería



RED COLOMBIANA
DE GEOCONSERVACIÓN



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



Gómez-Guerrero Manuel Eduardo, González Tejada, C; Marín-Cerón, M.I.; Betancurth-Montes, G.L.; Restrepo-Moreno, S.A.; Rendón-Rivera, A. (2022). Geoconservación en Colombia: Aproximaciones teórico-prácticas. 193 pp. Editorial CTA, Medellín, Colombia. ISBN Obra independiente: 978-958-8470-62-7

Editores: Gómez-Guerrero Manuel Eduardo ,González Tejada, Catalina. Grupo GAT, EAFIT -Marín-Cerón, María Isabel. Grupo GAT, EAFIT - Betancurth-Montes, Liliana, Grupo GAIA, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional, Facultad de Minas - Restrepo-Moreno, Sergio Andrés. Grupo GET, Universidad Nacional, Facultad de Minas - Rendón-Rivera, Albeiro, Grupo GEA, Universidad Nacional, Facultad de Minas.
Edición y corrección de estilo: Marisol Delgado - Anderson Betancur - Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA
Diseño y diagramación : Luisa Fernanda Marín - Juan Pablo Londoño - Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia - CTA.



En homenaje póstumo a Miguel Tavera (M.Sc.), colega y joven entusiasta de las Ciencias de la Tierra, quien se sumergió en la narrativa del territorio geológico, que es también territorio desde lo humano, con su obra de podcasts ***Geografía de la Guerra*** (https://www.ivoox.com/podcast-geografia-guerra_sq_f1696604_1.html). Este trabajo refleja claramente la lógica de Miguel para valorar simultáneamente lo estratigráfico en el subsuelo, el relieve en la superficie y los procesos socioambientales sobre todo lo demás, en una especie de ABC de lo Abiótico-Biótico-Cultural, que se expresa bien en su proyecto de divulgación científica y generación de contenido ambiental, más aun en este contexto renovado de presiones sobre el territorio, en un país que se desmorona en ese irresoluble conflicto entre lo urbano y lo rural. Fue precisamente en busca de leer de primera mano esos paisajes remotos e inspiradores, con y para la gente, como Miguel perdió la vida en un absurdo accidente en el último de sus tantos viajes por el inagotable universo geológico de nuestra nación. Por ello es este conjunto de textos una manera de rendir un tributo profundo, respetuoso y amoroso a Miguel y a su familia.

PRÓLOGO |

La Expedición Botánica y el viaje de Alexander Humboldt por Colombia en el siglo XVIII, son algunos antecedentes relacionados con el reconocimiento de características geológicas del paisaje de lo que actualmente es el territorio colombiano. Asimismo, en el siglo XIX se adelantaron acciones similares como la misión Boussingault-Rivero o la destacada Comisión Corográfica, proyecto dirigido por Agustín Codazzi, cuyo objetivo era describir sistemáticamente las características físicas y socioeconómicas del territorio de la Nueva Granada. Esta última se enfocó, entre otros, en determinar cuáles eran, dónde estaban y qué magnitud tenían los recursos naturales del país, sustentando en mapas, acuarelas y descripciones geográficas los distintos atributos naturales y sociales que retratarían la identidad de una joven nación.

En el marco de la Comisión Corográfica el reconocimiento de hitos del paisaje colombiano, como por ejemplo el Volcán Nevado del Ruíz, el Peñol de Guatapé o el Estrecho de Furatena en el Río Minero, permiten evidenciar que los rasgos geológicos también son parte constitutiva de la construcción colectiva de memoria e identidad en el territorio colombiano y, por tanto, son un “bien común” del conjunto de lo que denominamos patrimonio.

Este reconocimiento no ha sido ajeno para el Estado Colombiano, el cual mediante la Ley 63 de 1959 y la Ley 45 de 1983 ha reconocido la necesidad de conservar rasgos de carácter geológico en el país por su relevancia para la construcción del conocimiento y la identidad nacional. Estas leyes, en conjunto con la Constitución de 1991 y otras normas, sentaron la base para la expedición del Decreto 1353 de 2018, mediante el cual se establece el “Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación” en torno a su identificación, protección, conservación, rehabilitación y transmisión, bajo el liderazgo del Servicio Geológico Colombiano SGC, articulando a instituciones, academia y comunidades locales, alrededor de la protección y conservación de este patrimonio.

El patrimonio geológico en Colombia como una línea de acción, divulgación e investigación en geociencias ha venido desarrollándose notablemente durante los últimos veinte años, con especial interés y aporte de grupos de investigación y académicos, trayendo consigo conceptos novedosos como el geoturismo, los Geoparques Mundiales de la UNESCO, la geoeducación, la geoconservación, entre otros, que poco a poco han llegado a revitalizar el vínculo entre las comunidades locales y su patrimonio geológico, contribuyendo además a la modernización del pensamiento geocientífico en Colombia.

Particularmente, el concepto de geoconservación nos invita a pensar como ciudadanos y como profesionales en ciencias de la Tierra, sobre la necesidad de conservación y uso sustentable de aquellos sitios o geoambientes que ofrecen servicios o recursos de los cuales dependemos directamente como sociedad; o de aquellos rasgos geológicos que por su importancia científica constituyen la memoria de la Tierra, tal como lo estima la Declaración de Digne de 1991. En este contexto, la obra “Geoconservación en Colombia: Aproximaciones teórico-prácticas. Vol. 1” es una iniciativa oportuna y necesaria, que deriva del trabajo en red liderado por la Cátedra del Agua, que alentó a distintos autores a compartir sus propuestas, enfoques, experiencias y resultados alrededor de la investigación, conservación y divulgación del patrimonio geológico.

Manifiesto mi sincera gratitud y felicitación a los distintos autores que han hecho posible esta publicación, en especial porque varios de los resultados presentados, constituyen elementos valiosos para aportar a la toma de decisiones en distintos niveles y que, en varios casos, ya se traducen pragmáticamente en beneficios directos para las comunidades, mediante nuevas agendas culturales y posibilidades de desarrollo económico y social.

Gracias al carácter mismo del patrimonio, los trabajos expuestos en los siguientes capítulos han derivado en aportes a nivel social, cultural y económico, al ser el patrimonio geológico un símbolo de identidad común, por medio del cual ejercemos nuestra ciudadanía, permitiendo empoderarnos sobre nuestro pasado para proyectar nuestro futuro como sociedad. En ese sentido quisiera recordar y celebrar la vida de Miguel Ángel Tavera, un colega, amigo y maestro, a quien en esta oportunidad homenajeamos, por su aporte sustantivo y disciplinado al desarrollo de la geoconservación y el patrimonio geológico en Colombia.

PRÓLOGO |

El entusiasmo de Miguel Ángel en investigar las interrelaciones que se dan entre los seres humanos y los elementos geológicos en el contexto colombiano, desembocó en “Geografía de la Guerra”, un proyecto de apropiación social de conocimiento que, mediante el testimonio y datos científicos, nos invita a reflexionar sobre como desencadenan en conflictos sociales y ambientales las presiones que se ejercen en el territorio alrededor de los recursos naturales.

Integrar la geoconservación en distintas agendas más allá de la patrimonial es imperativo en nuestro contexto social y político. Muestra de ello es “Geografía de la Guerra”, un ejercicio que evidencia la pertinencia del conocimiento y el pensamiento en geociencias para fortalecer en Colombia procesos alrededor de la construcción de paz, la conservación del agua y los suelos, la mitigación del cambio climático y la gestión de amenazas geológicas, entre muchos otros temas cruciales para nuestra sociedad colombiana actual. Por ello, reconozco en el legado de Miguel Ángel Tavera un aporte desde el cual continuar avanzando articuladamente con la institucionalidad, la académica y las comunidades locales, hacia la construcción de un proyecto de nación, en las mismas vías que desde otrora, el sabio Caldas en la Expedición Botánica, o Agustín Codazzi y Manuel Ancizar en la Comisión Corográfica, efectuaron en su momento.

Gracias a los aportes de Miguel Ángel Tavera, seguiremos recordando y apropiando su legado con cariño y admiración, desde los espacios de la divulgación científica, la gestión del patrimonio geológico y la geoconservación, en el marco de la construcción de un proyecto de país.

Manuel E. Gómez Guerrero.

CONTENIDO |

Prólogo	03
Capítulo 1. Estado del arte de la geodiversidad, el patrimonio geológico, y la geoconservación: perspectivas para Colombia	14
1. Breve historia del patrimonio geológico	14
2. El patrimonio geológico como representante por excelencia de la geodiversidad	16
2.1. Geodiversidad	16
2.2. Patrimonio geológico	17
3. El geoturismo y otros usos del patrimonio geológico y los elementos de la geodiversidad	19
3.1. Valores de la geodiversidad y servicios geosistémicos	19
3.2. El geoturismo	21
3.3. Otros usos de la geodiversidad	22
4. Geodiversidad y patrimonio geológico en Colombia	23
4.1. Breve historia del patrimonio geológico en Colombia	24
4.2. Actualidad: Decreto 1353 de 2018	25
5. Conclusión: La geología y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia	26
6. Bibliografía	27
Capítulo 2. Valoración cuantitativa del patrimonio geológico en Antioquia	32
Resumen	32
Abstract	32
1. Introducción	33
2. Metodologías de valoración	36
3. Aplicaciones metodológicas en Antioquia	37
3.1. Zona de estudio	37
3.2. Ejemplos de patrimonio geológico en Antioquia	37
3.3. Ejemplo de ficha descriptiva de cada punto clasificado como patrimonio geológico	42
4. Discusión y conclusiones	49
5. Bibliografía	50
Capítulo 3. Inventario para la conservación de los recursos geológicos entre los municipios de Belmira y Entreríos, Antioquia – Colombia	53
1. Introducción	53
2. Marco teórico	55
3. Metodología	56
3.1. Delimitación	56
3.1.1. Delimitación administrativa	56
3.1.2. Delimitación geológica	57
3.1.3. Delimitación geomorfológica	57

4. Resultados	58
4.1. Inventario bibliográfico	58
4.2. Inventario temático/específico	58
4.3. Georuta	62
5. Discusión	63
5.1. Uso y gestión	63
6. Conclusiones	63
7. Bibliografía	64

Capítulo 4. Cuantificación de la geodiversidad como estrategia de apropiación social: caso de estudio, Valle de Aburrá	66
---	----

Resumen	66
Abstract	66
1. Introducción	67
2. Marco geodinámico del Valle de Aburrá	69
3. Metodología	70
3.1. Conformación de la Geodatabase y los Lugares de interés Geológico (LIG's)	71
3.2. Clasificación Morfométrica	71
3.3. Clasificación Climática	72
3.4. Clasificación Geológica	73
3.5. Clasificación Geomorfológica	74
3.6. Clasificación Geodiversidad	75
4. Resultados	75
4.1. Inventario de LIG	76
4.2. Reclasificación Geológica	76
4.3. Reclasificación Morfométrica	77
4.4. Reclasificación Morfoclimática	78
4.5. Mapa final de Geodiversidad	78
5. Discusión	78
5.1. Cuantificación de la Geodiversidad	78
5.2. Gestión del patrimonio por medio de Georutas	80
5.1.1. Georuta Corredor Palmas – Parque ARVI –Cerro Quitasol	81
5.1.2. Corredor Universitario	82
5.1.3. Corredor Río Medellín y sus Cerros Tutelares	82
5.1.4. Corredor ruta de Occidente	82
5.3. Urbanismo sostenible – un sistema de geodiversidad Ex situ	83
6. Conclusiones	84
7. Bibliografía	85

CONTENIDO |

Capítulo 5. Área Protegida Ensenada de Rionegro (Antioquia): análisis multitemporal de la erosión con miras a la geoconservación. 87

Resumen.	87
Abstract.	87
1. Introducción.	88
2. Modelamiento ART, BQART y RUSLE.	90
3. Metodología.	91
3.1. Caracterización APER.	91
3.2. Análisis multi-temporal de la cobertura vegetal.	91
3.3. Modelo ART.	92
3.4. Modelo BQART.	92
3.5. Modelo RUSLE.	92
3.5.1. Fuerza erosiva de la lluvia (R).	92
3.5.2. Erodabilidad del suelo (K).	93
3.5.3. Factor topográfico (LS).	93
3.5.4. Factor de cobertura y manejo del suelo (C).	93
3.5.5. Factor de protección de las coberturas (P).	94
4. Resultados.	94
4.1. Caracterización APER.	94
4.2. Cambios de cobertura vegetal.	95
4.3. Aplicación del Modelo ART.	96
4.4. Modelo BQART.	96
4.5. Modelo RUSLE.	97
5. Discusión.	99
6. Conclusiones y recomendaciones.	100
7. Bibliografía.	102

Capítulo 6. Inventario y valoración de sitios de geodiversidad como herramienta para su uso sostenible a escala local: estudio de caso del potencial geoturístico en un hotspot de biodiversidad, Corregimiento El Valle, Chocó, Colombia. 106

Resumen.	106
Abstract.	106
1. Introducción.	107
2. Metodología.	111
3. Resultados y discusión.	112
3.1. Geodiversidad de la zona litoral de Bahía Solano.	112
3.1.1. Rocas.	112
3.1.2. Minerales y sedimentos.	113
3.1.3. Accidentes geográficos y procesos activos.	113
3.2. Inventario de sitios de geodiversidad.	114
3.3. Valoración de sitios de geodiversidad.	116
3.3.1. Valor Turístico (VT) y Valor Didáctico (VD).	116
3.3.2. Valoración del Riesgo de degradación.	118
3.3.3. Análisis del inventario y de la valoración cuantitativa.	120
3.3.3.1. Distribución geográfica y tipología de los sitios.	120
3.3.3.2. Valor turístico y educativo.	120
3.3.3.3. Riesgo de degradación.	120
4. Propuestas de geoturismo para la Reserva Natural Ecolodge El Almejal.	121
4.1. Selección de los sitios.	121
4.2. Georutas.	122

4.2.1. Ruta A "El Almejal".	122
4.2.2. Ruta B "Norte".	122
4.2.3. Ruta C "Utría".	122
4.3. Material complementario.	123
5. Conclusiones.	124
6. Bibliografía.	125

Capítulo 7. Valoración cuantitativa de Lugares de Interés Geológico y georrecursos culturales en el departamento del Tolima (Colombia): fase inicial de reconocimiento. 129

Resumen.	129
Abstract.	129
1. Introducción.	130
2. Historia geológica regional.	131
3. Metodología.	133
3.1. Delimitación del área de estudio.	133
3.2. Definición de marcos geológicos de referencia.	133
3.3. Construcción del inventario.	133
3.4. Valoración cuantitativa.	135
4. Resultados.	135
4.1. Inventario de LIG's y contexto geológico-geomorfológico.	135
4.1.1. Rocas Metamórficas.	135
4.1.2. Rocas graníticas.	136
4.1.3. Rocas, estructuras y paisajes volcánicos.	136
4.1.4. Sistemas kársticos.	138
4.1.5. Sedimentación Cretácica-Cenozoica.	138
4.1.6. Glaciares tropicales.	139
4.1.7. Estructuras tectónicas.	140
4.1.8. Lugares de interés Minero-Industrial.	140
4.2. Valoración de LIG's.	140
5. Discusión.	142
6. Conclusiones.	142
7. Bibliografía.	143
Páginas web.	146

CONTENIDO |

Capítulo 8. Al Campus georuta- EAFIT, una ruta de mediación científica para la comprensión de la evolución geoarqueológica de Colombia. 147

Resumen.	147
Abstract.	147
1. Introducción.	148
2. Georutas como una herramienta de Mediación in situ – ex situ.	149
3. Metodología.	151
4. Resultados.	151
4.1. Inventario de sitios de interés.	152
• Estación 1. Parque de Los Guayabos, Un sitio arqueológico multicomponente.	152
• Estación 2. Luis Echavarría, Un piso con mas de 1400 Ma de historia.	153
• Estación 3. El parque de los Pimientos, bloques de rocas calcáreas que cuenta la historia de las invasiones marinas del Cenozoico.	153
• Estación 4. Terraza del Bloque 31, panorámica hacia el Valle de Aburrá.	154
• Estación 5. Parque de la geología, bloque 14. Tres tipos de rocas que cuentan la historia de los Andes Colombianos.	155
4.2 Implementación de Al Campus Georuta.	155
• Etapa 1. Momento docente.	155
• Etapa 2. Cursos modalidad presencial.	156
• Etapa 3. Cursos modalidad Virtual e iniciativa Geocoolture.	157
5. Discusión.	158
6. Conclusiones.	158
7. Bibliografía.	159

Capítulo 9. De la comunicación científica a la construcción Geopatrimonial, una aproximación participativa en las Centrales hidroeléctricas del Oriente Antioqueño. 161

1. Introducción.	161
2. Un diálogo de las Ciencias de la Tierra con la museología participativa.	162
3. Metodología.	163
4. Resultados.	163
4.1. Talleres centrales hidroeléctricas y georutas participativas.	163
4.1.1. Módulo I. Geodiversidad y Patrimonio Geológico.	164
4.1.2. Módulo II. Ciclo de las rocas.	164
4.1.3. Modulo III. Taller práctico.	164
4.2. E-book de georutas.	164
4.3. Talleres Escuela vereda los Medios.	165
4.4. Programa piloto en la Vereda Arenal San Rafael.	167
4.5. Geografía de la Guerra Vereda Guadualito, San Rafael.	169
5. Discusión.	169
6. Conclusiones.	171
7. Bibliografía.	172

Capítulo 10. Construcción de una ruta geoarqueológica con participación comunitaria en el corregimiento El Prodigio, municipio de San Luis, Antioquia: un recurso para el desarrollo local y la difusión de las geociencias. 174

Resumen.	174
Abstract.	174
1. Introducción.	175
2. Contexto geoarqueológico.	177
3. Metodología.	178
4. Resultados.	180
4.1. Ruta Geoarqueológica El Prodigio.	180
4.1.1. Segmento A: Quebrada El Prodigio.	181
4.1.2. Segmento B: Bosques, cavernas y arte rupestre.	183
4.2. Elementos de difusión.	184
5. Discusión.	185
6. Conclusiones.	186
7. Agradecimientos.	188
8. Bibliografía.	189
Epílogo El Dorado y la Geografía de la guerra de Miguel Ángel Tavera.	191

INTRODUCCIÓN |

Ambivalencias de la Geoconservación:

entre intereses científicos y de apropiación social del patrimonio geológico

Catalina González-Tejada¹; Juan Esteban Quintero-Marín²; Sergio Andrés Restrepo-Moreno³; María Isabel Marín-Cerón¹

¹Grupo de Investigación en Geología Ambiental y Tectónica, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, Investigadora asociada al UMR 208 PALOC "Patrimoines locaux, environnement & globalisation", Département Homme Nature et Société, Muséum National d'Histoire Naturelle. cgonza16@eafit.edu.co

²Estudiante del Máster Europeo en Paleontología, Geopatrimonio & Aplicaciones (PANGEA), Université de Lillé, Universidade do Minho; Grupo de Investigación en Geología Ambiental GEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia.

³Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia; Department of Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Entender el significado de la Geoconservación en un país como Colombia implica conocer y valorar las condiciones naturales del territorio. Colombia es un país tectónicamente activo en su margen occidental, lo cual ha condicionado una compleja historia geológica expresada no solo en la diversidad de bloques litoestructurales, sino en un intrincado arreglo geomorfológico. Igualmente, su ubicación en la zona tropical donde la acción directa de fenómenos climáticos modulados por la topografía (p.e. gradientes altitudinales de hasta más de 5500 m), facilita la formación de paisajes únicos. Paisajes de alta montaña con sistemas paramunos y de nieves perpetuas, sistemas volcánicos activos y dormidos, sabanas tropicales y amazónicas, valles interandinos o extensas llanuras aluviales, desiertos de montaña, planicies y altiplanicies tanto erosivas como depositacionales, entre otros. Esta variedad geológica también ha determinado la diversidad del territorio, no solamente expresada en la multiplicidad del relieve y las geoformas o el mosaico climático y de flora y fauna, sino también en su economía y cultura, implicando que los recursos naturales hagan parte de los conflictos socioambientales, que su gestión adecuada se convierta por lo tanto en un desafío para el desarrollo sostenible del país.

Los estudios y trabajos dedicados a la conservación en Colombia, y el marco normativo que de allí se desprende, han demostrado una tendencia clara a no abordar con suficiencia los aspectos geológicos básicos, de manera que, por ejemplo, las figuras de protección del territorio no integran el paisaje como una unidad activa y cambiante, altamente vulnerable a perturbaciones tanto naturales como antrópicas, y del cual dependen procesos y flujos de materia y energía claves en todo ecosistema. De esta manera, como ha sucedido en la mayoría de los países, la conservación de los recursos naturales no incluye los elementos abióticos, i.e., "geológicos", dentro de las prioridades de protección. La búsqueda de elementos claves para la aplicación de figuras de Geoconservación en Colombia y la poca integración de lo que llamaríamos el ABC de los abiótico - biótico - cultural, va más allá de modismos o de la simple publicación de artículos científicos. Se trata de un letargo en la concepción de la geología como campo disciplinar y como herramienta básica, e indispensable, en la comprensión del territorio y de las culturas que se expresan sobre el mismo.

El uso del término Geoconservación, que podría definirse como la práctica de preservar, mejorar y promover el conocimiento de aquellas características y procesos ligados a la diversidad geológica que tienen un valor científico, educativo, cultural, estético o ecológico (Sharples, 2002), se vincula con la palabra y el concepto de 'geodiversidad', introducido por primera vez en 1993, poco después de que se acordara el Convenio sobre la Diversidad Biológica en la Cumbre de la Tierra de Río en 1992. La publicidad dada al concepto de biodiversidad en esta conferencia llamó la atención de los geocientíficos, sobre el hecho de que en el contexto de un ámbito disciplinar amplio como la geología también se estudian fenómenos de gran diversidad de un planeta que por naturaleza es geodiverso en las manifestaciones mismas de sus

sistemas constitutivos geo-, hidro-, atmo-, y bio-sfera. Poco después, el neologismo “geodiversidad” fue acuñado de forma independiente por varios geocientíficos (e.g. Stephens, 2020) y la difusión de su uso se hizo desde entonces casi inevitable.

La geodiversidad, desde un concepto amplio, puede ser entendida como un conjunto de fenómenos que benefician a la sociedad, al proporcionar una gran cantidad de bienes y servicios (servicios de geosistemas o servicios de ecosistemas abióticos) de los que dependen el bienestar humano y la prosperidad. Son en efecto las interacciones múltiples de las esferas terrestres previamente referidas, las encargadas de mantener los sistemas de soporte de la vida en el planeta tierra (e.g., Brilha et al., 2018; Gray, 2011). De esta manera, la geodiversidad se convierte en la columna vertebral de la sociedad moderna (Gray, 2018; Brocx & Semeniuk, 2007). Por su parte, el patrimonio geológico, alude a aquellas partes o elementos específicos de la geodiversidad que son identificados y seleccionados, principalmente por su valor intrínseco-científico o para la Geoconservación (Brilha, 2018; Carcavilla, Duran & Lopez-Martinez 2008, p. 1302).

Sin embargo, la definición misma de qué significa o qué implica el patrimonio geológico es aún sujeto de discusión, principalmente debido a apropiaciones que corresponden a aquellas lógicas contradictorias, una disciplinaria y otra territorial, que parecen haber surgido luego de la primera definición del patrimonio geológico en la declaración de la Memoria de la Tierra en 1991 en Digne, Francia (Gonzalez Tejada & Girault, 2019). Dicha definición, parece concentrarse en la historia y el pasado de la tierra más que en sitios o elementos específicos, haciendo un llamado al relacionamiento Hombre-Naturaleza-Territorio, donde el patrimonio geológico es considerado un “bien común del Hombre y de la Tierra” (art. 9, 1991). Se dice que esta lógica más territorial, donde la valorización de la geología corresponde a intereses de desarrollo local, por ejemplo mediante el turismo, inspiró la filosofía de los Geoparques Mundiales de la UNESCO (Jones 2008, p. 273; McKeever et Zouros 2005, p. 275). Oficialmente figura UNESCO establecida desde noviembre de 2015, aunque el reconocimiento de Geoparque Europeo existe desde 2001 y de Geoparque Mundial desde 2004. Su definición es amplia y a la vez compleja, extraemos una de ellas que dice que los “Geoparques Mundiales de la UNESCO empoderan a las comunidades locales y les dan oportunidad de desarrollar alianzas con el objetivo común de promover procesos geológicos significativos, características, periodos de tiempo, temas históricos relacionados con la geología o la belleza

INTRODUCCIÓN |

geológica excepcional” (UNESCO, 2017, p. 2). Una definición que señala esa interacción entre la geología, las comunidades y el desarrollo territorial a partir del geoturismo, que corresponde a la vez a objetivos del desarrollo económico local, educación, conservación e investigación, donde la geología se vincula con otros elementos naturales y culturales para dar un nuevo sentido al territorio.

Por otro lado, la utilización científica del concepto de patrimonio geológico da prioridad a los sitios o elementos específicos, variando igualmente en términos de los valores y/o criterios tenidos en cuenta para su definición. Generalmente se habla de definir los valores de un sitio o elemento geológico a partir “del interés científico, pedagógico, cultural o turístico” (Brilla et al., 2005), mas no se da claridad respecto de cuál de ellos es prioritario, y se da en general libertad a cada investigador o política patrimonial para definirlo. Otros autores prefieren un enfoque más global teniendo en cuenta igualmente los intereses “histórico-culturales, estéticos o socio-económicos” (Panizza & Piacente, 2003, p. 4). Relacionados con estos valores existen igualmente diferentes terminologías o denominaciones, las más comunes son: geositos, geotopos, sitios de la geodiversidad y lugares o sitios de interés geológico (e.g., Reynard & Panizza, 2007).

Estos términos adquieren dimensiones diferentes según el contexto en el cual se utilizan. Así, por ejemplo, un geosito puede ser considerado un sitio de valor internacional reconocido dentro del Programa Internacional de Geosites, mientras que, en el contexto de Geoparques Mundiales de la UNESCO, al considerar “Geo = Earth” (Martini 2009, 87) o “Mother Earth” (UNESCO 2016, p. 11), los geositos no son únicamente geológicos, sino que toman sentido en un relato global del territorio más amplio y que vincula los elementos naturales (bióticos y abióticos) y culturales (materiales e inmateriales). De manera oficial en Colombia, el Decreto 1353 y la Resolución 732 de 2018, establecen definiciones y

normativas relacionadas con el patrimonio geológico y paleontológico por medio del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico del país, con el Servicio Geológico Colombiano (SGC) como organismo regulador encargado.

Otros conceptos aparecen en contextos más locales, como el de “georrecurso cultural” en Andalucía, España, que tiene en cuenta los valores didácticos y económicos y no solamente los científicos. Considerando un concepto “más moderno y amplio” que el del patrimonio geológico, “un georrecurso puede no tener un excepcional valor científico, pero sí una alta potencialidad para una utilización económica, geoturística,” (Villalobos Megía & Pérez Muñoz 2006, p. 19), como una posición que cambia la lógica del uso de este término en España (Gonzalez Tejada & Girault 2019). El no tener en cuenta las diferencias entre los distintos términos, sean estas pocas o sustantivas, puede banalizarlos y terminar por remover todo sentido. A excepción de los geotopos, los lectores encontrarán que los investigadores colombianos que participan de este volumen hacen referencia a estos términos, e incluso aparecen nuevos. Esta es una invitación a los lectores y futuros autores a reflexionar sobre el uso de estos y otros vocablos en el contexto de posibles preguntas tales como: ¿En qué contextos aparece uno u otro? ¿Cuáles son los objetivos planteados por diverso autores al hacer uso de terminología específica? ¿Hay algún solapamiento de términos y cómo aporta o no dicho traslape a la difusión?

Además de las complejidades mismas de lo terminológico, no existe tampoco una única metodología aproximara las realidades complejas de los inventarios del patrimonio geológico, su valorización y cuantificación. Generalmente se habla de los objetivos de realización del inventario como una variable que define el o los valores prioritarios para realizar el inventario y definir cuál será o cuáles serán considerados elementos patrimoniales desde lo geológico. Sin embargo, con frecuencia se soslaya la importancia que tiene el rol los investigadores. Entendiendo estos últimos como “fabric-actores del patrimonio” (De Suremain & Galipaud, 2015), se hacen evidentes las propias percepciones, condicionadas y sometidas a diversas influencias, según los propios intereses y el contexto dentro del cual se da el proceso de patrimonialización, o definición del patrimonio. Teniendo en cuenta que los trabajos de inventario, valoración y cuantificación van de la mano con procesos de comunicación científica, sea con públicos especializados o no, los investigadores influyen, de una manera u otra, el cómo relacionarse con esos elementos de la naturaleza abiótica a ser patrimonializados. Es decir,

INTRODUCCIÓN |

quienes patrimonializan portan consigo sus propios intereses científicos, sociales, económicos, políticos, y ambientales, entre otros, que se manifestarán sin duda en la construcción, o redefinición, del sentido de lo geopatrimonial para el territorio en cuestión.

Este volumen nos muestra que las influencias pueden darse de manera pasiva cuando el investigador aporta unas recomendaciones para que los órganos gestores o esferas gubernamentales tomen decisiones de política pública y privada con base en los resultados investigativos (Capítulos 2, 3, 4 y 5). Sin embargo, los investigadores están integrando actividades educativas y de construcción del conocimiento de manera creciente, dentro de sus propuestas investigativas en el territorio (Capítulos 6, 7 y 8). En algunos casos, dando un paso más allá, los investigadores están acompañando a las comunidades a construir proyectos territoriales y patrimoniales basados en esos recursos geológicos identificados de manera colaborativa (Capítulos 9 y 10). Es en este contexto que aparece el concepto de “geoturismo”.

Según Frey et al. (2006, 96) el geoturismo fue reconocido como una disciplina por la comunidad de las geociencias en Alemania desde finales de los años 90. En la bibliografía internacional se identifica a T. Hose como el primer autor en aproximar una definición formal a este término en 1995, aunque más que conceptualizarlo, se centró en plantear la praxis del geoturismo como “la provisión de servicios interpretativos permitiendo a los turistas adquirir conocimientos y comprender el paisaje de un sitio más allá de una simple apreciación estética” (Hose, 1995, p. 17 citado por Hose 2000, pp. 135-36), que luego modificó en el año 2000 al definir el geoturismo como “la provisión de estructuras y servicios interpretativos a fin de promover el valor y beneficio de los sitios y materiales geológicos y geomorfológicos para la sociedad, para que estos sean conservados y estén al servicio de estudiantes, turistas y otros visitantes”. Cabe resaltar que el desligar la geología de la geomorfología, es sujeto de discusión entre la

INTRODUCCIÓN |

comunidad de las Ciencias de la Tierra, al punto que desde los abordajes de Davis, (1989) y ; Penck (1953), se ha sugerido tácitamente que la geomorfología se sitúa dentro de la geografía (Baker, V. R., & Twidale, C. R. (1991). The reenchantment of geomorphology. *Geomorphology*, 4(2), 73-100.

Thorn, C. E. (Ed.). (1996). *The scientific nature of geomorphology*. Bruce Rhoads.

Autores como M.L. Frey consideran que no tiene sentido desarrollar el geoturismo concentrándose únicamente en la divulgación de las Ciencias de la Tierra, ya que, para ser apropiado por las comunidades, estas necesitan entender su beneficio, que pasa de manera importante por lo económico, con lo cual se requiere combinar las actividades educativas con estrategias de mercadeo, utilizando el patrimonio geológico del territorio (Frey 2015, p. 2), lo cual debería ser abordado desde un enfoque “sostenible del geoturismo” (Hose 2016, p. 166). Existen otras definiciones del geoturismo que se aproximan más o menos a las anteriores. La Declaración de Arouca en 2011, dentro del marco del Congreso Internacional de Geoturismo en el Geoparque de Arouca en Portugal, con la cual se define el geoturismo en el contexto de los Geoparques. Esta declaración, surgió en respuesta a la definición dada desde la National Geographic, que pone en el centro de “el valor” a la geografía y no a la geología.

Podría afirmarse entonces que el geoturismo tiene un carácter polisémico (Gonzalez-Tejada et al. 2017; Hose 2016), que se puede interpretar a distintos intereses económicos, políticos, culturales, ambientales entre otros y que permean toda las actividades tendientes a mediar en la mitigación de impactos diversos en el territorio. En este volumen, aunque no se analiza específicamente el geoturismo como objeto epistemológico, cada contribución hace evidente la interacción indisoluble entre el estudio de la geodiversidad y el patrimonio geológico con los objetivos de Geoconservación (Carcavilla et al. 2011). A esto se suma el solapamiento de intereses económicos, sociales y políticos, a los cuales deben adaptarse los investigadores, según el contexto propio de cada caso de estudio. Sin embargo los aportes contenidos en este primer volumen dan cuenta del potencial educativo y de apropiación espacial en el territorio, que tiene asociado el trabajo en geoturismo, toda vez que las nociones iniciales sobre el universo de cosas geológicas que hacen el territorio, particularmente en ámbitos rurales, se teje a partir de la experiencia inmersiva en el lugar, es decir, en el suelo, las aguas (quebrada, río, lago, estuario, mar), las rocas, la lluvia, entre otros (Pralong, J. 2006).

De esta manera, el geoturismo adquiere importancia como herramienta no solo para mejorar la calidad de vida desde el punto de vista económico-monetario de las comunidades, sino como forma de mantener, mejorar y apropiar el acervo de conocimiento local y científico sobre el lugar. Su potencial radica en formas de aprendizaje eficientes tales como el aprendizaje experiencial, el aprendizaje inmersivo y el aprendizaje basado en el lugar como formas pedagógicas que refuerzan con frecuencia las débiles experiencias de enseñanza-aprendizaje en el contexto de la escuela rural, cuya eficacia requiere ser analizada a partir de estudios de públicos (Daignault & Schiele, 2014; Le Marec, 2007, 2013; Le Marec & Chaumier, 2009), y más específicamente desde la evaluación de las didácticas de la tierra, para dar lugar o no a una apropiación social del conocimiento científico para la comunidad y desde la comunidad.

Las investigaciones realizadas durante los últimos años por los diferentes autores que participan en este primer volumen evidencian y proponen, mediante casos de estudio aplicados, diferentes estrategias de Geoconservación en Colombia, entendiendo esta última como una herramienta de planificación territorial desde la geología, la geomorfología y los procesos de patrimonialización relacionados. Frecuentemente, los intereses disciplinarios y territoriales se superponen, necesitando de un trabajo de articulación de actores. Esto muestra la complejidad que conllevan dichas iniciativas. En un país como Colombia, la necesidad de participar en la creación de nuevas oportunidades de educación, desarrollo y mejora en la calidad de vida, hace que las estrategias de Geoconservación vayan de la mano con estrategias de construcción de la paz (Tavera-Escobar et al. 2019).

El presente volumen, para lanzar el proyecto editorial de Geoconservación en Colombia: Aproximaciones teórico-prácticas. Volúmen 1, contempla 10 capítulos y un texto final. Organizados desde la presentación de un estado del arte teórico en el Capítulo 1, para enfocarse luego entre los capítulos 2 y 7 en los estudios geocientíficos y sus diversas estrategias vinculadas a la Geoconservación, con distintas metodologías de inventarios,

INTRODUCCIÓN |

valoración y cuantificación. Los últimos 3 capítulos, presentan tres metodologías y herramientas diferentes para la apropiación social del conocimiento a partir de estrategias participativas multinivel y comunitarias. Al cierre del volumen y a manera de epílogo, se presenta un texto especial en homenaje póstumo al colega geólogo y amigo Miguel Ángel Tavera, quien, desde otras molecularidades y bajo otras formas de percepción, es aun parte de los sistemas terrestres, y quien con su entusiasmo inagotable inspiró en gran medida la fusión de los trabajos aquí presentes.

En el Capítulo 1, Juan Esteban Quintero Marín y María Isabel Marín-Cerón presentan un estado del arte de los conceptos fundamentales, que son utilizados a lo largo del libro: la geodiversidad, el patrimonio geológico y el geoturismo. Se analizan allí, en un esbozo preliminar, las líneas difusas que separan estos dominios, pero otras que al mismo tiempo los vinculan y los entretejen a la manera de hilos invisibles. Los autores hacen evidente el atraso en los estudios y desarrollos en el campo de la Geoconservación, pero al mismo tiempo, nos muestran un panorama favorable de perspectivas para Colombia.

La urgencia de la conservación del patrimonio geológico como una responsabilidad social es abordada en el Capítulo 2 por Juan G. Osorio-Cachaya, Ángela M. Henao-Aroyave y Juan D. Ospina-Correa. Allí, se vislumbra también la posibilidad de poder generar oficialmente la declaratoria de un sitio específico como patrimonio geológico, posibilidad a la vez restringida por la dificultad de desarrollar un inventario nacional o regional sin una base metodológica oficial, con carácter técnico. Complementando el estado del arte sobre los términos: geodiversidad, patrimonio geológico, geositios y Geoconservación, así como de los trabajos avanzados en relación con estos, los autores hacen un foco sobre los desarrollos realizados en el departamento de Antioquia, zona de estudio de dicho capítulo. Mediante un análisis bibliográfico y un abordaje práctico, los autores introducen una reflexión sobre el uso de la terminología, resaltando la necesidad de un enfoque sistemático en el ámbito de las estrategias de Geoconservación, donde el valor científico es priorizado para el reconocimiento del patrimonio geológico.

Los tres capítulos siguientes presentan algunos de los trabajos desarrollados dentro del grupo de Geología Ambiental y Tectónica de la Universidad EAFIT en Medellín, a partir de tres estudios de caso complementarios en el departamento de Antioquia. En el Capítulo 3, Miguel Ángel Ramírez-Calderón, Miguel Ángel Tavera-Escobar y

María Isabel Marín-Cerón, presentan un inventario de Lugares de Interés Geológico, mediante la aplicación de una metodología compuesta a partir de las experiencias de varios autores. Un trabajo cuyo objetivo es servir como referencia para explicar la evolución litológica y geomorfológica de los municipios de Belmira y Entreríos, en un contexto de preservación y gestión mediante el conocimiento del relieve superficial. Resaltando la importancia de integrar los inventarios geológicos como herramienta para la toma de decisiones en las regiones, los autores, parten de la necesidad de capacitación de los actores territoriales en torno a lo que son estos recursos naturales abióticos y como se puede prevenir su pérdida. Se introduce la construcción colaborativa de una georuta que identifica y destaca los recursos geológicos en ambos municipios y que complementa la ruta ecológica existente.

En el Capítulo 4, Luisa Restrepo-Marín, María Isabel Marín-Cerón y Juan Fernando Zapata, aplican una metodología mediante métodos heurísticos para la valoración de la geodiversidad en el Valle de Aburrá, se presenta un inventario preliminar de Lugares de Interés geo-arqueológico y se proponen cuatro geo-rutas o itinerarios geocientíficos. Finalmente, en el Capítulo 5, Juan Fernando Zapata, Miguel Ángel Tavera, Juan Felipe Paniagua y María Isabel Marín Cerón, hacen un recorrido en el Área Protegida Ensenada de Rionegro (APER), municipio de Necoclí, hacia el análisis cuantitativo y cualitativo (1992 y 2019), que permitieran la modelación de escenarios de erosión en condiciones prístinas y antrópicas, con el fin de identificar aquellas zonas afectadas por el aumento en la producción de sedimentos por intervención antrópica, así como el aumento de zonas de riesgo por pérdida de suelo.

INTRODUCCIÓN |

Saliendo del contexto andino y del departamento de Antioquia hacia el litoral Pacífico chocoano, en el Capítulo 6 Juan Esteban Quintero-Marín, Bibiana Echeverri Ríos y César Isaza construyen una propuesta de geoturismo articulada al proyecto Ecolodge El Almejal en el Corregimiento del Valle del Municipio de Bahía Solano. El ejercicio se plantea a partir de una caracterización geológica (geomorfología, litología, estructuras, entre otros) en los alrededores del Ecolodge en ambientes tanto marinos como terrestres, fluviales y de montaña. De este se genera un inventario preliminar de sitios de geodiversidad que incluye el cálculo del valor turístico, el valor didáctico, y la susceptibilidad a la degradación, para finalmente, crear un sistema de rutas geológicas cercanas al Ecolodge y diseñar contenidos texto-gráficos que permiten la divulgación del conocimiento geológico en el área de influencia del Ecolodge, con un potencial importante hacia la gestión local del geoturismo por parte de pequeñas organizaciones sociales, así como un potencial por plantear en términos de interacción con las escuelas locales para el uso de estas georutas en procesos de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias de la Tierra en un contexto rural.

Presentando un caso del departamento del Tolima, Harlison Torres-Herrera, Caridad Brito-Ballesteros y Franklin Emir Torres, enseñan en el Capítulo 7 un amplio inventario de geositos en una zona de estudio que cubre diez municipios del departamento, compartiendo como eje central la vía Panamericana. Al igual que el caso de estudio precedente, los autores centran su objetivo en el uso de estos geositos y/o georrecursos culturales para la construcción de estrategias de Geoconservación basadas en el geoturismo, con el doble interés del desarrollo sostenible y la divulgación científica, y articulando los valores geológicos con los valores culturales. Se resalta la importancia de una dinámica participativa que integre la comunidad, el gobierno local, la academia y la empresa privada enfocada en generar beneficios sociales y económicos que permitan el desarrollo de las comunidades que habitan el territorio.

En ese interés de acercar la geología a la sociedad, los dos capítulos siguientes, asumen la cotidianidad de los espacios en los cuales los actores locales transitan día a día, para contar la historia de la Tierra y entender cómo los elementos o sistemas que la conforman están presentes e interactúan con nuestro propio pasado y presente, determinado de alguna manera nuestro futuro. En el Capítulo 8, María Isabel Marín-Cerón y Catalina González Tejada, en transición hacia la escala local y sobre un ambiente urbano y de campus universitario, presentan estrategias de aprendizaje activo-experiencial, con la

utilización de medios virtuales, de las Ciencias de la Tierra en diálogo con otros campos de estudio como la arqueología y la museología. Partiendo del reconocimiento y la exploración del campus de la Universidad EAFIT, las autoras presentan una georuta universitaria, quizás la primera en el país, en la cual se observan 5 Lugares de Interés Geoarqueológicos. A partir de una experimentación ex situ y de aula al aire libre, donde “los muros de la Universidad hablan”, se cuenta la historia geológica de Colombia desde 1.400 Ma así como la historia de ocupación del territorio desde 10.000 AP hasta el presente. Dirigida a diferentes niveles de la sociedad, Al Campus Georuta se enmarca en los objetivos del itinerario 2030 de la Universidad EAFIT.

Seguidamente, María Isabel Marín-Cerón, Catalina González-Tejada, Mateo Arboleda, Aida Aristizábal-Giraldo, Francisco Restrepo y Miguel Tavera-Escobar hacen un recorrido en el Capítulo 9 por los territorios de influencia de ISAGEN en el país, con un proyecto innovador desde la universidad en el que se fortalecen diálogos a una escala multinivel: ciencia-industria-sociedad, para la construcción del conocimiento científico. Los autores nos presentan una experiencia que permitió revelar nuevos sentidos del entorno y los recursos geológicos desde la cotidianidad de los empleados de ISAGEN que, mediante una dinámica de cartografía participativa, dio como resultado una serie de geo rutas. De ese diálogo multinivel, surgen proyectos científico-sociales como el de Geografía de la Guerra y otros emprendimientos turísticos y educativos, con una visión bio-geo-humana en el territorio.

INTRODUCCIÓN |

Pensar en una simbiosis entre científicos y comunidades para emprender proyectos geopatrimoniales parece a veces utopía. En el Capítulo 10, coescrito por científicos y comunidades, al igual que el precedente, Albeiro Rendón-Rivera, Alba Nelly Gómez-García, Juan Esteban Quintero-Marín, Lina Marcela Cifuentes-Correa, Angela María Henao-Arroyave, Juan Guillermo Osorio-Cachaya, María Paulina Henao-Valencia, Sara Ortega-Ramírez y Arnulfo Berrio-Naranjo presentan un caso que se ha vuelto referencia a nivel nacional: la Ruta Geoarqueológica del Corregimiento El Prodigio en el Municipio de San Luis, Antioquia. Construida mediante una metodología participativa de “talleres diagnóstico-educativos”, la estrategia pedagógica fue “aprender haciendo”, privilegiando la vivencia, el disfrute y el uso de los sentidos para establecer ese vínculo con la naturaleza y compartir el conocimiento que permitiese a las comunidades participar activamente a lo largo del proceso de construcción de la ruta, hasta su puesta en marcha. De este modo se intenta garantizar, mediante el empoderamiento comunitario, la continuidad del proyecto y, sobre todo, la conservación de los sitios de interés geológico a través de esa nueva mirada holística de los recursos naturales y culturales como ejes turísticos y de resiliencia en el contexto de postconflicto en el territorio. Esta iniciativa patrimonial ha sido acreditada por el Ministerio de Cultura desde el año 2019.

El último texto, más que un capítulo, es una especie de epílogo como homenaje póstumo a un naturalista y geólogo colombiano, quien, a pesar de su corto viaje por la Tierra, dejó un gran legado. Hilando enfoques, actores, casos y campos de estudio, Miguel Ángel Tavera, inició el proyecto de “Geografía de la Guerra” como una necesidad de integrar el conflicto, las presiones y manifestaciones ambientales, a través del testimonio se vuelve dato científico. Como describe Daniel Hermelin, a partir de uno de sus episodios de podcast Miguel Ángel, nos muestra su sensibilidad y capacidad para dar voz a la gente marginada y vincular sus relatos con la memoria histórica y la memoria de la tierra en los territorios.

Un elemento común de los distintos autores, y que motiva la realización de este primer volumen, es el escaso protagonismo de las Ciencias de la Tierra en la conversación nacional, más específicamente la geología sensu extenso, no solamente como herramienta para la exploración y explotación de recursos naturales en el marco de una agresiva política extractivista, así lo anterior pese a la preponderancia de asuntos tales como el Antropoceno, los límites planetarios y el cambio climático-ambiental global entre otros, todos elementos esenciales en la geología moderna, que requieren ser discutidos y analizados en próximos volúmenes.

Casi todos los capítulos cargan de una manera u otra con elementos importantes desde lo educativo-pedagógico, como forma de contribuir a mitigar la poca visibilidad que tienen las Ciencias de la Tierra en la sociedad (e.g. Orion & Charles en: Abell & Lederman, 2007), condición sobre la que se asienta en cierta medida el complejo estado de condiciones medioambientales en el mundo actual. Aunque, una de las grandes críticas de los enfoques educativos utilizados en relación con la geología, es el de mantener a distancia a los públicos de la concepción de los contenidos (Leite Mansur 2009), con lo cual se alude a la baja receptividad y baja apropiación de las propuestas de los investigadores, principalmente mediante la creación de georutas. Este volumen es un testimonio de que cada vez más los investigadores geólogos quieren participar y hacer partícipes a los actores locales en los territorios, hacia la construcción colectiva del conocimiento geocientífico.

La esperanza de estos nuevos enfoques más participativos es que dichos aprendizajes compartidos y cocreados permitan desarrollar estrategias de Geoconservación pertinentes. El geoturismo, entendido a veces desde su sentido geológico y otras desde su sentido más holístico, se manifiesta como una oportunidad sin precedentes para articular intereses científicos, culturales, sociales, y económicos, con el fin de favorecer la apropiación social del patrimonio geológico, así como para avanzar en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, a la cual se acoge el gobierno colombiano como hoja de ruta estratégica y herramienta para generar condiciones habilitantes de una paz estable y duradera¹.

INTRODUCCIÓN |

Buena parte de los trabajos en este volumen proponen alternativas para avanzar en la creación de Geoparques Mundiales de la UNESCO, como posibles estrategias globales para el desarrollo del geoturismo y la Geoconservación en los territorios. Conceptos que están implícitos en la concepción de esta figura (McKeever & Zouros, 2005), cada vez más popular en Latinoamérica y con un potencial en Colombia, dada su alta diversidad geológica, biológica y cultural. Esta figura de Geoparques podría desarrollarse en un próximo volumen de “Geoconservación en Colombia: **Aproximaciones teórico-prácticas**”.

Este proyecto editorial que presentamos, al cual esperamos se le dé continuidad, es el fruto de un diálogo entre profesores e investigadores de varias instituciones de educación superior y del ámbito profesional en Ciencias de la Tierra y dentro del convenio interinstitucional Cátedra del Agua, para dar visibilidad a los trabajos en curso en el país, abriendo las problemáticas, cuestionamientos, metodologías y aproximaciones a otras disciplinas y campos de estudio. Al mismo tiempo, el desarrollo del presente volumen se dio en paralelo con la conformación de la “Red Colombiana de Geoconservación” en mutuo acuerdo entre la Universidad EAFIT, la Universidad Nacional Colombia sede Medellín, el Servicio Geológico Colombiano y la Sociedad Colombiana de Geología.

Agradecemos a todos los autores por haberse tomado el tiempo para llevar a cabo y luego compartir sus estudios de caso con una comunidad emergente y cada vez más entusiasta y comprometida de geocientíficos, aportando nuevas reflexiones en este interesante campo de pensamiento, que de hecho permite transitar interepistémicamente hacia otros ámbitos de estudio a quienes invitamos a compartir igualmente sus análisis y cuestionamientos hacia un diálogo multidisciplinar alrededor de la Geoconservación en Colombia.

¹ <https://www.ods.gov.co/es/about> consultado 21 junio de 2021.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE DE LA GEODIVERSIDAD, EL PATRIMONIO GEOLÓGICO, Y LA GEOCONSERVACIÓN: PERSPECTIVAS PARA COLOMBIA

Juan Esteban Quintero Marín^{1,2}, Sergio Andrés Restrepo-Moreno^{3,4}, María Isabel Marín-Cerón⁵,

¹*Estudiante, Máster Europeo en Paleontología, Geopatrimonio & Aplicaciones (PANGEA), Université de Lille (Francia), Universidade do Minho (Portugal).*

²*Grupo de Investigación en Geología Ambiental GEA y Área de territorios y ciudades, – Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia) juequinteroma@unal.edu.co*

³*Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (Colombia) sarestrepom@unal.edu.co*

⁴*Department of Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, FL (USA) sergiorm@ufl.edu*

⁵*Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo de Investigación Geología Ambiental y Tectónica, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia – mmarince@eafit.edu.co*

“Nuestra historia y la de la Tierra son inseparables, su origen y su historia son los nuestros, su futuro será nuestro futuro”

[Declaración Internacional sobre los Derechos de la Memoria de la Tierra](#)

1. Breve historia del patrimonio geológico

En 1991, en un montañoso poblado al sur de Francia, tuvo lugar la primera Conferencia Internacional sobre Patrimonio Geológico, que resultó, entre otros, en la Declaración Internacional de los Derechos de la Tierra, con nueve estamentos en los que, desde la razón y el sentimiento, se apela a la importancia del patrimonio geológico para la humanidad. Esta declaración marcó un hito en la historia del concepto de patrimonio geológico. Después de su elaboración, como apuntan Reynard y Brilha (2018), el interés por asuntos relacionados con el patrimonio geológico tales como geoconservación, geoturismo, y geoparques, comenzó a crecer, acompañado de iniciativas territoriales a lo largo de todo el mundo. El uso teórico y práctico de estos conceptos ha incrementado en el tiempo, y se refleja en años recientes, por ejemplo, en el aumento de publicaciones científicas relativas a estos conceptos en revistas especializadas como Geoheritage, en iniciativas como la Red Global de Geoparques de UNESCO, y en diversos proyectos a nivel local, nacional, regional y global.

¹La Declaración Internacional de los Derechos de la Tierra en su versión en castellano se puede consultar en <https://www.igme.es/patrimonio/links/declaracionDigne.htm>.

La preocupación por el patrimonio geológico evolucionó a partir de las tendencias conservacionistas que surgieron en algunos países a comienzos del siglo XX, en las que diferentes naciones entendieron el valor que ciertos lugares naturales tenían por sí mismos y que por ende debían ser conservados (Carcavilla et al., 2007). Por ejemplo, el Parque Nacional de Yosemite en Estados Unidos, declarado en 1864 por el presidente Abraham Lincoln, dio inicio a un sistema de áreas protegidas en el que los elementos geológicos jugaron un importante papel. De manera independiente, otros países como México (Parque Nacional el Chico, primero en Latinoamérica), Cambodia (Angkor Wat), Sudáfrica (Parque Nacional Kruger) y Argentina (Parque Nacional Iguazú) fueron pioneros en el establecimiento de parques naturales entre finales del siglo XIX y la década de los años 30.

En 1948 se fundó la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), autoridad mundial para asuntos de conservación y que actualmente establece los distintos niveles de protección a escalas internacionales, nacionales, regionales y locales. En 1972, en el Artículo N°2 de la primera Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de la UNESCO (UNESCO, 1972, 1999) se incluyen las formaciones geológicas y fisiográficas como parte del patrimonio natural. Cada año, desde la segunda sesión en 1978, el Comité del Patrimonio Mundial (WHC, por sus siglas en inglés), inscribe sitios naturales de “valor extraordinario universal” entre los que a menudo destacan localidades con rasgos geológicos dominantes, por ejemplo, los parques nacionales Yellowstone y Nahanni en USA (1978), el Parque de los Glaciares en Argentina y el Parque Kakadu en Australia (1981), y la Calzada de los Gigantes en Irlanda (1985), entre otros (Figura 1).



Figura 1. Cascada de los Gigantes en Irlanda, sitio incluido en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1985. El componente geológico en el paisaje es predominante.
Fuente: Irlanda, <https://www.ireland.com/es-es/things-to-do/attractions/giants-causeway/>

En 1988, en Holanda, se dio el primer encuentro internacional sobre geoconservación, en el que participaron 7 países europeos. Esta reunión derivó en la fundación de un grupo de trabajo europeo en la conservación de las Ciencias de la Tierra, que evolucionó en 1993 a la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico - ProGEO (ProGEO, s.f.). Un año después, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) creó la Lista Indicativa Global de Sitios Geológicos (GILGES) (Wimbledon et al., 1999). Si bien esta iniciativa no sigue en marcha, ayudó a la difusión del patrimonio geológico y a potenciar la importancia de los inventarios sistemáticos (Pereira, 2010). Tras la conferencia de Dingle en 1991, los principales avances en patrimonio geológico y geoconservación han estado en el establecimiento de territorios como Geoparques UNESCO y en la creación de redes regionales de Geoparques, tras la creación de la Red Europea de Geoparques en el año 2000 (Figura 2). En el 2020, la IUCN, al ampliar su foco centrado en la protección del patrimonio biológico, lanzó las Guidelines for Geoconservation in Protected and Conserved Areas (Crofts et al., 2020).

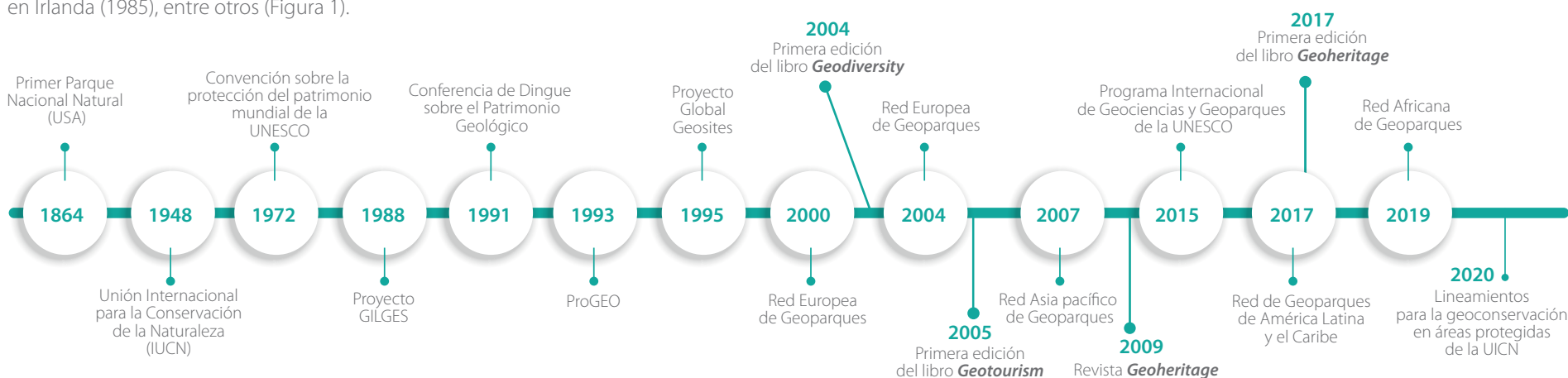


Figura 2. Línea de tiempo del patrimonio geológico y algunos hitos en la conservación de la naturaleza. **Fuente:** Elaboración propia.

A pesar de estos avances dentro de la protección de la naturaleza, el patrimonio geológico podría ser considerado como el gran olvidado (Carcavilla et al., 2007). Tal y como se aborda en la siguiente sección, dentro del espectro de la diversidad natural, la geodiversidad es a menudo relegada, en la medida que la diversidad de la naturaleza es con frecuencia entendida como la diversidad de la naturaleza viva (Milton, 2002, p.115 en Gray, 2011), a pesar de que la conservación de la naturaleza, desde una perspectiva moderna, debe incluir en su gestión tanto los elementos bióticos como los abióticos, i.e., la naturaleza viva y la “no viva” (Gray, 2011).

2. EL PATRIMONIO GEOLÓGICO COMO REPRESENTANTE POR EXCELENCIA DE LA GEODIVERSIDAD

Tras analizar el papel que tiene la geodiversidad en el rango de la diversidad natural, surgen algunas preguntas como: ¿deben ser protegidos todos los elementos de la geodiversidad?, ¿qué lugar ocupa el patrimonio geológico dentro del patrimonio natural? A continuación, se discutirá acerca del patrimonio geológico como el conjunto de elementos que, por su valor o interés especial para la humanidad, merecen ser protegidos o promocionados como representantes por excelencia de la geodiversidad.

2.1. Geodiversidad

En las últimas décadas, la preocupación por el medio ambiente y la conservación de la naturaleza se han convertido en una de las principales inquietudes de la humanidad. Actualmente, la mayoría de personas entiende el concepto de “biodiversidad” y la necesidad de proteger las especies más amenazadas, así como las diferentes maneras en las que la sociedad se beneficia de la naturaleza viva (Brilha et al., 2018). Sin embargo, pocas personas, incluyendo geocientíficos, perciben la importancia de la geodiversidad para la gestión integral de la naturaleza y de los servicios que ésta presta, que en los últimos años

han recibido el nombre de servicios geosistémicos (e.g. Gray, 2011; Bastian & Khoroshev, 2015; Van Ree et al., 2017; Brilha et al., 2018).

Después de la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 sobre el medio ambiente y el cambio climático, la atención que se le dio al concepto de biodiversidad resultó en la primera introducción de la palabra “geodiversidad” en 1993 (Gray, 2018). Dos principales corrientes han sido mencionadas para definir la geodiversidad (Carcavilla, 2014). La primera corriente la marca el profesor Murray Gray, quien introdujo el concepto de geodiversidad como “la variedad natural de elementos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas de relieve, topografía y procesos físicos), pedológicos e hidrológicos” (Gray, 2013 p. 12) en el libro: *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. Este acercamiento considera la geodiversidad como el equivalente de la biodiversidad, es decir, como toda la variedad natural del universo abiótico. Una definición similar fue propuesta por Serrano y Ruiz-Flaño (2007) como “la variedad de la naturaleza abiótica, incluyendo elementos litológicos, tectónicos, geomorfológicos, hidrológicos, topográficos y suelos; procesos físicos en la superficie de la Tierra (incluyendo mares y océanos); y sistemas generados por procesos naturales y antrópicos”. La segunda corriente se enfoca más en aspectos estrictamente geológicos. Algunas definiciones de esta corriente son, por ejemplo, la geodiversidad como “la variedad que vemos en las rocas, depósitos superficiales y formas del paisaje, y todos los procesos geológicos que construyen y erodan la corteza terrestre (...) la geodiversidad está hecha de diferentes elementos y procesos que juntos forman geotopos” (Nordic Council of Ministers, 2003 p. 2). En este sentido, este acercamiento más geológico le da pie a Carcavilla et al., (2007 p. 134), para definir la geodiversidad como “la diversidad geológica, con relación a los rasgos geológicos presentes en un lugar y a cómo estos ilustran la evolución geológica del mismo. Por lo tanto, estará compuesta por una serie de entidades físicas finitas que serán rasgos geológicos concretos (afloramientos, formas del terreno, elementos unitarios, agrupaciones de ellos, etc.) que tendrán unos límites concretos y que serán resultado de la acción de ciertos procesos geológicos”.

A la luz de la ciencia de los sistemas terrestres, como paradigma dominante en el ámbito disciplinar de las geociencias, llamar a los elementos geosféricos (rocas, minerales, suelos) lo “estrictamente tan geológico” implicaría ignorar la existencia y los múltiples tipos y relaciones entre las esferas que conforman los sistemas terrestres, a saber, la geo-, hidro-, atmo- y bio-sfera (e.g. Serrano & Ruiz-Flaño, 2007;

Gray, 2011; Brilha et al., 2018; Gray, 2018). La aproximación a las ciencias de la Tierra desde los sistemas, más allá de su identidad como componentes, presenta una mejor oportunidad no solo para entender y valorar la geodiversidad sino que permite mejores y más eficaces estrategias en educación, y por lo tanto en preservación (e.g., GSA, 2011; Orion, N. & Charles, R. in: Sanda K. Abell and Norman G. Lederman 2010). De manera que las definiciones anteriormente abordadas, evidencian diferencias que plantean cuestiones filosóficas, como, por ejemplo, si se deben o no considerar los cuerpos de agua como un elemento abiótico fundamental y que hace parte de la geodiversidad. En dicho contexto uno podría preguntarse si en un sitio de geodiversidad como Yellowstone tiene más fuerza su componente litológico-estructural que su componente hidrológico. La respuesta es simplemente ¡no! Lo mismo podría plantearse para los sistemas kársticos de cenotes y redes fluviales superficiales y subterráneas en las penínsulas de Florida (USA) y Yucatán (México y Guatemala) donde la belleza del lugar (geomorfológica, coberturas vegetales, etc.) y su valor patrimonial, tiene todo que ver con el agua. Adicionalmente, siguiendo a autores como Bétard (2017), surge el debate respecto a si deben incluirse en la definición de geodiversidad los elementos que, si bien se encuentran en el paisaje, fueron creados por el hombre; por ejemplo, explanadas, terrazas, o cavidades antrópicas, que denotan una potente relación entre el lugar “geológico” y el lugar “cultural”, i.e., la intervención del lugar en sentido amplio para manipular geoformas, materiales, cursos de agua, etc. (e.g., uso de rocas de la localidad en los desarrollos arquitectónicos de lugares como Ciudad Perdida o Nabusímake en la SNSM, el complejo cuevas y pinturas rupestres en Chiribiquete o en las fachadas con fósiles de amonitas en las edificaciones del periodo Colonial en Villa de Leyva para el caso de Colombia, o los conocidos complejos urbanos de Machu Pichu en Perú, Chichén Itzá o Tikal en México y Guatemala respectivamente, e incluso en el los sistemas de pirámides de Egipto). En el fondo es difícil separar lo arquitectónico y lo cultural en general de lo geológico en su sentido amplio.

Estas disyuntivas muestran que construir definiciones desde una ciencia que se caracteriza por fragmentar y compartimentar el universo epistemológico no es sencillo, menos cuando se trata de sistemas con interacciones tan complejas como el medio natural, en el que las diferentes esferas constitutivas del sistema planeta Tierra (geo-, hidro- atmos-, bio-sfera, e incluso la tecno-sfera) están constantemente interactuando de maneras intrincadas. Para el propósito de este libro, la geodiversidad tendrá aún un sesgo relativo hacia la diversidad expresada por entidades como rocas, suelos, geoformas, entre otras, pero incluyendo también lo hidrológico, puesto que en casos como los

propuestos en la presente compilación (e.g., Marín-Cerón et al, Restrepo-Moreno et al; Zapata et al.), se destacará el papel del agua, e incluso la fuerza del fenómeno climático, que en el Chocó, como geografía hiper-pluvial (Restrepo-Moreno et al., este volumen) y en la Tatacoa como desierto (Dill et al., 2020) son altamente dispares, pero que en ambos casos, lo de “clima” y lo del “agua” resulta de profundas interacciones y mecanismos de retroalimentación entre los sistemas acoplados (atmo-, hidro-, geo- y bio-sfera), como elementos centrales de la geodiversidad.

2.2. Patrimonio geológico

La geodiversidad y el patrimonio geológico son frecuentemente tratados, de manera errónea, como conceptos sinónimos. Siguiendo los razonamientos de Gray (2018), la geodiversidad es un término neutral para agrupar y describir la variedad de los fenómenos abióticos en la Tierra, al igual que la biodiversidad agrupa llanamente la diversidad de los seres vivos que habitan el planeta. Ya que muchos elementos de la geodiversidad no tienen un valor científico particular, pero si son recursos importantes para la educación, el turismo o las comunidades, estos sitios no son considerados como patrimonio geológico (Brilha, 2016). Por otro lado, la palabra “patrimonio”, de entrada, alude un carácter especial de algo que se hereda, y que debe ser conservado para transmitir a las futuras generaciones. Así, el concepto de patrimonio geológico implica un juicio de valor, en el que elementos específicos de la geodiversidad son seleccionados para propósitos de geoconservación, debido a su alto valor científico, turístico o educativo (e.g., Gray, 2018; Brilha, 2018; Benton et al., 2020), e incluye los elementos geológicos que mejor representan la historia del planeta y son esenciales para la humanidad (Barettino et al., 2000; Carcavilla, 2006; Brilha, 2018). Así, el patrimonio geológico hace parte del patrimonio natural y se compone de elementos naturales abióticos, delimitables en el espacio, que poseen un interés científico, educativo, cultural, didáctico o divulgativo especial para el área de las Ciencias de la Tierra (Figura 3). De acuerdo con Brilha (2016), el patrimonio geológico está conformado por geositos (in situ) y elementos del geopatrimonio (ex situ) (Figura 3). Para este autor, el patrimonio geológico incluye únicamente sitios con alto valor científico (geositos), así estos sitios puedan tener otros valores adicionales (e.g. estético, cultural, turístico). Los sitios geológicos sin interés científico, para Brilha, se consideran sitios de geodiversidad.



Figura 3. Elementos de geodiversidad y diferencia entre patrimonio geológico mueble e inmueble. La fotografía tiene un fin meramente ilustrativo y el valor patrimonial de los elementos en ella es desconocido. Fuente: Elaboración propia.

Los elementos que componen el patrimonio geológico tienen diferentes nombres formales según las bases o legislación de cada país. En España, son conocidos como Lugares de Interés Geológico (LIGs) o Puntos de Interés Geológico (PIGs). En Colombia, de acuerdo con la legislación sobre patrimonio geológico en marcha, el Servicio Geológico Colombiano los denomina Lugares de Interés Geológico (LIGs) o Bienes de Interés Geológico (BIGs) (Servicio Geológico Colombiano, 2015; Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Algunas de las definiciones clásicas del término patrimonio geológico son ***“el conjunto de elementos geológicos que se destacan por su valor científico, cultural o educativo”*** (Carcavilla et al., 2007) o ***“la red de afloramientos geológicos, formas y procesos bien conservados para fines científicos, educativos, culturales y estéticos, siendo deber de la comunidad geológica internacional y del mundo entero conservarlos y promocionarlos”*** (Theodossiou-Drandaki, 2007). Para la legislación de Colombia, el patrimonio geológico se define como ***“el conjunto de lugares geológicos que poseen valores propios de naturaleza patrimonial con características científicas, culturales y/o educativas, y que permiten conocer, estudiar e interpretar: el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, el origen y evolución de la vida”*** (Ministerio de Minas y Energía, 2018).

Es evidente el carácter amplio y de alguna manera ambiguo de la definición.

El concepto de patrimonio tampoco escapa la complejidad. Como se mencionó antes, puede incluir tanto elementos in situ como elementos ex situ (e.g. Brilha, 2016). En Colombia, esto es equivalente a la diferenciación de patrimonio geológico mueble e inmueble (Servicio Geológico Colombiano, 2015). Así, el patrimonio geológico inmueble (in situ) hace referencia a elementos que se encuentran en su lugar de ocurrencia natural, mientras que el patrimonio mueble (ex situ) se refiere a elementos geológicos que fueron desplazados de su lugar de ocurrencia natural, por ejemplo, a museos, pero aun así conservan su valor. Otros elementos del patrimonio geológico que están relacionados con el patrimonio histórico o cultural son el patrimonio minero y los elementos importantes en la historia del conocimiento geológico de una región, como mapas, artefactos, reportes y libretas de campo antiguas (Figura 4).



Figura 4. (a) Sección de la pared norte del Gran Cañón que ilustra la discordancia entre esquistos Precámbricos Inferiores, lechos Precámbricos superiores de buzamiento pronunciado y la discordancia entre estratos Precámbricos superiores y Paleozoicos (Powell, 1875). (b) Porción del Naturgemälde de A. von Humboldt, sobre la síntesis de literatura y ciencia natural (Alejandro de Humboldt 1769-1969, pp. 103-144. Inter Naciones. Bad Godesberg – Alemania), considerada la primera infografía sobre la naturaleza en la que se ponen en juego las diferentes esferas terrestres conectando clima con topografía y con biota. (c) Imagen de la cartografía geológica y secciones del Terciario Carbonífero de Antioquia cerca al municipio de Venecia, Antioquia (Grosse, 1926). Fuentes varias, imágenes modificadas por los autores.

El concepto de patrimonio geológico también plantea algunos dilemas, no solo al existir diferentes nombres para un mismo concepto, sino también en la misma definición de lo que es el patrimonio geológico. Por ejemplo, Brilha (2016) restringe el patrimonio geológico solo a elementos de la geodiversidad con alto valor científico, llamados geositos. Similarmente, basándose en la definición de patrimonio natural de la Lista de Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, cabe la pregunta de si el patrimonio geológico se refiere solo a elementos de valor universal excepcional, o si puede hablarse de patrimonio geológico de importancia local. Con base en el criterio viii., el Comité del Patrimonio Mundial otorga cada año el reconocimiento de escala internacional a sitios naturales que son ***“uno de los ejemplos representativos de importantes etapas de la historia de la tierra, incluyendo testimonios de la vida, procesos geológicos creadores de formas geológicas o características geomórficas o fisiográficas significativas”*** (Dingwall et al., 2005). Similarmente, proyectos como el Global Geosites², que busca realizar un inventario mundial de los elementos más sobresalientes del patrimonio geológico a nivel global, plantean inquietudes acerca de cuáles son en definitiva los sitios que conforman el patrimonio geológico de la humanidad y cuáles son los criterios para su definición.

En Colombia, aparece la figura de “Bien mueble de interés geológico o paleontológico” como base del patrimonio geológico. Este se define como “cualquier manifestación geológica susceptible de ser objeto de estudios geológicos y/o paleontológicos, que hayan sido extraídos de la corteza terrestre, que se encuentren en la superficie o en el subsuelo, sumergidos bajo las aguas o dentro del sustrato o fondo marino, que siendo parte del patrimonio geológico o paleontológico, sea declarado por el Servicio Geológico Colombiano, de acuerdo con las valoraciones establecidas en el Decreto y la metodología que establezca dicha entidad” (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

²<https://www.igme.es/patrimonio/GlobalGeosites.htm>

3. EL GEOTURISMO Y OTROS USOS DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y LOS ELEMENTOS DE LA GEODIVERSIDAD

De acuerdo con sus características y valores, los elementos de la geodiversidad y el patrimonio geológico pueden tener diferentes usos. La geodiversidad, como se describirá a continuación, ha provisto la humanidad con diversos beneficios y servicios a lo largo de la historia, que últimamente han recibido el nombre de servicios geosistémicos. El geoturismo, objeto de alguno de los trabajos contenidos en este volumen, aparece como una posibilidad para utilizar de manera sostenible los elementos de la geodiversidad, aprovechando su valor estético, educativo, recreativo, cultural y económico.

3.1. Valores de la geodiversidad y servicios geosistémicos

Los elementos de la geodiversidad pueden tener diferentes valores. Los valores de la geodiversidad pueden entenderse como atributos de la geodiversidad que son a su vez razones para protegerla. Los principales valores de la geodiversidad son el intrínseco, el cultural, el estético, el espiritual, el económico, el funcional, el científico y el educativo (Gray, 2004) (ver figura 5). Ejemplos bien conocidos de esta multidimensionalidad los constituyen, de nuevo, lugares “míticos” y profundamente ricos desde los puntos de vista paisajístico, geológico y científico como los sistemas de picos nevados y lagunas sagradas para Kogis y Arhuacos en las cimas de la SNSM en Colombia, o los majestuosos afloramientos rocosos Ulurú y Kata Tjuta de los Aborígenes en el desierto australiano. En ambos casos, y pese a las diferentes condiciones de dichos escenarios naturales-culturales, los elementos de la geodiversidad representan componentes esenciales de la cosmogonía de estos grupos sociales.



Figura 5. Ejemplo de algunos de los valores de la geodiversidad en el territorio del Corregimiento de El Prodigio, Municipio de San Luis, Antioquia. A: Muestra de roca metamórfica in situ. B: Pila de rocas en explotación de mármoles. C: Torre kárstica en una zona utilizada para el eco-turismo. D: Petroglifo ‘El Búho’, ubicado en la base de una torre kárstica. E: Bosque tropical nativo desarrollado sobre mármoles. F: Afloramiento de mármoles perteneciente a una ruta geoturística local. Fuente: Elaboración propia. Cortesía de fotografías C, D: Lina Cifuentes Correa.

La geodiversidad, al ser parte del entorno natural, no solo ha sido usada de manera importante por la sociedad actual, sino, que ha sido utilizada de manera diversa, por seres humanos, (e incluso por otros animales), que han habitado en nuestro planeta durante cientos de miles de años. Los beneficios que la sociedad obtiene del medio natural, por ejemplo, son ampliamente conocidos bajo el concepto de bienes y servicios ecosistémicos (Costanza et al., 1997; Burkhard et al., 2010). Las reflexiones sobre los atributos de la geodiversidad han ido madurando en el mundo académico hasta llegar al concepto de servicios geosistémicos (Gray, 2011; Brilha et al., 2018). Esta idea surge de la concepción de la diversidad natural como una composición de elementos tanto bióticos como abióticos. Así, si uno decidiera incluso que lo geológico es por definición lo no-vivo, podría decirse que los servicios geosistémicos (Tabla 1) son los servicios que presta la porción abiótica de la naturaleza (Brilha et al., 2018), en un conjunto amplio de fenómenos y procesos de gran importancia para el mantenimiento de los sistemas de soporte de la vida en el planeta (Costanza et al., 2014). En efecto, es importante recalcar que la definición de ecosistema dada por Tansley (1935), como un conjunto de comunidades que ocupan un lugar e interactúan entre sí, incluye elementos tanto bióticos como abióticos. Pereira et al., (2019), por ejemplo, llaman la atención acerca de la importancia de la geodiversidad para la definición de los servicios ecosistémicos, y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Tabla 1. Diversidad de los servicios geosistémicos. Basado en Gray (2011).

Tipos de servicios geosistémicos	Algunos ejemplos
Reguladores	Procesos atmosféricos y oceánicos Procesos terrestres (ciclo de las rocas, ciclo del carbón) Control de inundaciones Calidad y cantidad del agua
Aprovisionamiento	Comida y bebida (agua mineral, sal, otros) Nutrientes y minerales para el crecimiento Combustibles Materiales de construcción Minerales industriales Productos ornamentales y piedras preciosas Fósiles
Conocimiento	Historia de la tierra y de la vida Comprensión de procesos físicos Investigación Monitoreo ambiental Educación y empleo
Culturales	Paisajes locales Geoturismo y recreación Significados espirituales, históricos o del folclor Inspiración artística Desarrollo social
Soporte	Suelo como soporte de la vida Provisión de hábitat (cuevas, acantilados, etc.) Entierro y almacenamiento (residuos, rellenos, capturas de carbono)

Fuente: Los autores, con base en Gray (2011).

3.2. El geoturismo

Inevitablemente, casi todo viaje por placer, es decir, toda inmersión en la actividad turística, conlleva alguna observación y algún nivel de disfrute o de fascinación con el hecho geológico, sea este el pasaje, el afloramiento rocoso, el raudal, el fenómeno climático, etc. Lo que hay más allá de la ventana (del hotel, del avión, del carro, del tren) o en el entorno mismo (del ciclista, del caminante, del nadante, etc.) es la expresión multifacética del planeta, en expresiones que con frecuencia se roban el aliento pues desbordan el juego de lo posible en términos de tamaño, de geometría, de color, etc. En tal sentido, casi que toda experiencia turística tiene fuertes elementos de lo geoturístico. Pero el geoturismo va más allá. En una de sus definiciones, el geoturismo está relacionado no solo con el valor estético, sino, también, con el valor económico y el valor cultural de la geodiversidad. Las actividades turísticas basadas en la interpretación de elementos de la geodiversidad tienen también un fuerte impacto en la conservación de hitos naturales y en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades, pues son una manera de obtener beneficios económicos sin la necesidad de actividades extractivas que deterioren parcial o totalmente los elementos de la geodiversidad (Chen et al., 2015; Newsome & Dowling, 2018; Brilha et al., 2018). A manera de ejemplo, en un contexto de clara contradicción entre prácticas de manejo del mismo territorio, se encuentra la Reserva Privada Río Claro, desarrollada en el cañón del río del mismo nombre, un interesante proyecto de turismo de naturaleza y geoturismo utilizando la belleza intrínseca de los paisajes kársticos que resultan del juego entre el agua-clima, el sustrato geológico de mármoles, y la exuberante biota del bosque húmedo tropical. En el curso de dichas actividades, los visitantes ganan conciencia sobre el carácter único de este escaso tipo de escenario natural, y se puede generar una conversación interesante sobre conservación y sociedad. De otro lado, pero justamente en el mismo escenario geobiótico, se dan los agresivos procesos de extracción de materias primas para la industria del cemento y la cerámica por parte de un par de conocidas empresas colombianas. No es del todo extraño que los toures de avistamiento de flora y fauna a lo largo de un recorrido por el río sean interrumpidos por el estruendo de las voladuras de los frentes de explotación de dichas empresas o por el ruido excesivo de sus operaciones mineras. En otras palabras, la mirada sobre el territorio genera acciones distintas sobre este y con ello texturas dispares en la apariencia del lugar y en formas de relacionamiento contrastadas tanto para lugareños como para visitantes. Conflictos similares entre geoturismo-geoconservación y modelos de “desarrollo” basados en la explotación agresiva de recursos

renovables y no renovables se dan en escenarios diversos en nuestro país, desde la ya conocida disputa entre proyectos mineros y prácticas de conservación de turismo de naturaleza en zonas de páramos y en municipios con una fuerte inclinación de turismo de naturaleza y de cultura campesina (e.g., Jericó, Antioquia) hasta los antagonismos recientes en el manejo del territorio que se dan en zonas de riqueza geobiótica mayúscula tipo el Chocó Biogeográfico, en donde iniciativas tales como el Puerto de Tribugá y la extracción intensiva de maderas en Bahía Solano amenazan varios proyectos de reservas privadas dedicadas a promover el turismo de naturaleza (Jardín Botánico del Pacífico en Bahía Solano y Reserva Natural El Amargal en Nuquí), y en ocasiones el geoturismo (e.g., Ecolodge El Almejal, ver capítulo 6 en este volumen), en lugares donde convergen el turismo de naturaleza (eco y geo), la conservación, la investigación científica y el trabajo con la comunidad.

El geoturismo aparece en la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión del Patrimonio Geológico y Paleontológico de Colombia como ***“una estrategia de promoción turística sostenible de un lugar, basada en la divulgación de su patrimonio geológico (...) viajar con objeto de experimentar, aprender y disfrutar el patrimonio geológico, de manera que permita al visitante conocerlo, así como fomentar y estimular en él actitudes favorables para su conservación”*** (Hose, 2011 en: Servicio Geológico Colombiano, 2015). Para esta guía, el geoturismo está basado en la utilización del patrimonio geológico, a causa de su interés científico, natural, cultural, recreativo y didáctico, ya que eventualmente resultará en un recurso que favorece el desarrollo social, económico y cultural de la población.

³Vale la pena anotar que si bien este conflicto está bien reconocido tanto desde la teoría como desde la praxis misma del geoturismo, también existe una vertiente interesante de geoturismo asociado a proyectos de minas tanto activas como abandonadas, ver, por ejemplo: Goki, N. G., Marcus, N. D., & Umbugadu, A. A. (2016). Preliminary assessment of the post-mining geotourism potential of the Plateau tin fields, Nigeria. *Acta Geoturistica*, 7(1), 21-30; Carrión Mero, P., Herrera Franco, G., Briones, J., Caldevilla, P., Domínguez-Cuesta, M. J., & Berrezueta, E. (2018). Geotourism and local development based on geological and mining sites utilization, Zaruma-Portovelo, Ecuador. *Geosciences*, 8(6), 205.

Como campo de estudio, el geoturismo es relativamente reciente. La primera definición aceptada del término apareció en 1995 como ***“la provisión de instalaciones de interpretación y servicios que permitan a los turistas adquirir conocimiento y entender la geología y la geomorfología de un sitio (incluyendo su contribución al desarrollo de las Ciencias de la Tierra) más allá del nivel de mera apreciación estética”*** (Hose, 1995). Otros autores han dado definiciones con matices levemente diferentes. Rodrigues et al., (2011) consideran el geoturismo sensu stricto como un segmento del turismo enfocado en el uso sostenible del patrimonio geológico. En un sentido más amplio, para estos autores, el geoturismo puede ser considerado como un aspecto del turismo principalmente enfocado en el usufructo sostenible, por los geoturistas y las comunidades locales, del patrimonio geológico, que puede ser añadido al patrimonio cultural de un lugar. El patrimonio geológico es la fuerza que conduce los itinerarios geoturísticos, pero el patrimonio cultural es también añadido para incrementar el valor de las regiones visitadas. Este concepto amplio del geoturismo fortalece sus posibilidades como un recurso adicional al ser incluido en los modelos de sostenibilidad (Rodrigues et al., 2011; Dowling & Newsome, 2006).

El desarrollo del geoturismo en sus comienzos, tuvo como rol identificar y conservar los “geositios” al generar reconocimiento público y político. Además, buscó generar fondos para la geoconservación, enfatizando su contribución e integración dentro de la comunidad global de las geociencias y reconociendo y promoviendo su valor geocientífico regional, nacional e internacional (Hose, 2011). En el contexto del geoturismo, los geoparques juegan un papel importante. Estos pueden servir como elemento de innovación para la protección de patrimonios geológicos naturales, y jugar así un papel clave en el desarrollo del geoturismo. Mientras se conciben proyectos de geoturismo, los geoparques pueden ayudar a generar nuevas oportunidades laborales, nuevas actividades económicas y fuentes adicionales de ingresos, especialmente en las zonas rurales, al tiempo que fomentan la producción local de conocimientos y bienes como artesanías inspiradas en tópicos geológicos, i.e., geoproductos (Farsani et al., 2011).

El geoturismo, como otras modalidades del turismo consciente, tiene una característica particular que vincula el acto de contemplar la belleza de lo geológico con la apreciación de lo mismo en otras direcciones tales como las ganancias en torno al reconocimiento del valor intrínseco de dichos elementos. En consecuencia, un geoturista puede tener una experiencia holística que distingue y resalta la calidad de la práctica turística, desde el punto de vista geológico respecto

a la de otras formas del turismo convencional (Allan, 2012). Adicionalmente, debe advertirse que el geoturismo no es solo una posibilidad de diversificar las actividades turísticas de los destinos que poseen maravillas geológicas, sino que también es una oportunidad para apreciar el patrimonio geológico y para popularizar el conocimiento de las Ciencias de la Tierra, sirviendo por tanto un importante rédito en lo pedagógico-cultural. Para una revisión detallada de la literatura en geoturismo ver Ólafsdóttir y Tverijonaite (2018).

Si bien los conocimientos ancestrales sobre los fenómenos geológicos y la mitología asociada a los sitios geológicos tienen un gran valor, el conocimiento científico se ha visto en las sociedades modernas, en especial en los últimos años, como una forma de facilitar la toma de decisiones del ser humano, y de derrotar el analfabetismo en Ciencias de la Tierra, ayudando a las sociedades a transitar hacia una mejor y más integral comprensión de la naturaleza, para entender las amenazas naturales, desarrollar el pensamiento crítico y reconocer la importancia del patrimonio geológico (Reis et al., 2014) en el contexto de la preservación de la vida en el planeta Tierra en complejos tiempos del Antropoceno (Maslin & Lewis, 2015; Ellis & Haff, 2009). Varios documentos de la Geological Society of America, por ejemplo, llaman la atención acerca de enseñar las Ciencias de la Tierra e incorporarla como disciplina en los currículos escolares desde el kínder hasta la secundaria, reconociendo el conocimiento geológico básico como esencial para afrontar los problemas y retos ambientales que nos presenta el siglo XXI (Geological Society of America, 2011), i.e., cambio climático y ambiental global.

3.3. Otros usos de la geodiversidad

La ejecución de actividades geoturísticas debe ser precedida por acciones que determinen la conveniencia o no de llevar visitantes a los sitios geológicos según el nivel de vulnerabilidad de estos. No se debe dejar de lado que el geoturismo es solo uno de los posibles usos del patrimonio geológico y de los elementos de la geodiversidad. Estos usos, idealmente, deben determinarse solo después de un trabajo riguroso de descripción, inventario y valoración de la geodiversidad en una región, en el que los sitios considerados sean clasificados en clases de manejo después de evaluar sus principales valores, su riesgo de degradación, y sus condiciones de uso (Brilha, 2016). Algunos de los criterios utilizados para evaluar el potencial turístico de un sitio de geodiversidad incluyen, por ejemplo, la belleza, la accesibilidad, el potencial interpretativo, el riesgo de degradación de los elementos

geológicos y la seguridad para los visitantes (Brilha, 2016). Además del geoturismo, otros de los usos típicos de los geositos y los sitios de geodiversidad pueden ser la restauración, la educación, la ciencia y la geoconservación.

La geoconservación es el conjunto de estrategias, programas y acciones encaminadas a asegurar la conservación del patrimonio geológico (Carcavilla et al., 2014). Estas medidas deben estar basadas en el conocimiento del valor de los elementos geológicos que se desean conservar, así como de sus características intrínsecas, su fragilidad y su génesis, así como en la evaluación de las amenazas presentes o potenciales de degradación y su posible evolución en el futuro. Según Brilha (2015), no todos los elementos de la geodiversidad deben ser considerados para la conservación, ya que muchos no poseen un valor particular, y deben usarse métodos precisos para seleccionar los sitios excepcionales que merecen ser conservados. La geoconservación se limita a la preservación de geositos, es decir a las unidades básicas que componen el patrimonio geológico del planeta, a través del inventario, valoración, conservación, valorización y monitoreo de los sitios (Henriques et al., 2011). Además, el manejo de especímenes geológicos en museos y colecciones también debe ser considerado como parte de la geoconservación (Brilha, 2014). Muchos elementos de la geodiversidad tienen en su génesis procesos naturales “destructivos”, como por ejemplo la erosión, y es ahí donde la geoconservación debe asegurar el mantenimiento del ritmo natural de estos procesos y permitir su evolución (Carcavilla et al., 2014). Un ejemplo son los rasgos geológicos de los badlands o tierras degradadas en el Desierto de la Tatacoa en Colombia que se relacionan con procesos de erosión concentrada que da lugar a cárcavas, mesas y estoraques, entre otros (Dill et al., 2020). Si bien estas geoformas indican la “degradación” por efecto de la denudación, parar el proceso o revertirlo, por ejemplo mediante la reforestación artificial, darían al traste con la belleza y el significado geológico del lugar. Casos similares ocurren en escenarios tales como el Monument Valley en el Navajo Tribal de la Nación Navajo en América del Norte (Chenoweth, 2020).

4. GEODIVERSIDAD Y PATRIMONIO GEOLÓGICO EN COLOMBIA

Colombia no es solo uno de los territorios con mayor biodiversidad, pues ocupa el primer lugar de diversidad biótica por kilómetro cuadrado a nivel global (World Wildlife Fund, 2017). En su portal acerca del Patrimonio Geológico y Paleontológico de la Nación, el Servicio Geológico Colombiano afirma que también es uno de los países más geodiversos del mundo (Servicio Geológico Colombiano, s.f.). La geodiversidad del territorio colombiano se puede percibir desde su variedad de accidentes geográficos (cavernas, cadenas de montañas, cañones, volcanes, nevados, pantanos, ríos, lagos, lagunas, islas, etc.) que constituyen una intrincada topografía que va desde las extensas llanuras del Amazonas, el Orinoco y el Caribe, hasta algunas de las cumbres más altas de los Andes (varias por encima de los 5000 m) como la Sierra Nevada de Santa Marta.

La geodiversidad en el norte de los Andes, también está expresada en una amplia gama de litologías (ígneas, metamórficas y sedimentarias), que cubren un rango de edades desde el Precámbrico hasta la actualidad, en recursos energéticos como carbón, gas natural y petróleo, en depósitos minerales metálicos y no metálicos, en estructuras corticales (placas tectónicas mayores, bloques corticales, fallas regionales y zonas de cizallamiento), en cuencas fluviales pasadas y presentes (Amazonas, Orinoco, Magdalena, Cauca, Atrato, San Juan y Sinú, entre otras), en ambientes geológicos litorales e insulares en las costas del Caribe y el Pacífico, así como en segmentos de cadena de montaña de los andes en las cordilleras Oriental, Central y Occidental, la SNSM (la montaña litoral aislada más alta del planeta) y las serranías del Darién-Baudó, la Macarena, y Chiribiquete, entre otras. (Restrepo-Moreno et al., 2019). La mayoría de estas ricas áreas naturales forman parte de un conjunto diverso de Parques Nacionales Naturales y otras áreas protegidas, que cubren cerca de 314.084 km² distribuidos en 1343 áreas delimitadas (PNN, 2020). Los estudios que han tenido lugar en la historia de las ciencias geológicas del país han demostrado el alto valor científico de los elementos de la geodiversidad del país, y muchos poseen un evidente valor estético, cultural, espiritual o turístico que ha sido aprovechado durante siglos por las diversas comunidades que han habitado el país.

4.1. Breve historia del patrimonio geológico en Colombia

Al revisar la historia de la conservación de la naturaleza en Colombia, puede verse que al igual que en el resto del mundo, los recursos geológicos estuvieron por mucho tiempo olvidados y dejados al margen de los programas y leyes de conservación. Hace más de 200 años, Alexander von Humboldt había señalado, en su famoso *Naturgemälde*, que la destacada biodiversidad del Nuevo Mundo y la región de Andes estaba conectada con las rocas, los volcanes activos y los procesos geológicos de la zona, y que la naturaleza era una red compleja de la que el ser humano forma parte (Wulf, 2015). En tiempos recientes, y como se explicó al principio de este capítulo, los expertos en geodiversidad también han concluido que la geodiversidad es de hecho la base de biodiversidad, que es imposible proteger la biodiversidad sin considerar las rocas, suelos y accidentes geográficos en los que se han desarrollado estas formas de vida, y abogan por un enfoque más integrado (Reverte et al., 2000; Crofts, 2019; Alahuhta et al., 2020;).

Podría decirse que un antecedente de la historia de geoconservación en Colombia se encuentra en la Constitución Política de Colombia de 1991, al aludir a una compensación económica tras el usufructo de los elementos no renovables. Según el artículo 360, “la explotación de un recurso natural no renovable provocará, a favor del Estado, una contraprestación económica a modo de regalías, sin perjuicio de cualquier otro derecho o compensación que se pacte (...)”. En la carta magna también se mencionan el desarrollo sostenible y la conservación de los recursos naturales.

La historia de la geoconservación en Colombia comienza a fines del siglo XX cuando Margaret Mercado, geóloga del Servicio Geológico de Colombia, propuso el concepto de patrimonio geológico, así como las bases para realizar un primer inventario en el país (Mercado, 1999). La motivación para este inventario fue la preocupación por el desconocimiento, la degradación y la destrucción de geositos o sitios de interés geológico en Colombia (ver Mercado, 1999, en Vargas, 2018). Por otro lado, la promoción de un turismo basado en características geológicas en lugares como la Catedral de Sal de Zipaquirá, en la que los visitantes exploran sobre el funcionamiento de la mina, el origen del diapiro de sal, y las actividades religiosas complementarias, han contribuido por décadas al aumento en la apropiación del conocimiento geocientífico (Vargas, 2018).

Durante el siglo XXI se han realizado varios estudios sobre patrimonio geológico, patrimonio minero, geoturismo y geodiversidad en diferentes zonas del país, por ejemplo, Betancourth (2003) en la región del Eje Cafetero; Molina y Mercado (2003) acerca del patrimonio minero en el país; Cárdenas y Restrepo (2006) en el Suroeste Antioqueño; Torres-Herrera y Molina (2012) en el Occidente Antioqueño; Henao et al. (2013) en el Departamento de Antioquia; Jaramillo et al. (2014) en la zona Andina del país; Säenz-Reyes et al., 2017 en Santa Marta, Magdalena; Tavera-Escobar et al., (2017) en el Complejo Volcánico Ruíz-Tolima; y Ríos-Reyes et al., (2018) y Sánchez-Botello et al., (2018) en las cuevas del país, entre otros. Estos trabajos han sentado algunas bases, a través de declaraciones y reconocimientos de patrimonio geológico e inventarios de sitios de interés. Unos pasos más adelante, Colegial et al., (2002) y Henao y Osorio (2015) han avanzado en la valoración de dicho patrimonio geológico, incluyendo en sus trabajos metodologías ajustadas de valoración. Tavera (2015) estudió la geodiversidad volcánica y glaciar del Parque Nacional Natural Los Nevados, incluyendo el inventario y valoración del patrimonio geológico en este parque natural, además de algunas estrategias de divulgación de dicho patrimonio entre las comunidades que habitan el lugar. Otros trabajos documentados como los de Rendón et al., (2013), Osorio et al. (2015) y Uasapud (2013), prometen suministrar recorridos de afloramientos o rutas geológicas interpretativas en torno a elementos geológicos de interés. Finalmente, el grupo de investigación Observatorio de Patrimonio Geológico y Paleontológico de Colombia (OPGP) de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, analizó las publicaciones sobre patrimonio geológico en Colombia, dando como resultado una lista final de 69 obras relacionadas con el patrimonio geológico (Vargas, 2018); esta lista concluyó que los asuntos principales en estas publicaciones son los inventarios a escala local, el geoturismo y la divulgación científica.

Diversas conferencias y eventos académicos sobre patrimonio geológico y geoconservación han tenido lugar en Colombia en la última década. En el año 2004 se llevó a cabo el Curso Internacional de Aprovechamiento y Conservación del Patrimonio Geológico y Minero en la Facultad de Minas (Cárdenas & Restrepo, 2006). En otros eventos académicos de geología que han tenido lugar en los últimos años, como el XVII Congreso Colombiano de Geología (2019) o el I Encuentro Colombiano de Patrimonio Geológico (2020) es cada vez más frecuente encontrar trabajos acerca de inventarios de patrimonio geológico, propuestas de itinerarios geológicos, proyectos de divulgación del patrimonio geológico, entre otros, llevados a cabo por

organizaciones estatales como el Servicio Geológico Colombiano o por universidades públicas y privadas (Universidad Industrial de Santander, Universidad Nacional de Colombia, Universidad EAFIT, Universidad AREANDINA, etc.), y por entidades sin ánimo de lucro como la Corporación Geopatrimonio. Destacan, por ejemplo, los cursos de Patrimonio Geológico que ofrece el Grupo de Investigación en Geología Ambiental (GEA) de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín y el Grupo de Geología Ambiental y Tectónica (GAT de la Universidad EAFIT), foros que han logrado convocar a importantes expositores de talla mundial como Antonio Cendrero, Asier Hilario, Jose Brilha, Guy Martini, Artur Sá, Emmanline Rosado, entre otros, como una sugestiva serie de ventos que han permitido realizar no solo trabajo teórico sino práctico en visitas de campo a sitios de interés geológico en el país. Podría igualmente destacarse la Semana de los Geoparques Mundiales de la UNESCO (2020), realizada en línea en medio de la pandemia por el COVID-19, con la participación de diversos invitados internacionales. Existen adicionalmente otras figuras que han contribuido a la preservación de los recursos geológicos tales como algunos museos laboratorios de geociencias, como espacios donde se conservan y estudian importantes colecciones de rocas, minerales, fósiles, ayudando a la difusión del conocimiento geocientífico. Algunos ejemplos son el Museo de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia en Medellín, el Museo Paleontológico de la Universidad Nacional de Colombia y el Museo Comunitario El Fósil en Villa de Leyva, y el Museo José Royo y Gómez Museo del Servicio Geológico Colombiano en Bogotá. Así mismo, el Laboratorio de Petrología de la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Medellín, donde se ha desarrollado una interesante estrategia de apropiación del conocimiento geocientífico en petrología y petrografía con base en un trabajo multiescala espacial (colección de afloramientos digitales, muestras de mano, muestras en sección delgada, montaje de granos) inspirado en especímenes de rocas colectados y georreferenciados a lo largo de recorridos específicos por carreteras y quebradas del Departamento de Antioquia (Restrepo-Moreno et al., en revisión) donde se expresa de manera importante parte de la diversidad geológica de nuestro país.

4.2. Actualidad: Decreto 1353 de 2018

Después de casi 20 años durante los que el estudio y la difusión de la geodiversidad, el patrimonio geológico y la geoconservación fue promovido principalmente desde el mundo académico, el Ministerio de Medio Ambiente firmó, en 2018, el Decreto 1353, “en lo relacionado con la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de la Nación” (Ministerio de Minas y Energía, 2018). Este importante documento sobre la definición, protección y gestión del patrimonio geológico del país contiene varias disposiciones cruciales como:

- Reconocer que el Estado colombiano ha buscado garantizar la protección del y patrimonio paleontológico a lo largo de la historia.
- Definir conceptos como patrimonio geológico, geotopo, geositio, inventario, zona de protección geológica, etc.,
- Integrar el patrimonio geológico y paleontológico de la nación.
- Crear al Servicio Geológico de Colombia como la entidad encargada de establecer la metodología a seguir para la declaración del patrimonio geológico y paleontológico, así como establecer los lineamientos en aspectos como protección, conservación, infraestructura y funcionamiento interno.

Existen además otras disposiciones específicas en materia de declaración, inventario, gestión y protección del patrimonio geológico de la Nación. En la actualidad, el proceso del inventario nacional en el país está en curso, luego de un plan piloto en el Departamento de Boyacá (Servicio Geológico Colombiano, 2016). El inventario del patrimonio geológico de la nación se encuentra, por tanto, en estado embrionario, sin listas oficiales o publicadas abiertamente a la fecha, situación que pone de presente la pertinencia de los temas abordados en este volumen, así como el potencial que en el terreno del geoturismo y el geopatrimonio tenemos aún por explorar en Colombia.

Actualmente, existen cuatro iniciativas de Geoparques en el país, buscando poner en valor el patrimonio geológico a través de un uso turístico de base comunitaria. Estas iniciativas son el proyecto Zaquenzipa en el Alto Ricaurte, Boyacá, el proyecto Cañón del Chicamocha en Santander (Gelvez-Chaparro et al., 2018), el proyecto Chambú-La Cocha en Nariño, y el proyecto Geoparque Volcán del Ruíz.

5. Conclusión: La geología y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia

El propósito del estudio de la geodiversidad y el patrimonio geológico no es solo describir, sistematizar, y proteger enclaves geológicos con un valor excepcional, sino que trasciende hacia una transformación en la relación que en los últimos siglos ha tenido la humanidad con los elementos abióticos del planeta. Tras mencionar cómo la geodiversidad es el soporte de la biodiversidad y provee a la humanidad con diversos beneficios a través de la miríada de servicios geosistémicos, vale la pena considerar la geodiversidad y el patrimonio geológico como un capital natural que puede ser usado por las comunidades para mejorar sustancialmente su nivel de vida y de comprensión-apropiación del territorio, evitando tener que recurrir a formas de relación con el lugar basadas en la explotación de corto plazo y no planificada de recursos tanto renovables como no renovables. Los beneficios para las comunidades escolares en lugares de geodiversidad, que con frecuencia coinciden con sitios apartados de la geografía nacional donde los modelos de educación son bastante precarios, son también un asunto importante a considerar, toda vez que el proceso de geoturismo y geoconservación puede y debe conducir a impactar positivamente los procesos de enseñanza - aprendizaje de las ciencias de la Tierra a nivel de preescolar, primaria y bachillerato, incluso permitiendo generar, desde los inventarios locales pequeños, centros interpretativos o de museología local (Retrepo-Moreno y Restrepo-Múnera, 2011, Semilleros Locales de Ciencia y Tecnología, Corporación para la Investigación y el Ecodesarrollo Regional CIER, Medellín, reporte proyecto 49 pg.).

La geodiversidad del territorio colombiano debe comprenderse como una riqueza en la que está ensamblada su biodiversidad, y en la que se asientan comunidades provistas de un patrimonio geológico que puede ser utilizado como un bien económico-cultural que aporte a su desarrollo sostenible mediante la educación y el turismo. Como apunta Brilha (2018), la diversidad de la naturaleza, que incluye tanto elementos bióticos como abióticos, es la clave para la sustentabilidad de la humanidad. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que buscan erradicar la pobreza global, acabar con los patrones de consumo insostenibles y facilitar el crecimiento económico inclusivo, el desarrollo social y la protección ambiental (United Nations, 2015), están estrechamente relacionados con la geología y la geodiversidad (Pereira et al., 2019). En su matriz acerca del rol de los geólogos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo sostenible, Gill (2017) muestra cómo a través de los temas de agrogeología, cambio climático,

energía, ingeniería geológica, riesgos geológicos, patrimonio y geoturismo, la comunidad de geólogos puede aportar a los 17 ODS.

Así, en Colombia, quedan los retos de incorporar los elementos de la geodiversidad y el patrimonio en las herramientas y figuras de ordenamiento y planeación territoriales a escalas local, regional y nacional, así como en los sistemas de áreas protegidas a estos mismos niveles; de continuar estudiando y describiendo la geodiversidad del país y los geositos que conforman el patrimonio geológico nacional; de avanzar en las tareas de inventario y valoración, que abrirán la puerta a las siguientes etapas de la gestión y el manejo del patrimonio geológico; de pensar creativamente en las formas diversas de implicar el patrimonio geológico en las prácticas educativas de escuela primaria y secundaria, no solo en el campo de la geología sino de las ciencias en general. Esto redundará de manera especial en la generación de modelos de educación incluyentes y pertinentes, tal cual lo plantea el ODS 4. Queda en los geólogos la responsabilidad de involucrarse desde su profesión en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en trabajar para alcanzarlos en el contexto de la nación.

En un momento como el actual, vale la pena concluir este capítulo con un mensaje de esperanza para un país que ha estado sumido por más de 50 años en el conflicto armado, y donde hoy vemos luces esperanzadoras que alumbran caminos posibles para transitar colectivamente hacia los procesos de reconciliación con el territorio, por ejemplo, desde la geología como campo disciplinar que puede permitir replantear nuestras relaciones con el territorio y con los demás seres humanos. En este sentido queremos destacar el trabajo del colega y amigo Miguel Tavera Escobar quien abordó la geología justamente en esta dimensión. El manifiesto del proyecto Geografía de la Guerra, liderado por Miguel reza de la siguiente forma: ***“Soy un proyecto de divulgación social, que crea puentes entre las razones objetivas que motivaron el conflicto desde la geografía de Colombia y las presiones humanas sobre la naturaleza en el territorio. No quiero ser meramente un proyecto de construcción de memoria colectiva. Quiero narrar historias como acto de resistencia y como herramienta de educación testimonial. Comprendo que los conflictos humanos son subjetivos, pero parten de una acción objetiva a la cual llamaré geografía. Reconozco la guerra en Colombia como un acontecimiento que ha roto la temporalidad de un país, una cultura y una naturaleza física. Entiendo que la guerra en Colombia, aún no termina, por eso la memoria como ejercicio educativo representa un reto mayor. Como se reconstruye la vida en un territorio aún en medio del conflicto. Lucho porque él nunca mas no recaiga en un significado vacío. La realidad del territorio en***

Colombia necesita que la guerra no se naturalice. Asigno a la educación del conflicto y las presiones humanas a la naturaleza la vocación para frenar la barbarie. La misma barbarie contra la cual se debe dirigir cualquier acción de reconciliación educativa”.

5.BIBLIOGRAFÍA

Allan, M. (2013). Geotourism: The Potential of Geotourism Development in the United Arab of Emirates. En: Second International Conference on Emerging Research Paradigms in Business and Social Sciences, Dubai Mall, Dubai, UAE, Conference Paper (pp. 1-21).

Alahuhta, J., Toivanen, M., & Hjort, J. (2020). Geodiversity–biodiversity relationship needs more empirical evidence. *Nature ecology & evolution*, 4(1), 2-3.

Barettino, D., Gallego, E., & Wimbledon, W. A. P. (Eds.). (2000). Patrimonio geológico: conservación y gestión. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Bastian, O., Grunewald, K., & Khoroshev, A. V. (2015). The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified in a case study in Russia. *Landscape Ecology*, 30(7), 1145-1164.

Betancurth, L. (2003). El patrimonio geológico minero del eje cafetero, cuenca del río Chinchiná– Colombia. En R. C. Villas-Bôas, A. González Martínez, G. de A. Sá y C. de Albuquerque (Eds.), *Patrimonio geológico y minero en el contexto del cierre de minas*. Río De Janeiro, https://www.academia.edu/17531000/Patrimonio_Geologico_y_Minero_en_el_Contexto_del_Cierre_de_Minas.

Benton, M., Nemeth, K., Markovic, S., & Vasiljevic, D. (2020). Geoconservation in the Carpathian Area. *Geoconservation Research*, 3(2), 1-7.

Bétard, F. (2017). Géodiversité, biodiversité et patrimoines environnementaux. De la connaissance à la conservation et à la valorisation. *Mémoire d’Habilitation à Diriger des Recherches*, Université Paris-Diderot, 1, 270.

Brilha J. (2014). Geoconservation, Concept of. In: Tiess G., Majumder T., Cameron P. (eds) *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40871-7_2-1

Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage*, 8 (2), 119–134.

Brilha, J. (2018). Geoheritage: inventories and evaluation. In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management*. Elsevier, Amsterdam, pp. 6986.

Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I., & Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science & Policy*, 86, 19-28.

Burkhard, B., Petrosillo, I., & Costanza, R. (2010). Ecosystem services–bridging ecology, economy and social sciences. *Ecological complexity*, 7(3), 257.

Carcavilla Urquí, L. (2006). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos.

Carcavilla, L., López-Martínez, J., y Durán, J. J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. *Serie Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España*, 7, Madrid.

Carcavilla, L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(1), 5.

Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, A., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez, A., Vegas, J. (2014). Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España. 21 p. Madrid. NIPO: 474-11-012-3. EDICIÓN PARQUES NACIONALES

Cárdenas, I. y Restrepo, C. (2006). Patrimonio geológico y patrimonio minero en la Cuenca Carbonífera del Suroeste Antioqueño. *Revista Boletín Ciencias de la Tierra*, 18, 91-102.

Cedric, H. (1969). Sobre la síntesis de literatura y ciencia natural. En: Alejandro de Humboldt 1769-1969, pp. 103-144. Inter Naciones. Bad Godesberg - Alemania.

Chenoweth, W.L. (2000) Geology of Monument Valley Navajo Tribal Park, Utah-Arizona. In: Geology of Utah's Parks and Monuments (Ed. by D.A. Sprinkel, T.C. Chidsey, and P.B. Anderson), pp. 529-533. Utah Geological Association Publication 28.

Chen, A., Lu, Y., & Ng, Y. C. (2015). The principles of geotourism. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

Colegial, J., Piscotti, C. y Uribe, E. (2002). Metodología, evaluación y valoración del patrimonio geológico y su aplicación en la geomorfología glaciar de Santander (Municipio de Vetás). Boletín de Geología UIS, 24, (39), 121-133.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., ... & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158.

Croall, J. (1995). Preserve or destroy: tourism and the environment. Calouste Gulbenkian Foundation.

Crofts, R. (2019). Linking geoconservation with biodiversity conservation in protected areas. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 211-217.

Crofts, R., Gordon, J. E., Brilha, J. B., Gray, M., Gunn, J., Larwood, J., ... & Worboys, G. L. (2020). Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas.

Dill, H. G., Andrei, B., Sorin-Ionut, B., Kristian, U., Jorge, G. T., Daniel, B., & Thomas, C. (2020). The "badland trilogy" of the Desierto de la Tatacoa, upper Magdalena Valley, Colombia, a result of geodynamics and climate: With a review of badland landscapes. *Catena*, 194, 104696.

Dingwall, P., Weighell, T., & Badman, T. (2005). Geological world heritage: a global framework. A contribution to the global theme study of World Heritage natural sites, Protected Area Programme, IUCN, 51.

Dowling, R. K., Newsome, D. (2006). Geotourism: Sustainability, impacts and management. Oxford, UK: Elsevier/Heinemann Publishers.

Ellis, E. C., & Haff, P. K. (2009). Earth science in the Anthropocene: new epoch, new paradigm, new responsibilities. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(49), 473-473.

Farsani, N. T., Coelho, C., & Costa, C. (2011). Geotourism and geoparks as novel strategies for socio-economic development in rural areas. *International Journal of Tourism Research*, 13(1), 68-81.

Geological Society of America. (2011). The Importance of Teaching Earth Science. GSA Position Statement Draft. Recuperado de <https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/21/6/pdf/i1052-5173-21-6-46.pdf>

Gill, J. C. (2017). Geology and the sustainable development goals. *Episodes*, 40(1), 70-76. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i1/017010>

Gray, M. (2004). Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons, 448 pp.

Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38(3), 271-274.

Gray, M., (2013). Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature, second ed. Wiley Blackwell, Chichester.

Gray, M., Gordon, J.E., Brown, E.J. (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proc. Geol. Assoc.* 124, 659673.

Gray, M. (2018). Geodiversity: The Backbone of Geoheritage and Geoconservation. In *Geoheritage Assessment, Protection, and Management*. Chapter 1. Editor(s): Emmanuel Reynard, José Brilha. 2018, Pages 13-25. Elsevier. ISBN 9780128095317. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00001-0>.

Grosse, E.J. (1926) Terciario carbonífero en Antioquia en la parte occidental de la Cordillera Central de Colombia. Berlín: Dietrich Reimer Editores.

Henao, A., Osorio, J. y Rendón, A. (2013). Inventario de reconocimiento del patrimonio geológico del departamento de Antioquia, Colombia. En: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez, C. Marchán (Eds.), *Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo*. Serie: Cuadernos de Museo Geominero, 15. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 401-409.

Henao, A., Osorio, J. (2015). Inventario del patrimonio geológico de la Reserva Natural Cañón del Río Claro, Antioquia, Colombia: identificación, clasificación y valoración. In "Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos", Hilario, A.; Mendia, M.; Monge-Ganuzas, M.; Fernández, E.; Vegas, J. & Belmonte A. (Ed.), Instituto Geológico y Minero de España, Cuadernos del Museo Geominero, 18, 173–178.

Henriques, M. H., dos Reis, R. P., Brilha, J., & Mota, T. (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*, 3(2), 117-128.

Hose, T. A. (1995). Selling the Story of Britain's Stone. *Environmental Interpretation*, 10 (2), 16-17.

Hose, T. A., Marković, S. B., Komac, B., & Zorn, M. (2011). Geotourism—a short introduction. *Acta geographica Slovenica*, 51(2), 339-342.

Jaramillo, J. E. J., Caballero, J. H., y Molina, J. M. (2014). Patrimonio Geológico y Geodiversidad: bases para su definición en la Zona Andina de Colombia: Caso Santa Fe de Antioquia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 35, 53-65.

Maslin, M. A., & Lewis, S. L. (2015). Anthropocene: Earth System, geological, philosophical and political paradigms shift. *The Anthropocene Review*, 2(2), 108-116.

Mercado, M. (1999). Patrimonio geológico de Colombia, fase cero, estructuración. INGEOMINAS. Ministerio de Medio Ambiente <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/noticias/1354-parquesnacionales-naturales-de-colombia-patrimonio-de-los-colombiano>

Milton, K. (2002) *Loving Nature: Towards an Ecology of Emotion*. London, UK: Routledge

Ministerio de Minas y Energía. (2018). Decreto 1353 de 31 de Julio 2018.

Molina, J., Mercado, M. (2003). Patrimonio geológico, minero y geoturístico. Enfoque conceptual y de casos en Colombia. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).

Newsome, D., & Dowling, R. (2018). Geoheritage and geotourism. In *Geoheritage* (pp. 305-321). Elsevier.

Nordic Council of Ministers. (2003). *Diversity in Nature*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Ólafsdóttir, R., & Tverijonaite, E. (2018). Geotourism: a systematic literature review. *Geosciences*, 8(7), 234.

Orion, N. & Charles, R. Learning Earth Sciences, in: *Handbook of research on science education* / edited by Sanda K. Abell and Norman G. Lederman. p. cm. ISBN 0-8058-4713-8. Reprinted 2010 by Routledge

Osorio, J., Henao, A. y Rendón, A. (2015). Propuesta de ruta interpretativa del patrimonio geológico de la reserva natural cañón del Río Claro, Departamento de Antioquia - Colombia. En: A. Hilario, M. Monge-Ganuzas, E. Fernández, J. Vegas y A. Belmonte (Eds.), *Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos*. Serie: Cuadernos de Museo Geominero, 18. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 425 - 430.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2020). Registro Único Nacional de Áreas Protegidas – RUNAP. Retrieved from <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areas-protegidas-sinap/registro-unico-nacional-de-areas-prot>

Pereira, R. G. F. A. (2010) – Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia – Brasil). Tese de Doutorado em Ciências (Geologia) Universidade do Minho (Portugal), 317 p.

Pereira, P., Brilha, J., Gray, M., & Pereira, D. I. (2019). Rephrasing the geodiversity concept under the Ecosystem Services approach and the UN Sustainable Development Goals. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 21).

ProGEO (s.f.)

<http://www.progeo.ngo/history.html#:~:text=history&text=The%20first%20international%20meeting%20on,evolved%20in%201993%20to%20ProGEO>.

Powell, John Wesley (1895). *Exploration of the Canyons of the Colorado*. New York: Dover Publications.

Reis, J., Póvoas, L., Barriga, F. J. A. S., Lopes, C., Santos, V. F., Ribeiro, B., ... & Pinto, A. (2014). Science education in a museum: enhancing earth sciences literacy as a way to enhance public awareness of geological heritage. *Geoheritage*, 6(3), 217-223.

Rendón Rivera., Henao A., Osorio J. (2013). Propuesta Metodológica Para La Valoración Del Patrimonio Geológico, Como Base Para Su Gestión En El Departamento De Antioquia – Colombia *Boletín Ciencias De La Tierra*, Nro. 33, Pp. 85-92. Medellín, Julio De 2013. Issn 0120-3630.

Retrepo-Moreno y Restrepo-Múnera, 2011, *Semilleros Locales de Ciencia y Tecnología*, Corporación para la Investigación y el Ecodesarrollo Regional CIER, Medellín, reporte proyecto 49 pg

Reverte, F. C., Garcia, M. D. G. M., Brilha, J., & Pellejero, A. U. (2020). Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanised areas: A case study of the Taubaté Basin, Brazil. *Environmental Science & Policy*, 112, 91-106.

Reynard, E., & Brilha, J. (2018). Geoheritage: a multidisciplinary and applied research topic. In *Geoheritage* (pp. 3-9). Elsevier.

Rodrigues, M.L., Machado, C.R., Freire, E. (2011). Geotourism routes in urban areas: a preliminary approach to the Lisbon geoheritage survey. *GeoJournal of Tourism and Geo-sites*, 2, 281–294.

Ríos-Reyes CA, Manco-Jaraba DC, Castellanos-Alarcón OM. (2018) Geotourism in caves of Colombia as a novel strategy for the protection of natural and cultural heritage associated to underground ecosystems. *Biodiversity Int J*. 2(5):464-474.

Säenz-Reyes, J. A., Ríos-Reyes, C. A., & Castellanos-Alarcón, O. M. (2017). Itinerario geológico de la franja costera entre el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y la Bahía de Taganga, Provincia Geotectónica de Santa Marta. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (42), 5-24.

Sánchez-Botello CR, Jiménez-Velandia G, Ríos-Reyes CA. (2018). Geological occurrence of the ecce homo hills cave, chimichagua (cesar), Colombia: an alternative for socio-economic development based on geotourism. *Int J Hydro* 2(5):618628.

Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity: a theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica*, 62(3), 140-147.

Servicio Geológico Colombiano. (2015). Guía de buenas prácticas para la gestión de patrimonio geológico y paleontológico en Colombia. Recuperado el 1 de marzo de 2018 de **<https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/documentos.aspx>**

Servicio Geológico Colombiano-SGC (2016) Informe Inventario de Lugares de Interés Geológico. Departamento de Boyacá. Servicio Geológico Colombiano. Inédito

Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). Patrimonio Geológico y Paleontológico. Tomado de **<https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/patrimonio-geologico.aspx>**

Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16(3), 284-307.

Tavera, M. (2015). Evaluación e implementación de una propuesta de patrimonio geológico en El Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central de Colombia. Trabajo de grado presentado para optar al título de Geólogo. Universidad EAFIT, Medellín.

Tavera Escobar, Miguel Ángel, Nicolás Estrada Sierra, Carlos Errázuriz Henao y Michel Hermelin. (2017). Georutas o itinerarios geológicos: un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 26 (2): 219-240. doi: 10.15446/rcdg.v26n2.59277.

Theodossiou-Drandaki, I. (2007). En: Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos (p. 17). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, 360 P.

Torres-Herrera, H., y Molina-Escobar, J. M. (2012). Aproximación al patrimonio geológico y geodiversidad en Santafé de Antioquia, Olaya y Sopetrán, departamento de Antioquia, Colombia. Boletín Ciencias de la Tierra, 32, 23-34.

Uasapud, N. (2013). Propuesta metodológica y recorridos para el conocimiento de afloramientos de sismitas como patrimonio geológico en la Cuenca de Santa Fe (Colombia). En: J. Vegas, A. Salazar, E. Díaz-Martínez, C. Marchán (Eds.), Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 15. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 149-156.

UNESCO. (1972). Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage. Paris: UNESCO.

UNESCO. (1999). Operational Guidelines for Implementation of the World Heritage Convention. UNESCO World Heritage Centre, Paris, France, 38pp

United Nations. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development: United Nations, Geneva, 35 p.

Van Ree, C. C. D. F., Van Beukering, P. J. H., & Boekstijn, J. (2017). Geosystem services: A hidden link in ecosystem management. Ecosystem services, 26, 58-69

Vargas A, M. (2018). Contribución al desarrollo de estrategias de geoconservación en Colombia: un método para promover el inventario nacional de patrimonio geológico.

Wimbledon, W. A. P., Andersen, S., Cleal, C. J., Cowie, J. W., Erikstad, L., Gonggrijp, G. P., ... & Suominen, V. (1999). Geological World Heritage: GEOSITES-a global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 54, 45-60.

World Wildlife Fund. (2017). A look at the natural world of Colombia. Retrieved from

<https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/winter-2017/articles/a-look-at-the-natural-world-ofcolombia#:~:text=Colombia%20is%20the%20second%20most,anywhere%20else%20in%20the%20world>

Wulf, A. (2015). The invention of nature: Alexander von Humboldt's new world. Knopf, New York.

CAPÍTULO 2.

VALORACIÓN CUANTITATIVA DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO EN ANTIOQUIA

Juan G. Osorio-Cachaya¹, Ángela M. Henao-Arroyave², Juan D. Ospina-Correa³

¹ *Universidad de Antioquia*; ² *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*
³ *Universidad Autónoma Latinoamericana*

RESUMEN

En los últimos años el estudio del patrimonio geológico se ha convertido en una herramienta para la gestión del territorio y el desarrollo económico de áreas urbanas y rurales. La identificación y caracterización de estos lugares es un paso decisivo para viabilizar cualquier estrategia de geoconservación. La valoración de estos lugares se basa en sus características geológicas intrínsecas cualitativas y cuantitativas, que otorgan un valor clave, es decir, valor científico, ya sea, mineralógico, petrológico, geomorfológico, paleontológico, entre otros, los cuales adquieren una relevancia excepcional. Además, cuando dichas características son apropiadas por los actores sociales de los territorios, logrando que la valoración y protección local del geosito conlleve beneficios sociales. En este sentido, el departamento de Antioquia, con una ubicación geográfica propicia, posee una gran variedad geológica, lo que ha arrojado como resultado el desarrollo de proyectos para construir inventarios de diferentes lugares de interés geológico, logrando identificar entre veinte y treinta diferentes puntos con potencial de geoconservación. Como conclusión, El patrimonio geológico resalta las características de la historia de la tierra, que han dado lugar a su configuración actual. En ese sentido hace parte de la historia del hombre, por lo que es indispensable comunicar el valor de dichos elementos de una manera adecuada.

Palabras clave: *Gestión del territorio, Geoconservación, Geodiversidad, Inventarios*

ABSTRACT

In recent years, the study of geological heritage has become a tool for land management and economic development in urban and rural areas. The identification and characterization of these places is a decisive step to make any geoconservation strategy viable. The valuation of these places is based on their qualitative and quantitative intrinsic geological characteristics, which provide a fundamental value: scientific value, be it mineralogical, petrological, geomorphological, paleontological, among others. Which acquire exceptional relevance; in addition, when said characteristics are appropriate by the social actors of the territories, achieving that the local valuation and protection of the geosite entails social benefits. In this sense, the department of Antioquia; With a favorable geographical location, it has a great geological variety, which has resulted in the development of projects to build inventories of different places of geological interest, managing to identify between twenty and thirty different points with geoconservation potential. In conclusion, The Geological Heritage highlights the characteristics of the earth's history, which have given rise to its current configuration. In that sense, it is part of the history of man, so it is essential to communicate the value of these elements in an appropriate way.

Keywords: *Territory management, Geoconservation, Geodiversity, Inventories.*

INTRODUCCIÓN |

Para un adecuado desarrollo y gestión territorial es necesario valorar elementos representativos de la geodiversidad (minerales, rocas, fósiles, suelos, accidentes geográficos, etc.) que permiten obtener datos necesarios para el desarrollo sostenible de las comunidades circundantes, así como de la humanidad (Gray, 2008). En especial, en las áreas de las geociencias, los datos de campo se obtienen en lugares con características específicas de gran relevancia. En particular, se muestrean las ocurrencias y se realizan estudios de laboratorio con el objetivo de comprender la evolución geológica y geomorfológica que permita establecer la historia de una determinada región (Shroder, 2013). En ambos casos, se determina la riqueza geológica del lugar, por lo que estos lugares deben ser protegidos, permitiendo un uso científico, recreativo y cultural, accediendo el establecimiento de estrategias de sostenibilidad para las futuras generaciones. Especialmente, la valoración científica de la geodiversidad del lugar nos otorga información relevante sobre cómo funciona la geosfera y nos permite describir su interacción con otros sistemas terrestres como la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera (Brilha, 2016).

Los lugares que son clave para el estudio y la comprensión de la historia geológica de la Tierra, generalmente considerados patrimonio geológico, corren un riesgo creciente de deterioro, principalmente debido a actividades antrópicas. La inexistencia o debilidades de un inventario sistemático y completo significa que la evidencia geológica que ha respaldado durante décadas de estudios e investigaciones, y el gasto de dinero público y privado, puede desaparecer, porque los recursos geológicos no son renovables. Por lo tanto, es necesario asumir la responsabilidad social de asegurar que la conservación de este patrimonio natural sea de suma importancia para el avance de las geociencias y para el conocimiento del planeta Tierra. En este sentido, la literatura científica revela una multitud de conceptos y definiciones sobre geodiversidad, patrimonio geológico, geositos y geoconservación (Bruno et al., 2014; Dos Reis & Henriques, 2009; Elizaga et al., 1994; Gray, 2008, 2011; Ruban, 2010). Sin embargo, estos conceptos a menudo han sido mal utilizados e incluso aplicados de formas poco convencionales, lo que hace necesario el desarrollo de propuestas para un enfoque sistemático, donde la geoconservación esté dirigida a la identificación, valoración, protección y manejo de elementos valiosos de la geodiversidad (Carcavilla et al., 2014).

La valoración de la diversidad natural incluye elementos bióticos — biodiversidad— y elementos abióticos. El patrimonio geológico, o geopatrimonio, se refiere a (i) ocurrencias in situ de elementos de geodiversidad con alto valor científico: geositos y (ii) elementos de geodiversidad ex situ que, a pesar de ser desplazados de su ubicación natural de ocurrencia, mantienen un alto valor científico, por ejemplo, minerales, fósiles y rocas disponibles para investigación en colecciones de museos, como elementos del patrimonio geográfico. Además del valor científico, tanto el patrimonio geológico in situ como ex situ también pueden tener un valor educativo, estético y cultural, que justifica su protección por parte de la sociedad para la enseñanza / aprendizaje, turismo, ocio, etc.

El patrimonio geológico es un término general que abarca designaciones más específicas cuando se consideran tipos particulares de elementos de geodiversidad con valor excepcional. De ahí que sea común referirse como: geomorfológicos (accidentes geográficos), petrológicos (rocas), mineralógicos (minerales), paleontológicos (fósiles), estratigráficos (secuencias sedimentarias), estructurales (pliegues, fallas y otros), hidrogeológicos (agua) o patrimonio (suelos pedológico) como subtipos de patrimonio geológico.

Dada la inmensa diversidad geológica, elegir qué elementos deben seleccionarse y protegerse no es una tarea simple. Sólo a través de criterios cuantitativos de valoración, la identificación y protección de los geositos es posible. Incluso, debido a la subjetividad inherente, sólo estos marcos metodológicos otorgan la confiabilidad estadística necesaria para seleccionar los sitios más relevantes, representativos de la historia de la Tierra y su evolución. Cabe destacar que un inventario es siempre dinámico y debe actualizarse periódicamente. Incluso, cuando el geosito pierde su valor, o una nueva ocurrencia gana el

INTRODUCCIÓN |

estatus de geosítio, son estos datos quienes en su estructura de valoración multidimensional pueden describir estas dinámicas. Sin embargo, una ocurrencia particular podría considerarse un geosítio incluso si ya no tiene una gran relevancia científica, por ejemplo, si es un registro significativo para la historia del conocimiento geológico.

Si bien, existen elementos de la geodiversidad que no tienen un valor científico particular, en muchos casos pueden ser recursos importantes para la educación, el turismo o la identidad cultural de las comunidades. Al igual que con el patrimonio geográfico, estos elementos de geodiversidad también se pueden encontrar in situ y ex situ. Sin embargo, no deben considerarse patrimonio geológico hasta que una valoración objetiva lo permita, porque este término solo debe usarse cuando su valor científico sea reconocido con precisión. Algunos ejemplos incluyen capas de piedra caliza, dobladas con excelente exposición para permitir actividades educativas o accidentes geográficos con significado cultural o religioso para comunidades locales. Las rocas ornamentales con valores educativos y turísticos en monumentos y edificios pueden considerarse un ejemplo de elementos de geodiversidad ex situ. Los sitios con alto valor turístico también se pueden conocer como geomonumentos; término que se usa para promover los geosítios al público en general en algunos países (R. B. Singh, R.B., Wei, Dongying Anand, 2021). El término sitio de geodiversidad ya se está utilizando en el Reino Unido, principalmente como reemplazo de la designación anterior de Sitios geológicos / geomorfológicos de importancia regional (Browne, 2012; Prosser et al., 2010). Las estrategias de geoconservación deben aplicarse a la caracterización y manejo de todas las características de la geodiversidad que muestran algún tipo de valor (Henriques et al., 2011). Cabe destacar que el valor económico asociado a la explotación de los recursos geológicos no se considera en el ámbito de la geoconservación.

De cierta forma, el patrimonio minero también está relacionado con el patrimonio geológico y la geodiversidad. Por lo general, el término patrimonio minero se aplica a todo lo que está involucrado en la exploración minera activa e inactiva, como minerales y rocas que se están (o fueron) extrayendo, instalaciones industriales, documentación histórica de minas antiguas, procesos y técnicas de explotación, e

incluso historias y tradiciones de las comunidades mineras (Jelen, 2018; Rodríguez & Betancurth, 2005). En este sentido, si las ocurrencias de minerales y rocas todavía están disponibles y tienen valor científico, deben considerarse patrimonio geológico (patrimonio mineralógico o petrológico). Cuando solo es posible determinar su valor educativo y/o turístico, deben denominarse sitios de geodiversidad. Todos los demás activos mencionados se consideran patrimonio minero, que no es un tipo específico de patrimonio geológico. Al considerar únicamente las instalaciones industriales y mecánicas utilizadas durante la actividad minera, debería utilizarse en su lugar el término patrimonio industrial y su contribución a la historia de la tecnología.

La identificación y caracterización de sitios son pasos decisivos en cualquier estrategia de geoconservación (Ferreira et al., 2003; Henriques et al., 2011). Durante las últimas décadas, varios países han estado desarrollando inventarios nacionales de geosítios, principalmente en Europa (Wimbledon, 2013), Polonia (Reynard & Brilha, 2017), Portugal (Brilha, 2018; Ferreira et al., 2003), España (Carcavilla et al., 2009; García-Cortés et al., 2001), Suiza (Reynard et al., 2021), Rusia (Reynard & Giusti, 2018) y el Reino Unido (Wimbledon, 2013). Estas experiencias se están utilizando para desarrollar métodos de inventario que puedan adaptarse a regiones con áreas de diferente tamaño y entornos geológicos diversificados. Estos métodos incluyen el conocimiento geológico del territorio, una definición clara de los objetivos del inventario y el compromiso de la comunidad científica. El desarrollo de un inventario nacional sin una base metodológica sólida puede conducir a resultados erróneos, porque pueden incluirse sitios irrelevantes en el inventario o, peor aún, los geosítios más relevantes de un lugar pueden quedar fuera del inventario. El objetivo principal de este trabajo es presentar un enfoque sistemático de los métodos de inventario y cuantificación aplicados al patrimonio geológico y los

INTRODUCCIÓN |

sitios de geodiversidad, en el ámbito de las estrategias de geoconservación. Los procedimientos para la evaluación de la geodiversidad en su conjunto, independientemente del valor de los diferentes elementos, es otro dominio de investigación que ha sido desarrollado recientemente (De Paula Silva et al., 2015; Gray et al., 2013; Hjort & Luoto, 2012; Pellitero et al., 2010, 2015; Pereira et al., 2013) pero está fuera del alcance de este trabajo.

2. METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN

Si bien, existen atributos geológicos para los cuales el mismo geólogo no guarda dudas de sus cualidades excepcionales o que son fácilmente admirados por el observador convencional, el método científico debe obligar a los investigadores de cualquier área a romper el sesgo en sus apreciaciones y a entregar herramientas que permitan unificar conceptos, cuantificar la valoración que se da y sobre todo, crear homogeneidad en la aplicación, con el fin de que el sitio de interés, aunque sea analizado por observadores con diferentes definiciones de excepcional, puedan llegar a concluir la misma o similar valoración.

A nivel internacional, las metodologías de valoración de sitios de interés geológico han venido evolucionando desde la década de los 60, donde la estructura general contenía muchas características de valoración empíricas y sujetas a la emotividad del observador (Cendrero & De Medio Ambiente, 1996), lo que generaba conflicto al intentar validar sitios con diferentes expertos quienes podían valorar de manera muy contraria la misma zona. Dichas metodologías fueron evolucionando hasta poseer un valor cuantitativo mejor incluido, que, si bien no acaba con el sesgo, sí ofrece resultados mucho más unificados entre los conceptos técnicos de quienes evalúan.

En Colombia, y particularmente en Antioquia, las valoraciones iniciales realizadas a diferentes sitios, se concibieron por fuera de un marco común que les permitiera llegar a valoraciones similares, por lo que dichas contribuciones, valiosas por su carácter pionero, discrepan en algunos de los valores reportados, como muchas de ellas son de carácter cualitativo en esencia, no permiten llegar a un consenso general a la hora de aplicarlas en un mismo sitio (Henao, Osorio, & Hurtado, 2013; Henao & Osorio, 2012; Jaramillo Zapata et al., 2014; Molina & Mercado, 2003; Rodríguez & Betancurth, 2005; Tavera, 2015; Torres-Herrera, 2012). Incluso, algunas se han visto avocadas al desarrollo combinado de metodologías para diferentes tipos de elementos patrimoniales (Molina & Mercado, 2003), así como para la restitución de derecho patrimonial en atributos históricos de relevancia regional, o como herramienta de reivindicación de derechos comunitarios (Hernandez Almanza & Escobar Molina, 2005; Rendón-Rivera et al., 2017; Tavera-Escobar & Álvarez-Ramírez, 2019). Por lo que la construcción de un marco común toma una relevancia trascendental.

Fue solo hasta el año 2013 donde se empezaron a trabajar metodologías con un componente que correlacionaba las calificaciones patrimoniales cualitativas con valores cuantitativos, con la propuesta de metodologías para tal fin (Rendón Rivera et al., 2013), entregando valoraciones numéricas que son fáciles de interpretar para el imaginario técnico y administrativo de una zona, quienes puede entender de forma empírica que un sitio con una valoración de 800 puntos sobre 1000 posibles, sea muy importante, que un sitio valorado como “Mejor ejemplo”, de un proceso que para efectos de gestión legal y política no se entiende, con pilotos ejecutados en diferentes zonas (Henao, Osorio, & Rendón, 2013; Henao & Osorio, 2015a; Rendón-Rivera et al., 2017).

Para 2015, el cambio de naturaleza jurídica de INGEOMINAS, al hoy Servicio Geológico Colombiano, había logrado establecer una metodología de carácter nacional y de tipo cuantitativa, para el trabajo de inventariar los atributos geológicos de interés nacional, pero con los cambios ideológicos que suponen las permutas de dirección administrativa. La metodología se concluyó como innecesaria para los objetivos actuales, y hoy no existen metodologías cuantitativas regionales claras, oficiales y, sobre todo, con el carácter técnico suficiente que, de pie a la declaratoria de un sitio como patrimonio geológico y su correspondiente gestión integral en pro de la conservación, estudio y divulgación de las características que lo catalogan con determinadas cualidades excepcionales.

3. APLICACIONES METODOLOGICAS EN ANTIOQUIA

3.1. Zona De Estudio

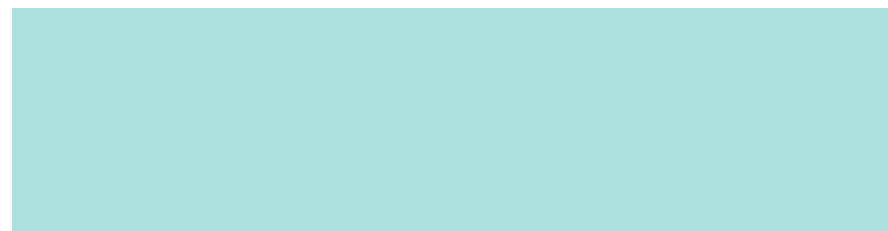
Antioquia se encuentra ubicado en el noroccidente de Colombia entre 5°25' y 8° 55' de latitud Norte y 73°53' y 77°07' de longitud, posee un área de 63,612 km² y sus límites administrativos se encuentran, al norte con el departamento de Córdoba y el mar caribe, al occidente con Chocó, al oriente con Bolívar, Santander y Boyacá, y al sur con los departamentos de Caldas y Risaralda (González, 2001). Su territorio se encuentra principalmente sobre las cordilleras central y occidental, lo que le otorga uno de los relieves más escarpados en el territorio nacional. Su división administrativa consta de 9 subregiones; Bajo Cauca, Magdalena Medio, Nordeste, Norte, Occidente, Oriente, Suroeste, Urabá y Valle de Aburrá. Su diversidad geográfica, le otorga igualmente, una gran variedad de pisos térmicos, desde zonas desérticas hasta paramos, con alturas desde el nivel del mar hasta los 4,100 msnm, lo que a su vez le permite desarrollar una gran diversidad de fauna y flora (Arredondo & Sánchez-Pacheco, 2010; Giraldo-Cañas, 2001; Roza et al., 2014), las aguas superficiales del departamento se drenan principalmente en tres grandes cuencas, Río Cauca, Río Magdalena y en el mar Caribe todo lo anterior dando origen a una gran diversidad geológica (geodiversidad), lo que da lugar a un gran potencial de sitios de interés geológicos en todo el territorio.

3.2. Ejemplos de Patrimonio Geológico en Antioquia

La importancia de utilizar metodologías cuantitativas para la valoración de sitios de interés geológico como patrimonio geológico, radica fundamentalmente en la facilidad en el manejo y transmisión de datos convencionalmente abstractos a un lenguaje más fácil y de mejor gestión, lo cual es fundamental en una ciencia que valora procesos, formas y cualidades en escalas de tiempo y magnitudes inadmisibles para la realidad humana. Adicionalmente, los marcos cuantitativos se acoplan fácilmente a consideraciones técnicas de forma eficaz, lo que concluye en inventarios técnicos, limpios y con una tasa de sesgo o parcialidad baja, lo que aporta a esta área de la geología un carácter adecuado para ser escuchada entre todas las demás disciplinas que la componen.

Algunas zonas de Antioquia han sido valoradas por sus diversas características geológicas, desde que el término de “patrimonio geológico” empezó a usarse como nueva línea investigativa de gran interés en la década del 2000 y hasta la fecha. En este sentido, la bibliografía ha reportado cerca de 215 puntos con intereses geológicos únicos, excepcionales, mejor ejemplo o representativos de procesos específicos (Osorio, J. & Henao, A., 2012), procesos que han definido la historia de los mismos durante millones de años.

Dicho inventario da cuenta además de que el conocimiento geológico del departamento está controlado por las características de orden social que ha mantenido ciertas zonas inaccesibles durante los últimos 50 años, por lo que zonas como Urabá, Nordeste, Magdalena Medio y Bajo Cauca, aun presentan vacíos de información que solo el trabajo de campo y la presencia del estado podrán llenar. Haciendo de lado la falencia identificada, se logra observar las regiones del Oriente, Suroeste, Norte y Occidente, como las áreas donde los inventarios han arrojado mayores lugares de interés geológico. Y es el área metropolitana, quien termina llamando la atención por contener sitios reportados con relevancia, a pesar de ser la capital del departamento, capital industrial del país y por ende la zona más antropomorfizada del departamento (figura 1), para mayores detalles sobre la localización regional y sus escalas de interés recomendamos (Osorio, J. & Henao, A., 2012).



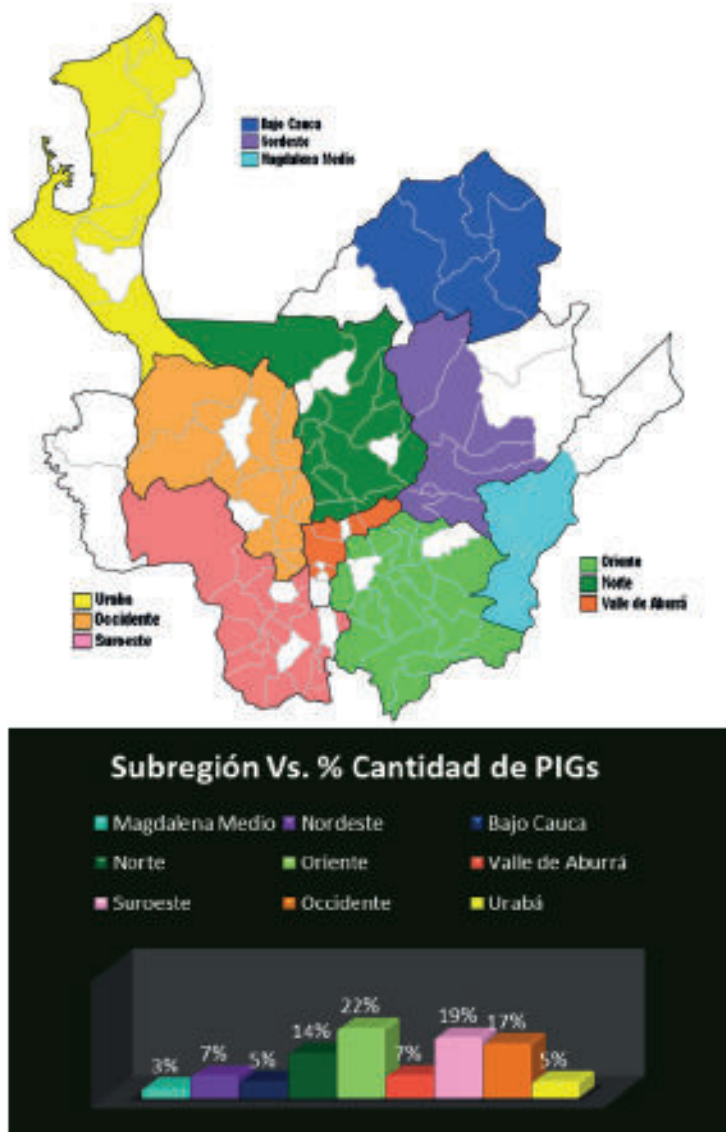


Figura 1: Sitios de interés geológico reportados por la bibliografía en Antioquia
Tomado de (Osorio, J. & Henao, A., 2012)

La primera metodología aplicada en el departamento para la valoración de sitios de interés geológico como patrimonio geológico del mismo, fue una metodología extranjera con modificaciones aplicadas según las características más relevantes del país, que incluyen la relación con otros aspectos relevantes de carácter cultural o biótico, el acceso a las zonas y el conocimiento que de la misma se tiene (Osorio, J. & Henao, A., 2012). Este proceso de valoración arrojó un inventario de 30 puntos, que descarto como patrimonio geológico 86% de los puntos relacionados de manera empírica como patrimonio geológico en inventarios anteriores, pero también reafirmó en esta categoría, otros que siempre han sido de llamativo interés para el gremio geológico como Cerro Tusa, La Piedra Del Peñol o el Cañón Del Rio Claro. También presentó como zona con mayor cantidad de sitios de carácter patrimonial, al Suroeste, seguido del norte y oriente y menor proporción Magdalena Medio, Valle de Aburrá, Nordeste, Urabá y Occidente, siendo el Bajo Cauca la única zona sin sitios considerados patrimonio geológico (figura 2).

Aunque la aplicación de esta metodología permitió evidenciar que, por ejemplo, ya no era posible tener acceso a algunas características previamente reportadas como los fósiles de mastodontes encontrados en la comuna 16 de Medellín, los cuales fueron prestados en comodato a un museo alemán y perdidos durante dicho proceso según conversación personal con el curador de dicho museo, algunos afloramientos que se han perdido por la constante visita de estudiantes en sus prácticas de campo, como los basaltos almohadillados de la formación Barroso, entre otros. Estos sucesos otorgan dinámicas muy especiales a los inventarios de patrimonio geológico, por lo que, aunque estos elementos por su carácter geológico en sí mismo sean de un valor excepcional único, no pueden ser objeto de estudio, protección o divulgación y su estatus en un inventario no va más allá de lo meramente informativo.

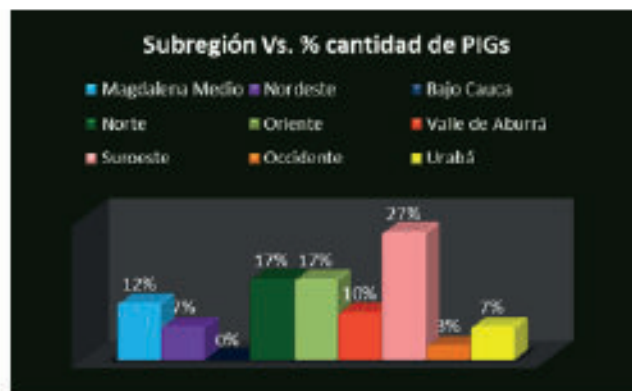
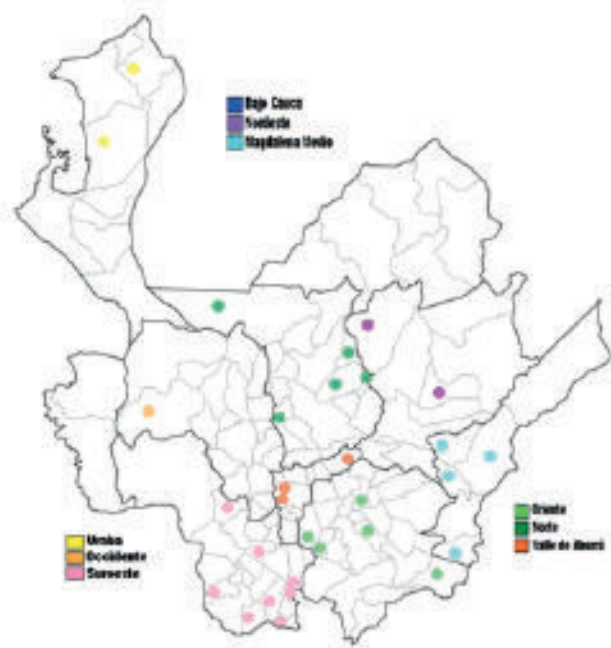


Figura 2: Inventario Patrimonio Geológico del Departamento de Antioquia con Metodología Extranjera.
Modificado de (Osorio, J. & Henao, A., 2012)

La segunda metodología de carácter cuantitativo utilizada en Antioquia, incorporó aspectos intrínsecos del sitio, relacionados a través de un índice de patrimonio geológico, el cual excluyó aspectos socioculturales que podían afectar el valor real del sitio y exagerar sus cualidades o, por el contrario, minimizarlas. Para mayores detalles sobre esta metodología recomendamos (Rendón Rivera et al., 2013).

El proceso de valoración arrojó un inventario de 21 puntos, que descartó como patrimonio geológico 90% de los puntos relacionados de manera empírica como patrimonio geológico en inventarios anteriores, pero también reafirmó en esta categoría, otros que siempre ha sido de llamativo interés para el gremio geológico como Cerro Tusa, La Piedra Del Peñol o el Cañón Del Río Claro.

Esta valoración arrojó como zona con mayor cantidad de sitios de carácter patrimonial, al Suroeste, seguido del Norte y Oriente y menor proporción Magdalena Medio, Valle de Aburrá, Nordeste, Urabá y Occidente, siendo el Bajo Cauca la única zona sin sitios considerados patrimonio geológico (figura 3). Algunas aproximaciones en zonas con vacíos de información han permitido levantar una línea base con la comunidad (Rendón-Rivera et al., 2017; Rendon et al., 2018), pero similar a lo observado en el primer inventario, sigue existiendo una alerta sobre la falta de gobernanza en estas zonas y la limitada actividad que el profesional puede desarrollar con el fin de validar la información suministrada por la comunidad. Es allí, donde el apoyo de los privados es clave con el fin de lograr avanzar en el conocimiento del territorio, cuando este es de limitado acceso (Henao, A. & Osorio, 2015; Henao & Osorio, 2015b; Osorio, J.G. & Henao, 2015; Osorio et al., 2015).

Es importante destacar que este tipo de inventarios, al evaluar características de tipo intrínseco, están siendo más específicos en la información que relacionan, lo cual le da a la metodología mayor nivel técnico y reduce de manera significativa los sesgos de comparación, observación y emotividad que puedan surgir en el observador o evaluador de la zona, con lo cual el departamento cuenta actualmente con un inventario técnico con una base científica de respaldo más sólida.

Entre ambos inventarios existe una concordancia del 70%, por lo que se puede inferir que la aplicación de metodologías extranjeras tiene un alto grado de éxito en nuestra realidad geológica y que nuestras características autóctonas representan el 30% de variabilidad en el resultado final de valoración.

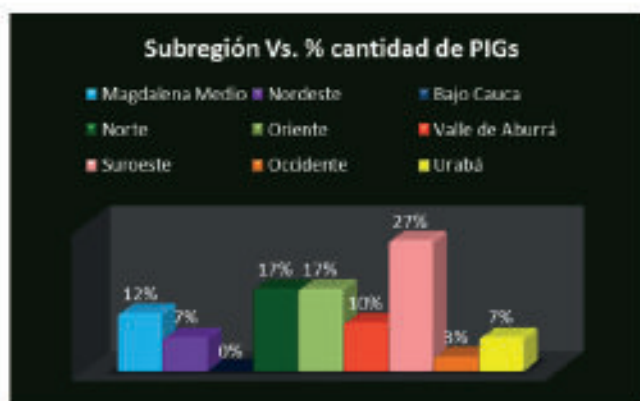
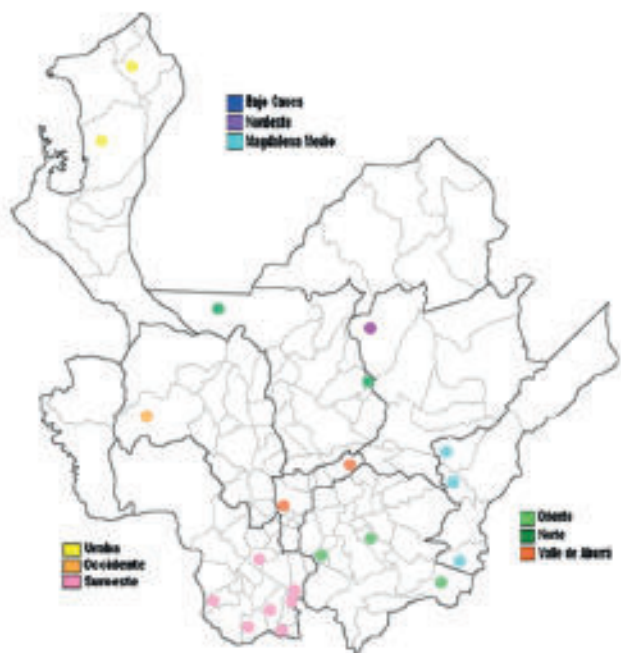


Figura 3: Inventario Patrimonio Geológico del Departamento de Antioquia con Metodología Propia.
Elaboración propia

El ultimo inventario de patrimonio geológico de Antioquia que cuenta con 21 sitios (tabla 1), tiene como sitios de réplica continua con el primer inventario y con trabajos anteriores, a El Cerro Tusa en el Suroeste de Antioquia, La Piedra del Peñol en el Oriente de Antioquia y el Cañón del Río Claro en el Magdalena Medio, los cuales son ejemplos muy importantes de la geodiversidad del departamento y como en el mismo, se ven los vestigios de la historia geológica del país. Adicionalmente, incorpora un sitio de importancia paleontológica, los cuales son escasos en el área de las Cordilleras Occidental y Central por sus características geológicas formacionales y sus edades evolutivas. Al ser sitios de interés para quienes han venido trabajando el tema, para los geólogos formados en esta parte del país y estas dichas características resaltadas en 2 inventarios cuantitativos, se puede concluir como zonas con un real valor geológico que merecen destacarse con miras en su estudio más detallado y gestión adecuada como patrimonio geológico del departamento.

Tabla 1:
Inventario de Patrimonio
Geológico de Antioquia

Inventario De Patrimonio Geológico De Antioquia

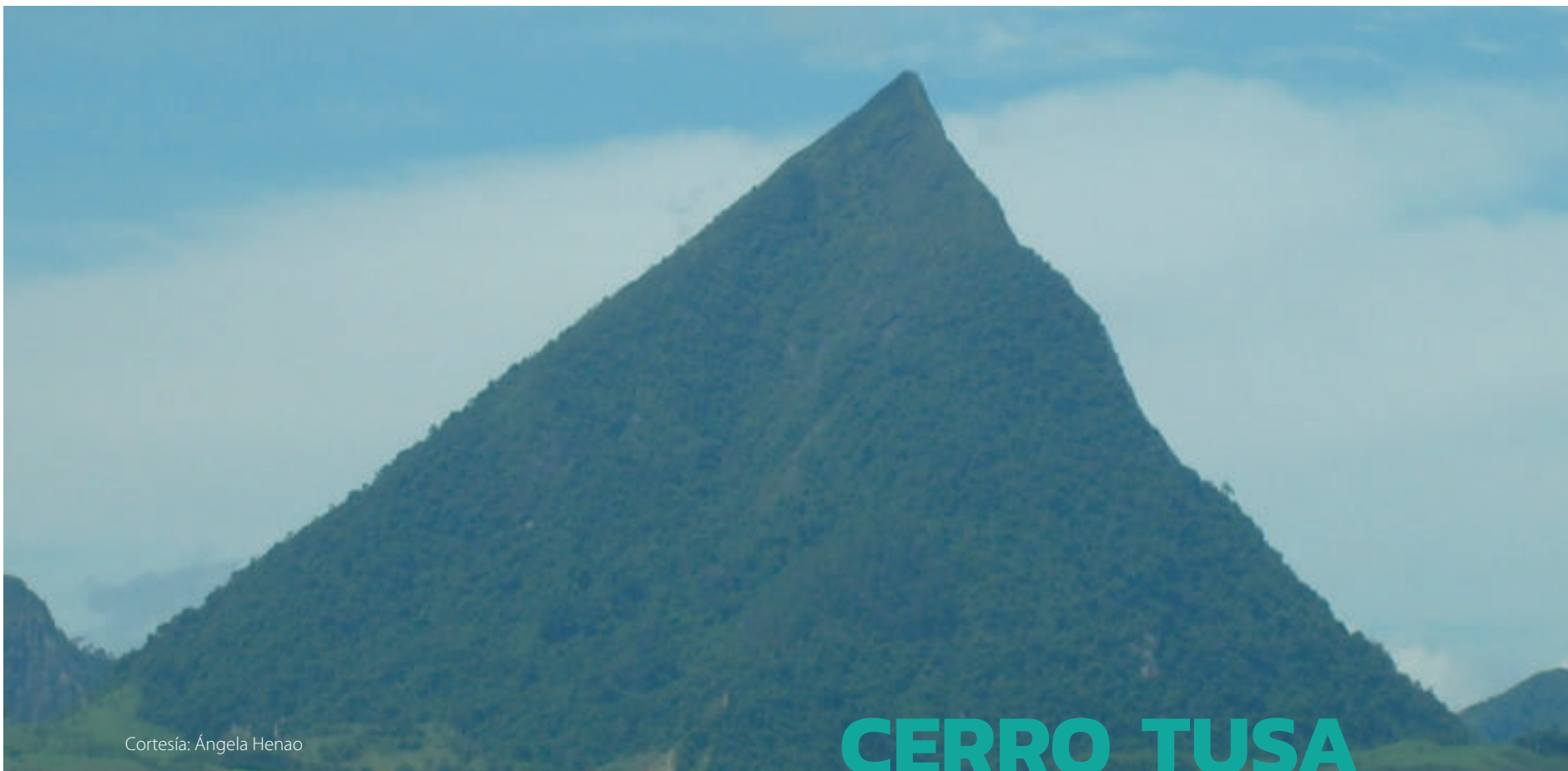
Cód	PIG	Interés Principal	Geología	Relevancia	Sector	Sub-Región
001	Cavernas del Río Alicante	Geomorfológico	Complejo Cajamarca	Alta	Maceo	Magdalena Medio
002	Cañón del Río San Bartolo	Geomorfológico e Hidrológico	Formación Mesa	Alta	Puerto Berrio	Magdalena Medio
003	Cañón del Río Claro	Geomorfológico, Tectónico e Hidrológico	Formación Mesa	Alta	Puerto Triunfo	Magdalena Medio
004	Cueva Del Indio	Geomorfológico	Batolito Antioqueño	Medio	Vegachí	Nordeste
005	Paramo De Belmira	Paisajístico y Ambiental	Complejo Cajamarca	Medio	Belmira	Norte
006	Salto De Guadalupe	Paisajístico e Hidrológico	Formación San Pablo	Medio	Guadalupe	Norte
007	Salto Del Río Buey	Geomorfológico y Paisajístico	Aluviones Recientes	Medio	La Ceja	Oriente
008	Piedra Del Peñol	Petrológico y Geomorfológico	Batolito Antioqueño	Alta	Guatapé	Oriente
009	Páramo De Sonsón	Paisajístico y Ambiental	Batolito de Sonsón	Medio	Sonsón	Oriente
010	Cueva Santa Rosa	Geomorfológico	Batolito Antioqueño	Medio	Barbosa	Valle de Aburrá
011	Museo de Minerales	Petrológico y Mineralógico	N.A.	Alta	Medellín	Valle de Aburrá
012	Farallones Del Citará	Geomorfológico, Hidrológico y Estructural	Miembro Urrao	Alta	Betania	Suroeste
013	Cerro De Caramanta	Geomorfológico, Hidrológico y Paisajístico	Formación Amagá	Medio	Caramanta	Suroeste

Inventario De Patrimonio Geológico De Antioquia

Cód	PIG	Interés Principal	Geología	Relevancia	Sector	Sub-Región
014	Cavernas Del Esplendor	Geomorfológico	Formación Amagá	Alta	El Jardín	Suroeste
015	Farallones De La Pintada	Geomorfológico, Hidrológico y Estructural	Formación Amagá	Alta	La Pintada	Suroeste
016	Mirador De Pipintá	Paisajístico	Formación Amagá	Alta	La Pintada	Suroeste
017	Cascada Velo De Novia	Estructural y Paisajístico	Formación Combia	Alta	Támesis	Suroeste
018	Cerro Tusa	Geomorfológico, Volcánico y Estructural	Formación Combia	Alta	Venecia	Suroeste
019	Paramo Del Sol	Paisajístico y ambiental	Cuaternario Aluvial	Alta	Frontino	Occidente
020	Volcán De Lodo	Científico y Paisajístico	Formación Paujil	Alta	Arboletes	Urabá
021	Delta Del Rio Atrato	Geomorfológico	FCuaternario Aluvial	Alta	Turbo	Urabá

3.3. Ejemplo de ficha descriptiva de cada punto clasificado como patrimonio geológico

A continuación, se muestra la ficha descriptiva de tres sitios incluidos dentro del inventario de patrimonio geológico de Antioquia. Estas fichas, recogen de manera general, toda la información relevante asociada con el sitio y así como con el propio inventario, estas fichas son de carácter dinámico, con el fin de mantener contenido cualquier dato relevante que surjan del sitio en cuestión.



Cortesía: Ángela Henao

CERRO TUSA

- » **Nombre Común:** Cerro Tusa
- » **Nombre Científico:** Cono Volcánico Terciario Inactivo del Suroeste
- » **Ubicación:** Suroeste de Antioquia, Municipio de Venecia
- » **Geología:** Pórfidos Andesíticos Hornblendicos
- » **Interés Principal:** Geomorfológico
- » **Interés Secundario:** Volcánico Estructural
- » **Relación con otros intereses patrimoniales:** Petroglifos en su base

DESCRIPCIÓN:

geomorfológicamente, el Cerro Tusa, es denominado como un Criptodomo (SGC, 2012) unidad geomorfológica caracterizada por cuerpos que sobresalen de la topografía circundante de manera aislada, de forma cónica o dómica con laderas de pendientes inclinadas a muy inclinadas e irregulares. Su origen es subvolcánico y su génesis se asocia a una intrusión de magma justo por debajo de la superficie, aprovechando zonas de debilidad o discontinuidades, que levanta la roca caja, sin llegar a salir al exterior. Dados sus propiedades de resistencia respecto a las unidades que los hospedan, estos cuerpos quedan expuestos por efectos de procesos erosivos.

La Formación Combia es denominada por (Grosse, 1926) como Estratos de Combia y la divide en dos miembros, Neoterciario Volcánico y Neoterciario Sedimentario. Posteriormente, Calle et al. (1980) los denominan informalmente como Miembro volcánico y Miembro sedimentario de la Formación Combia (Mahecha Carreño et al., 2006).

El Miembro Volcánico se compone principalmente de derrames basálticos, conglomerados de matriz tobácea, aglomerados y tobas. La mayoría de los derrames basálticos se presentan como basaltos feldespáticos, porfídicos, augíticos y vesiculares, mientras que, en los conglomerados, la matriz está compuesta por cuarzo, feldespato y minerales ferromagnesianos como augita, hornblenda y biotita, por lo que se le atribuye el término de “matriz tobácea” (Kamila et al., 2019).

Relevancia como patrimonio geológico: De acuerdo a la metodología de valoración cuantitativa que describe el actual inventario de patrimonio geológico de Antioquia (Rendon, A. et al., 2013), Cerro Tusa tiene una valoración de 4.4, lo que le atribuye como “Patrimonio Geológico con Uso Restringido”. Las características que dan pie a esta valoración se relacionan con el valor científico (4 puntos), diversidad (5 puntos), valor didáctico (5 puntos), valor estético (4 puntos) y edad geológica (4 puntos).

El Cerro Tusa se cataloga como evidencia del último magmatismo que existió al norte de la cordillera central, el cual ha ido migrando hacia el sur del país, donde la actividad volcánica es activa hoy en día, en concordancia con los procesos tectónicos que enmarcan dicha cordillera. Su relevancia, además, radica en la forma llamativa que posee y que lo hace sobresalir en un paisaje típicamente caracterizado por colinas más bajas de cimas redondeadas y pendientes suavizadas, por lo que resalta inmediatamente como un elemento llamativo para el observador.

Su valoración con uso restringido está relacionada con las propiedades únicas que posee y que pueden perderse para siempre si no hay acciones implementadas y orientadas a su adecuada gestión. Esta gestión, incluye el estudio científico, acciones para la conservación y estrategias educativas entorno a sus atributos, que además incluyen la apropiación social y cultural que se ha asociado a este sitio, que cuenta con petroglifos en su base y una fiesta anual para celebrar su cumpleaños.



Cortesía: Ángela Henao

PIEDRA DEL PEÑOL

- » **Nombre Común:** Piedra Del Peñol
- » **Nombre Científico:** Inselberg Granítico Cretácico del Oriente
- » **Ubicación:** Oriente de Antioquia, Municipio de Guatapé
- » **Geología:** Cuarzodioritas
- » **Interés Principal:** Petrológico
- » **Interés Secundario:** Geomorfológico
- » **Relación con otros intereses patrimoniales:** Apropiación social

DESCRIPCIÓN:

la Piedra del Peñol, hace parte del cuerpo intrusivo ígneo denominado Batolito Antioqueño, el cual es uno de los cuerpos plutónicos de mayor extensión en la Cordillera Central de Colombia, intrusivo en todas las rocas que lo encajan y a diferencia de los grandes plutones de cadenas orogénicas, se caracteriza por su homogeneidad litológica y poca variabilidad petroquímica, donde predominan rocas granitoides de la serie granodiorita-tonalita, macizas, faneríticas equigranulares de grano medio (Londoño G., 1998).

Las geoformas características desarrolladas sobre el Batolito Antioqueño son: peñoles, organales, acanaladuras, bloques de cuarzo, formas tabulares y pseudokarst enmarcadas en un macrorelieve denominado superficies de erosión generadas por varios levantamientos en la Cordillera Central e interrumpidas por valles profundos.

RELEVANCIA COMO PATRIMONIO GEOLÓGICO:

De acuerdo con la metodología de valoración cuantitativa que describe el actual inventario de patrimonio geológico de Antioquia (Rendon, A. et al., 2013), La Piedra Del Peñol tiene una valoración de 4,6, lo que le atribuye como "Patrimonio Geológico con Uso Restringido".

Las características que dan pie a esta valoración se relacionan con el valor científico (5 puntos), diversidad (4 puntos), valor didáctico (5 puntos), valor estético (3 puntos) y edad geológica (4 puntos).

La piedra del Peñol y concretamente el Batolito Antioqueño representan el registro magmático de la interacción entre las placas Farallón y Caribe con la parte NW de la placa Sudamericana durante el Meso-Cenozoico (Duque-Trujillo et al., 2019), que se concluye formado por una serie de pulsos magmáticos entre ~97 y 58 Ma en un ambiente de arco magmático. Las fases iniciales de este magmatismo corresponden a un ambiente tectónico syncolisional correspondiente a las fases iniciales de la interacción entre las placas Farallón y NW de la placa Sudamericana. Mientras que las fases finales, de edad Eoceno, se relacionan con un ambiente poscolisional, similar al registrado en otros plutones del arco magmático Paleógeno de la cordillera Central en Colombia (Duque-Trujillo et al., 2019).

Su valoración con uso restringido está relacionada con la importancia que posee en términos estratigráficos, tectónicos y petrológicos, enfocados a un público mucho más técnico. Sin embargo, cabe destacar que las geoformas asociadas a dicho cuerpo interactúan en un paisaje con gran dramatismo que es de gran interés para los turistas de naturaleza y que poseen un valor educativo importante, para explicar los suelos que conforman gran parte de territorio antioqueño.



CAÑÓN DEL RÍO CLARO

- » **Nombre Común:** Cañón del Río Claro
- » **Nombre Científico:** Cañón Kárstico plioceno de Rio Claro
- » **Ubicación:** Magdalena Medio de Antioquia, Municipios de Sonsón, San Francisco y San Luis
- » **Geología:** Mármoles, cuarcitas

- » **Interés Principal:** Geomorfológico
- » **Interés Secundario:** Tectónico Hidrológico
- » **Relación con otros intereses patrimoniales:** Fauna y flora

DESCRIPCIÓN:

se ubica en las estribaciones más orientales del flanco oriental de la cordillera central. Las unidades litológicas se han agrupado en tres amplios grupos: i) Rocas metamórficas de la cordillera central, compuestas por gneis feldespáticos, gneis de aluminio, gneis Hornblendicos, cuarcitas y mármoles. Su distribución es alargada en dirección N-S, formando una franja que atraviesa principalmente el extremo oriental de la cordillera central hacia el oeste de la falla de Otú. ii) serie polimetamórfica de la cordillera central, compuesta por esquistos sericíticos, actinolíticos y cloríticos, cuarcitas y mármoles encontrados en las facies de esquistos verdes de baja presión. Son rocas abundantes en el sector norte y medio de la cordillera central, y iii) los gneises intrusivos están compuestos por gneises de protolitos ígneos intrusivos de composición diorítica a tonalítica, con condiciones de metamorfismo indeterminadas, pero presumiblemente de facies de esquistos verde o anfíbolita.

A nivel regional, el área está clasificada con sismicidad media-alta según (CORNARE, 2014). Presenta varios tipos de estructuras tectónicas como pliegues, fallas y familias de diaclasas, formadas a partir del evento tectónico-metamórfico que afectó a la región durante el Paleozoico, se desarrollaron pliegues de tamaño métrico a milímetro. El límite occidental de la franja de mármol se ve afectado por la falla de Palestina (Feininger et al., 1970). Cuyo movimiento principal fue dextral a fines del Cretácico y cuyo movimiento reciente, débil es de tipo sinistral-inverso (Duque-Trujillo et al., 2019).

RELEVANCIA COMO PATRIMONIO GEOLÓGICO:

de acuerdo con la metodología de valoración cuantitativa que describe el actual inventario de patrimonio geológico de Antioquia (Henao, A. & Osorio, J., 2015; Henao, Osorio, & Rendón, 2013), El Cañón del Río Claro tiene una valoración de 5,0, lo que le atribuye como "Patrimonio Geológico con Uso Restringido".

Las características que dan pie a esta valoración se relacionan con el valor científico (5 puntos), diversidad (5 puntos), valor didáctico (5 puntos), valor estético (5 puntos) y edad geológica (5 puntos).

El Cañón del Río Claro cuenta con las evidencias que permiten reconstruir de una forma muy precisa, los procesos que dieron origen a la configuración actual de esta zona del país, contiene registros de la actividad tectónica regional, hace parte del corredor kárstico del departamento que aloja en condiciones de bosque húmedo tropical, gran variedad de especies de fauna y flora y hace parte del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Bosques, Mármoles y Pantágoras, gestionado por CORNARE para su protección, sin mencionar que allí se desarrolla un modelo de desarrollo sostenible para la conservación de los últimos bosques nativos de la zona, lo que sumado al dramatismo del paisaje y las aguas, dan fuertes elementos para considerarlo un sitio de características excepcionales.

Su valoración con uso restringido, está relacionado con la importancia que posee en términos tectónicos y geomorfológicos, lo que le incorpora características de susceptibilidad por la rápida degradación que el paisaje kárstico sufre, lo que en consecuencia no permite que el registro estratigráfico sea conservado ampliamente, adicional, los cambios que la actividad antrópica pueden incorporar a este tipo de ambientes, tienen un impacto importante en los microclimas que alimentan la formación de geoformas y la vida de la fauna allí contenida.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los argumentos que se presentan en torno a patrimonio geológico dejan muy claro la importancia que el mismo tiene para los geólogos, quienes son los que entienden de los procesos que se buscan resaltar a nivel de las características intrínsecas de los rasgos geológicos. Siempre será importante migrar el discurso para que los argumentos técnicos se presenten con la mayor claridad posible a los actores sociales que habitan estos espacios y quienes son los que podrán hacer uso didáctico, turístico y de conservación de estos.

El patrimonio geológico resalta las características de la historia de la tierra, que han dado lugar a la configuración actual de la misma. En ese sentido, hace parte de la historia del hombre, por lo que es indispensable comunicar el valor de dichos elementos de una manera adecuada, para que el patrimonio geológico, deje de ser el patrimonio de los geólogos y se involucre en la simpatía de todos los actores sociales de un territorio. De esta forma, hablar de patrimonio en su definición más elemental, tendrá el adecuado sentido.

En ese orden de ideas, es clave que se entiendan los procesos comunitarios en pro de elevar sitios con características relevantes a ser considerados patrimonio geológico o agruparlos dentro de un geoparque como estrategia de protección o difusión, no deben ser entorpecidos, sino alimentados y apoyados por el conocimiento técnico con la clara consigna de que si bien son modelos que pueden llegar a generar sustento a las comunidades autónomas, no tienen asegurado el éxito y no son estrategia directa hacia la garantía de seguridad alimentaria o libertad económica a corto plazo de dichas comunidades, por lo que los procesos pueden verse afectados cuando se prometen soluciones milagrosas con alterativas de este tipo.

Las metodologías cuantitativas, permiten traducir el lenguaje técnico a un lenguaje de entendimiento global: La transformación a estas metodologías hace más fácil implementar indicadores, realizar comparaciones e identificar los sitios que requieren mayor atención de los entes gestores.

Si bien, las investigaciones pioneras en torno al tema en el departamento, son una valiosa línea base para el desarrollo del patrimonio geológico y la geodiversidad como línea investigativa, el criterio científico debe mantenerse en todo momento, por tanto, las subjetividades relacionadas con la belleza de un sitio, el reconocimiento del mismo por los actores sociales del territorio o el uso que estos le han dado, debe siempre evaluarse como un valor agregado, mas no como el factor de reconocimiento primordial del lugar.

Siendo la tierra un sistema dinámico, en constante cambio, los inventarios que en torno a sus elementos se realicen, siempre requerirán la revisión o actualización, que permita incluir puntos importantes recién descubiertos o recién estudiados y retirar sitios cuyas características relevantes se hayan perdido o hayan sido deterioradas, por lo que, las metodologías de valoración son una alternativa argumentativa muy útil para hacer este proceso de manera continua, manteniendo el carácter técnico-científico y sobre todo, permitiendo la practicidad en la aplicación.

5. BIBLIOGRAFÍA

Arredondo, J. C., & Sánchez-Pacheco, S. J. (2010). New Endemic Species Of Riana (Squamata: Gymnophthalmidae) From Northern Colombia. *Journal Of Herpetology*, 44(4), 610–617.

<https://doi.org/10.1670/09-218.1>

Brilha, J. (2016). Inventory And Quantitative Assessment Of Geosites And Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134.

<https://doi.org/10.1007/S12371-014-0139-3>

Brilha, J. (2018). Geoheritage And Geoparks. In *Geoheritage: Assessment, Protection, And Management*.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00018-6>

Browne, M. A. E. (2012). Geodiversity And The Role Of The Planning System In Scotland. *Scottish Geographical Journal*.

<https://doi.org/10.1080/14702541.2012.725862>

Bruno, D. E., Crowley, B. E., Gutak, J. M., Moroni, A., Nazarenko, O. V., Oheim, K. B., Ruban, D. A., Tiess, G., & Zorina, S. O. (2014).

Paleogeography As Geological Heritage: Developing Geosite Classification. In *Earth-Science Reviews*.

<https://doi.org/10.1016/J.Earscirev.2014.06.005>

Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz-Martínez, E., García-Cortés, Á., Lozano, G., Rábano, I., Sánchez, A., & Vegas, J. (2014). Geodiversidad y Patrimonio Geológico. **<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2922.9607>**

Carcavilla, L., Durán, J. J., García-Cortés, Á., & López-Martínez, J. (2009). Geological Heritage And Geoconservation In Spain: Past, Present, And Future. *Geoheritage*. **<https://doi.org/10.1007/S12371-009-0006-9>**

Cendrero, A., & De Medio Ambiente, M. (1996). El Patrimonio Geológico. Ideas Para Su Protección, Conservación Y Utilización. El Patrimonio Geológico, 17–28.

CORNARE. (2014). Plan De Gestión Ambiental Regional 2014-2032 Río Negro-Nare Sostenibilidad Del Oriente Antioqueño. In Plan De Gestion Ambiental Regional 2014-2032: Servicios Ecosistemicos Y Adaptacion Al Cambio Climatico , Un Pacto Por La Sostenibilidad Del Oriente Antioqueño.Regional 2014-2032: Servicios Ecosistemicos Y Adaptacion Al Cambio Climatico , Un Pacto Por La (P. 289).

De Paula Silva, J., Rodrigues, C., & Pereira, D. I. (2015). Mapping And Analysis Of Geodiversity Indices In The Xingu River Basin, Amazonia, Brazil. *Geoheritage*. **<https://doi.org/10.1007/S12371-014-0134-8>**

Dos Reis, R. P., & Henriques, M. H. (2009). Approaching An Integrated Qualification And Evaluation System For Geological Heritage. In *Geoheritage*. **<https://doi.org/10.1007/S12371-009-0002-0>**

Duque-Trujillo, J., Bustamante, C., Solari, L., Gómez-Mafla, Á., Toro-Villegas, G., & Hoyos, S. (2019). Reviewing The Antioquia Batholith And Satellite Bodies: A Record Of Late Cretaceous To Eocene Syn-To Post-Collisional Arc Magmatism In The Central Cordillera Of Colombia. *Andean Geology*, 46(1), 82–101.

<https://doi.org/10.5027/Andgeov46n1-3120>

Elizaga, E., Gallego, E., & Garcia-Cortes, A. (1994). Inventaire National Des Sites D'interet Geologique En Espagne: Methodologie Et Deroulement. *Memoires - Societe Geologique De France*.

Feininger, T., Barrero, D., & Castro, N. (1970). Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-B). Memoria Explicativa. Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas, 20(2), 2–3.

Ferreira, N., Brilha, J., Dias, G., Castro, P., Alves, M. I. C., & Pereira, D. (2003). Património Geológico Do Parque Natural Do Douro Internacional NE De Portugal): Caracterização De Locais De Interesse Geológico. *Ciências Da Terra (UNL)*, No Esp. V.

García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., Barnolas, A., & Durán, J. J. (2001). First Spanish Contribution To The Geosites Project: List Of The Geological Frameworks Established By Consensus. *Episodes*. **<https://doi.org/10.18814/Epiugs/2001/V24i2/002>**

Giraldo-Cañas, D. (2001). Análisis Florístico Y Fitogeográfico De Un Bosque Secundario Pluvial Andino, Cordillera Central (Antioquia, Colombia). *Darwiniana*, 39(3–4), 187–199.

González, H. (2001). Mapa Geológico Del Departamento De Antioquia (Memoria Explicativa).In Boletín Geológico. Ingeominas. **<http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040024267/Documento/Pdf/0101242671101000.Pdf>**

Gray, M. (2008). Geodiversity: Developing The Paradigm. Proceedings Of The Geologists' Association.

[https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0)

Gray, M. (2011). Other Nature: Geodiversity And Geosystem Services. In Environmental Conservation.

<https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>

Gray, M., Gordon, J. E., & Brown, E. J. (2013). Geodiversity And The Ecosystem Approach: The Contribution Of Geoscience In Delivering Integrated Environmental Management. Proceedings Of The Geologists' Association.

<https://doi.org/10.1016/J.Pgeola.2013.01.003>

Grosse, E. (1926). Estudio Geológico Del Terciario Carbonífero De Antioquia, En La Parte Occidental De La Cordillera Central De Colombia, Entre El Río Arma Y Sacaojal.

Henao, A., & Osorio, J. (2015). Inventario Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Río Claro, Antioquia-Colombia: Identificación, Clasificación Y Valoración. In Patrimonio Geológico Y Geoparques, Avances De Un Camino Para Todos (Pp. 173–178).

Henao, A., & Osorio, J. G. (2015). Amenazas Y Vulnerabilidades Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Río Claro Antioquia-Colombia. In XV Congreso Colombiano De Geología I Simposio De Exploradores.

Henao, A., & Osorio, J. (2012). Propuesta Metodologica Para La Identificación Y Clasificación Del Patrimonio Geologico Como Herramienta De Conservación Y Valoración Ambiental. Congreso Latinoamericano De Prevención De Riesgos Y Medio Ambiente, Santiago De Chile-Chile., 1–14.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&Q=Intitle:No+Title#0>

Henao, A., & Osorio, J. (2015a). Propuesta De Ruta Interpretativa Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Río Claro, Antioquia - Colombia. In XI Reunión Nacional De La Comisión De Patrimonio Geológico De España (Ed.), XI Reunión Nacional De La Comisión De Patrimonio Geológico De España (P. 12). XI Reunión Nacional De La Comisión De Patrimonio Geológico De España.

Henao, A., & Osorio, J. G. (2015b). Inventario Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Río Claro, Antioquia, Colombia: Identificación, Clasificación Y Valoración. Patrimonio Geológico Y Geoparques, Avances De Un Camino Para Todos. Cuadernos Del Museo Geominero, No 18., 173–178.

Henao, A., Osorio, J., & Hurtado, E. (2013). Reconocimiento Del Yacimiento Fósilífero Del Arma Como Patrimonio Geológico: Guía General De Gestión. XIV Congreso Colombiano De Geología I Simposio De Exploradores.

Henao, A., Osorio, J., & Rendón, A. (2013). Inventario De Reconocimiento Del Patrimonio Geológico Del Departamento De Antioquia, Colombia. In Patrimonio Geológico, Un Recurso Para El Desarrollo (X Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico).

Henriques, M. H., Dos Reis, R. P., Brilha, J., & Mota, T. (2011). Geoconservation As An Emerging Geoscience. Geoheritage.

<https://doi.org/10.1007/S12371-011-0039-8>

Hernandez Almanza, P., & Escobar Molina, J. M. (2005). Minería participativa en ecosistemas insulares. In El Patrimonio Geominero en el Contexto de la Ordenación Territorial (Pp. 395–418). Mistral.

Hjort, J., & Luoto, M. (2012). Can Geodiversity Be Predicted From Space? Geomorphology.

<https://doi.org/10.1016/J.Geomorph.2012.02.010>

Jaramillo Zapata, J. E., Caballero-Acosta, J. H., & Molina-Escobar, J. M. (2014). Patrimonio Geológico Y Geodiversidad: Bases Para Su Definición En La Zona Andina De Colombia: Caso Santa Fe De Antioquia. Boletín De Ciencias De La Tierra, 35, 53–65.

<https://doi.org/10.15446/Rbct.N35.43146>

Jelen, J. (2018). Mining Heritage And Mining Tourism. Czech Journal Of Tourism, 7, 93–105. **<https://doi.org/10.1515/Cjot-2018-0005>**

Kamila, M., Navarro, D., Luis, J., & Martínez, M. (2019). Contexto Tectónico Durante La Acumulación De Las Formaciones Amagá Y Combia (Mioceno Tardío) En El Suroccidente Antioqueño – Sección De La Quebrada La Táparo, A Partir De Análisis De Proveniencia Sedimentaria.

https://Repository.Eafit.Edu.Co/Bitstream/Handle/10784/16122/MariaKamila_Diaznavarro_Jorgeluis_Monsalvemartinez_2019.Pdf?Sequence=2&Isallowed=Y

Londoño G., A. C. (1998). Geoformas Asociadas Al Batolito Antioqueño. Geología Colombiana, 23(0 SE-), 133–145.

<https://Revistas.Unal.Edu.Co/Index.Php/Geocol/Article/View/31477>

Mahecha Carreño, H., Ortiz Trujillo, J., Tejada Avella, M. L., Paniagua Aguirre, F., & Scharff, M. W. (2006). Cartografía Y Caracterización Litológica De Las Vulcanoclastitas De La Formación Combia, En Un Área De 200 Km² En Los Alrededores Del Municipio De Jardín (Departamento De Antioquia, Colombia).

<http://Recordcenter.Sgc.Gov.Co/B12/23008002524033/Documento/Pdf/2105240331101000.Pdf>

Molina, J., & Mercado, M. (2003). Patrimonio Geológico Minero Y Geoturístico. Enfoque Conceptual Y De Casos En Colombia. In Patrimonio Geológico Y Minero En El Contexto Del Cierre De Minas. Cnpq/CYTED, Rio De Janeiro (Pp. 169–185). CYTED.

Osorio, J., & Henao, A. (2012). Propuesta Para La Divulgación Del Inventario De Reconocimiento Del Patrimonio Geológico Del Departamento De Antioquia - Colombia Caso Aplicativo. Congreso Latinoamericano De Prevención De Riesgos Y Medio Ambiente, Santiago De Chile-Chile., 1–15.

http://Paritario.Utalca.Cl/Docs/MESA_A_PONENCIAS/A_19_Propuesta_Divulgacion_Inventario_Patrimonio_Geologico_Antioquia_COLOMBIA_OSORIO_HENAO.Pdf

Osorio, J.G., & Henao, A. (2015). Propuesta De Ruta Acuática Interpretativa Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Rio Claro, Antioquia Colombia. XV Congreso Colombiano De Geología I Simposio De Exploradores.

Osorio, J. G., Henao, A., & Rendón, A. (2015). Propuesta De Ruta Interpretativa Del Patrimonio Geológico De La Reserva Natural Cañón Del Rio Claro, Antioquia - Colombia. Patrimonio Geológico Y Geoparques, Avances De Un Camino Para Todos. Cuadernos Del Museo Geominero, No 18., 425–430.

Pellitero, R., González-Amuchastegui, M. J., Ruiz-Flaño, P., & Serrano, E. (2010). Geodiversity And Geomorphosite Assessment Applied To A Natural Protected Area: The Ebro And Rudron Gorges Natural Park (Spain). Geoheritage. **<https://Doi.Org/10.1007/S12371-010-0022-9>**

Pellitero, R., Manosso, F. C., & Serrano, E. (2015). Mid- And Large-Scale Geodiversity Calculation In Fuentes Carrionas (NW Spain) And Serra Do Cadeado (Paraná, Brazil): Methodology And Application For Land Management. Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography. **<https://Doi.Org/10.1111/Geoa.12057>**

Pereira, D. I., Pereira, P., Brilha, J., & Santos, L. (2013). Geodiversity Assessment Of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. Environmental Management. **<https://Doi.Org/10.1007/S00267-013-0100-2>**

Prosser, C. D., Burek, C. V., Evans, D. H., Gordon, J. E., Kirkbride, V. B., Rennie, A. F., & Walmsley, C. A. (2010). Conserving Geodiversity Sites In A Changing Climate: Management Challenges And Responses. Geoheritage. **<https://Doi.Org/10.1007/S12371-010-0016-7>**

R. B. Singh, R.B., Wei, Dongying Anand, S. (2021). Global Geographical Heritage, Geoparks And Geotourism. **<http://Link.Springer.Com/10.1007/978-981-15-4956-4>**

Rendón-Rivera, A., Henao-Arroyave, A. M., & Osorio-Cachaya, J. G. (2017). Inventory Of The Sites Of Geological Interest, In The Southwestern Of Antioquia Colombia. Boletín De Ciencias De La Tierra, 0(41), 66–72. **<https://Doi.Org/10.15446/Rbct.N41.54841>**

Rendon, A., Henao, A., & Osorio, J. (2013). Propuesta Metodológica Para La Valoración Del Patrimonio Geológico, Como Base Para Su Gestión En El Departamento De Antioquia – Colombia. Boletín De Ciencias De La Tierra, 33, 85–92. **<http://Www.Bdigital.Unal.Edu.Co/10667/>**

Rendón, A., Gómez A. N., Osorio, J. G., Henao, A., Ortega, S., & Quintero, J.E., Cifuentes, L.M., Henao, M. P. (2018). Construcción De Un Itinerario Geoarqueológico Con Participación Comunitaria, Una Estrategia Para La Enseñanza Y Difusión De Las Ciencias De La Tierra. Caso De Aplicación En El Corregimiento El Prodigio, Municipio De San Luis, Antioquia. XIII Semana Técnica De Geología, Ingeniería Geológica Y Geociencias, Manizales.

Rendon-Rivera, A. D. E. J., Henao Arroyave, A. M., & Osorio Cachaya, J. G. (2013). Propuesta Metodológica Para La Valoración Del Patrimonio Geológico, Como Base Para Su Gestión En El Departamento De Antioquia – Colombia. Boletín De Ciencias De La Tierra, 0(33), 85–92. **<https://Revistas.Unal.Edu.Co/Index.Php/Rbct/Article/View/37031>**

Reynard, E., & Brilha, J. (2017). Geoheritage: Assessment, Protection, And Management. In Geoheritage: Assessment, Protection, And Management.

Reynard, E., Buckingham, T., Martin, S., & Regolini, G. (2021). Geoheritage, Geoconservation And Geotourism In Switzerland. In World Geomorphological Landscapes. **https://doi.org/10.1007/978-3-030-43203-4_29**

Reynard, E., & Giusti, C. (2018). The Landscape And The Cultural Value Of Geoheritage. In Geoheritage: Assessment, Protection, And Management. **<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809531-7.00008-3>**

Rodríguez, Y., & Betancurth, L. (2005). Patrimonio Minero: Un Nuevo Concepto Del Valor Agregado De La Minería En Colombia. XII Congreso Colombiano De Minería, January 2005, 7.

Rozo, A. M., Valencia, F., Acosta, A., & Parra, J. L. (2014). Birds Of Antioquia: Georeferenced Database Of Specimens From The Colección De Ciencias Naturales Del Museo Universitario De La Universidad De Antioquia (MUA). Zookeys, 410(410), 95–103. **<https://doi.org/10.3897/Zookeys.410.7109>**

Ruban, D. A. (2010). Quantification Of Geodiversity And Its Loss. Proceedings Of The Geologists' Association. **<https://doi.org/10.1016/J.Pgeola.2010.07.002>**

SGC, S. G. C. (2012). MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESC 1:100.000. PLANCHAS 166-JERICÓ (Issue 025). **<http://Recordcenter.Sgc.Gov.Co/B7/21003010028331/Documento/Pdf/2105283311101000.Pdf>**

Shroder, J. (2013). Treatise On Geomorphology. In Treatise On Geomorphology. **<https://doi.org/10.1016/C2009-1-28399-7>**

Tavera-Escobar, M. Á., & Álvarez-Ramírez, D. (2019). Geoparks In Colombia: A Strategy For The Application Of Sustainable Development Objectives For Latin America, Case: Magdalena Medio Antioqueño. Boletín De Geología, 41(2), 103–121. **<https://doi.org/10.18273/Revbol.V41n2-2019006>**

Tavera, M. (2015). Evaluación E Implementación De Una Propuesta De Patrimonio Geológico En El Parque Nacional Natural Los Nevados Cordillera Central Colombiana. Universidad EAFIT.

Torres-Herrera, H. (2012). Aproximación Al Patrimonio Geológico Y Geodiversidad En Santafé De Antioquia, Olaya Y Sopetrán, Departamento De Antioquia, Colombia. In Boletín De Ciencias De La Tierra (Issue 32, Pp. 23–33).

Wimbledon, W. A. P. (2013). Geoheritage In Europe And Its Conservation. In Episodes. **<https://doi.org/10.18814/Epiugs/2013/V36i1/010>**

CAPÍTULO 3.

INVENTARIO PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GEOLÓGICOS ENTRE LOS MUNICIPIOS DE BELMIRA Y ENTRERRÍOS, ANTIOQUIA - COLOMBIA

Miguel Ángel Ramírez-Calderón*; Miguel Ángel Tavera-Escobart;
María Isabel Marín-Cerón

Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo de Investigación en Geología Ambiental y Tectónica, GAT, Área de territorios y ciudades, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. () mremirez@eafit.edu.co*

“Al Cabildo Verde de Belmira y el equipo de investigación de la Universidad EAFIT. Así mismo, trabajo el cual también se realiza como homenaje a Miguel Ángel Tavera, quién desde su labor planteó estrategias que permitieron la aplicación de herramientas para la conservación de los recursos geológicos del país, fomentando la divulgación y apropiación social del conocimiento científico en ciencias de la tierra”.

Miguel Ángel Ramírez

INTRODUCCIÓN |

El territorio colombiano es considerado como uno de los enclaves geológicos más importantes para la comprensión de la evolución litológica del planeta. En superficie se encuentra una evidente geodiversidad que ha sido producida por componentes tectónicos y orogénicos bajo la constante influencia del sistema climático del trópico, el cual ha modelado el paisaje, creando geoformas únicas y con un importante valor estético y paisajístico. Al norte de la Cordillera Central en el departamento de Antioquia, se encuentra una importante secuencia de altiplanos relacionados al batolito antioqueño, roca plutónica asociada a las márgenes de subducción en el Cretácico (Ordóñez-Carmona y Pimentel, 2001), la cual presenta procesos de etchplain, formación de inselbergs, fallamientos regionales, y alturas considerables como el páramo de Belmira o de Santa Inés, que según Arias-López (1995) es el altiplano más antiguo de la parte septentrional de la Cordillera Central. Este páramo adquiere adicionalmente una relevancia significativa, pues contiene todo un conjunto de ecosistemas, lagunas de alta montaña, fauna y flora característica, siendo el reservorio de agua más importante del Valle de Aburrá, ya que provee el 70 % del agua que consumen sus habitantes (Figura 1).

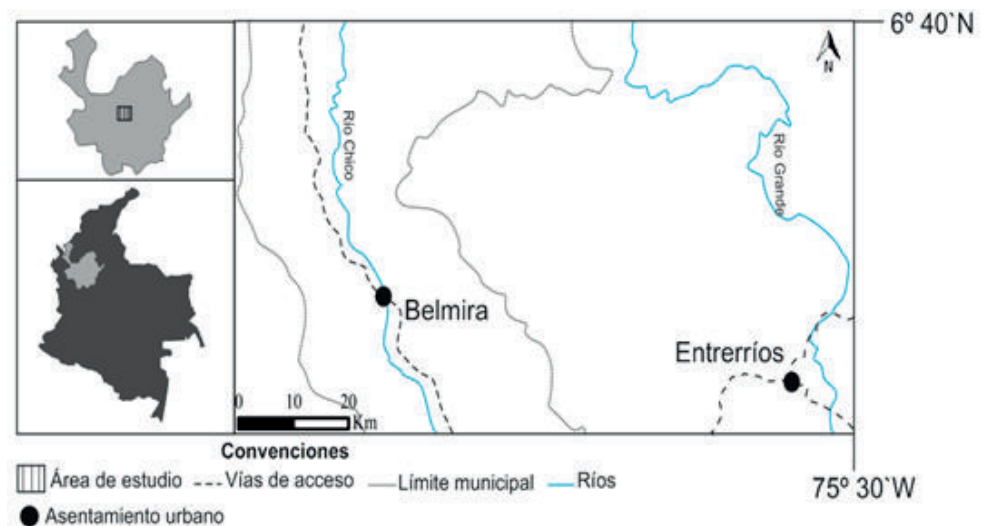
INTRODUCCIÓN |

La delimitación de este importante sitio como páramo se encuentra amparada en un contexto con criterios exclusivamente biológicos. Ejemplo de ello, es la definición de Hofstede (2003), como “un ecosistema, un bioma, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción, un símbolo, e inclusive un estado de clima” y las discusiones lideradas desde hace una década, por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, las cuales apuntan hacia la dirección de reconocer que los páramos son una manifestación de diferentes formas de intervención de origen humano y su relación del ecosistema con sus habitantes. Estas manifestaciones lo convierten en un sistema dinámico, en permanente movimiento, que debe ser reconocido como un socioecosistema (Sarmiento, Cadena, Sarmiento, & Zapata, 2013). Sin embargo, criterios geológicos como el registro glaciar y periglaciar sobre la rocas de la zona de Belmira, aún no han sido abordados.

A través del presente trabajo, se plantea la delimitación, inventario de Lugares de Interés Geológico (LIG) para la gestión integral de los recursos con miras a generar procesos de geoconservación y con ello, apoyar las actividades de gestión social, económica y ambiental, hacia el desarrollo de campañas de apropiación social del conocimiento y mejorando la comprensión del entorno natural para la toma de decisiones.

Adicionalmente, se plantea el desarrollo de un prototipo de georuta, el cual amplía sin lugar a duda, el discurso de los guías locales en la difusión turística de la zona, creando mayor rentabilidad a través de la mejora del valor agregado ofrecido a los visitantes. Por último, dicha información contenida en el inventario, contribuye a la conservación de los elementos de la geología que sostienen los ecosistemas y la biodiversidad del páramo.

Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio en el departamento de Antioquia



2. MARCO TEÓRICO

Todo proceso de geoconservación debe ir de la mano de un adecuado proceso de delimitación, inventario de Lugares de Interés Geológico/Geomorfológico (LIG) y de Gestión y Uso de dicho inventario.

La **delimitación** tiene como objeto limitar el área seleccionada en función de los parámetros buscados en la investigación. Para este trabajo se dividió en tres categorías: 1) delimitación geológica la cual permite conocer la evolución geológica, cronoestratigráfica y estructural, condiciones que determinan la geodiversidad de la zona de interés (Carcavilla et al., 2008); 2) la delimitación geomorfológica, que corresponde a la determinación de las principales unidades del relieve superficial, de acuerdo a la morfogénesis, y finalmente 3) la delimitación administrativa que se hace con base en las figuras legales, uso del suelo y condiciones administrativas que generan impacto en lugares de interés geológico como posibles elementos para uso de recreación y gestión.

En cuanto al Inventario, este se define a partir del término que deriva del latín *inventarium*, el cual significa “catálogo de elementos” o “lista de lo hallado”, cuya principal función es la de ordenar y clasificar elementos según sea el propósito de trabajo, facilitando así el acceso directo a la información básica, confiable, disponible de una región determinada mejorando el grado de confiabilidad a la hora de tomar decisiones (Villareal et al., 2004). La elaboración del inventario sigue cuatro ejes básicos: iniciando con la concepción práctica, una fase de realización, el inventario temático y finalmente la evaluación e incorporación.

La concepción práctica conlleva a la selección teórica del modelo con el que se realizará el inventario, se escogen las fichas del levantamiento bibliográfico o de campo y del inventario final que se utilizará para el desarrollo de la base de datos. Esta selección se hace de acuerdo a la temática y a las condiciones geológicas de cada zona de trabajo. Posteriormente, se procede con la fase de realización, la cual consiste en hacer uso del inventario bibliográfico, compuesto por una ficha genérica para la integración de potenciales LIG, cuyas zonas simbolizan los procesos de mayor relevancia de la región estudiada en relación a su complejidad geológica. Se denominan potenciales LIG debido a que generalmente el estado de los afloramientos y lugares

panorámicos al momento de su verificación en el campo, pueden estar alterados o no, como resultado del permanente cambio que experimenta el medio de manera natural o por razones antrópicas.

Por otro lado, la ventaja que tiene esta ficha es que optimiza el tiempo, permite una obtención más fácil y precisa de la información de los posible LIG, y además el uso de este insumo, reduce la probabilidad de regresar a las áreas de interés por falta o deficiente recolecta de datos, impidiendo así que se vea afectado el cronograma de actividades previamente establecidas (Medina, 2012). Una vez se recolectan y crean los listados de LIG, se desarrolla un inventario temático el cual consiste en describir los LIG con sus procesos más representativos y de manera más detalla, las imágenes correspondientes de cada lugar y su localización. Adicionalmente, se incluye la fase del inventario, que permite tratar uno o varios temas de interés como la geomorfología, estratigrafía, paleontología, geología estructural, importancia nacional e internacional, integridad de cada lugar, accesibilidad, entre otros (Sharples, 2002).

Finalmente, la etapa de evaluación e incorporación permite probar el inventario en diversos contextos de la geología y así mismo presenta escenarios para replicar en otros lugares con condiciones geológicas similares (Tavera-Escobar, 2015). Esta fase del inventario es editable y permite que en un rango de tiempo se incorporen al inventario nuevos puntos o lugares, donde exista la necesidad de una catalogación, por ejemplo: listas de movimientos en masa, avenidas torrenciales, usos del suelo, conteo de pozos o como en el caso de la minería, con la ubicación de las muestras, su mineralización, etc.

El uso del inventario geológico es un medio directo de consulta de información científica que facilita descripciones, ubicaciones geoespaciales, imágenes de los LIG que por la cantidad de información descrita y de las características que los representan, son pues objetos de estudio tanto para el entendimiento como para la interpretación genética de cada proceso geológico de una región específica de trabajo (García y Carcavilla, 2013).

La etapa final concluye con la **determinación del uso y gestión del inventario**, ya que su concepción práctica sugiere que sea un elemento activo que pueda ser dinámico y genere información que ayude en varias disciplinas. El manejo del inventario puede orientarse a fines netamente administrativos, bajo el interés de conocer detalles importantes del territorio, puede concebirse como un elemento educativo que aprovecha los recursos geológicos para el disfrute y apropiación de las personas; o puede ser una estrategia de conservación que apoye los procesos en la defensa de áreas protegidas, reservas o sitios en estado de amenaza (Carcavilla et al., 2015).

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se planteó una metodología elaborada a partir de las experiencias de varios autores que han realizado estudios apoyados en sistemas de inventarios geológicos: en Antioquia la identificación de geositos de alto valor científico para la creación de un geoparque que promueva al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Tavera-Escobar y Álvarez-Ramírez, 2019); la elaboración de inventarios como base para la valoración de LIG y su respectiva difusión (Cárdenas y Restrepo, 2006); una propuesta de un inventario sistemático de LIG (Lugares de Interés Geológico) valorados, para ser integrados en bases de datos internacionales (Torres-Herrera y Molina-Escobar, 2012), y la implementación de una metodología para el creación de una propuesta de Patrimonio Geológico en El Parque Nacional Natural los Nevados, teniendo en cuenta el desarrollo de un inventario de Lugares de Interés Geológico (Tavera-Escobar, 2015). Compilación de métodos que fueron adaptados a las necesidades de la zona de estudio el cual se dividió en cuatro etapas (Figura 2) enmarcadas en dos objetivos generales: realizar el inventario y gestionarlo mediante las alternativas disponibles.



Figura 2. Etapas de la metodología para la elaboración y gestión del inventario

3.1 Delimitación

3.1.1 Delimitación administrativa

La zona de estudio se encuentra delimitada bajo la figura legal del Distrito de Manejo Integrado (DMI) nombrada por el Sistema de Páramos y Bosques Altoandinos del Noroccidente Medio antioqueño (Tapia, 2007) con el fin de regular, ordenar y generar un adecuado manejo de los recursos naturales y actividades económicas que se desarrollan en la región entre los 2400 m y 3350 m (Figura 3). El DMI es declarado también con el motivo de proteger los ecosistemas de la alta montaña pertenecientes al páramo de Belmira.

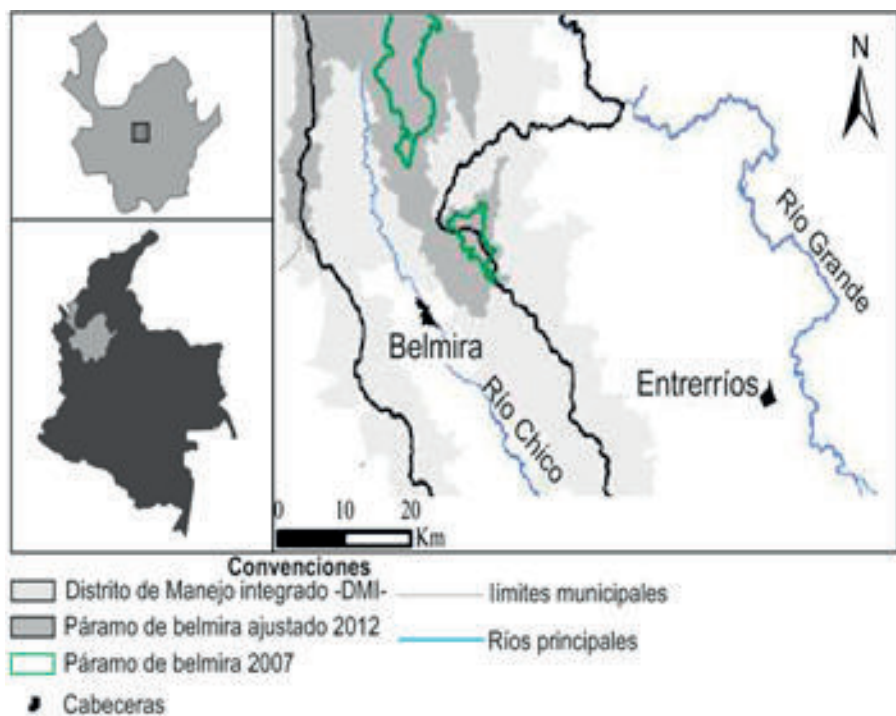


Figura 3. Delimitación del Distrito de Manejo Integrado (DMI). Modificado de Restrepo (2015).

3.1.2 Delimitación geológica

Litológicamente la región es homogénea, abarcando un rango de edades desde el Paleozoico hasta el Mesozoico con una menor extensión de materiales Cuaternarios (Figura 4). Hacia la zona central se encuentran un conjunto de rocas metamórficas del Complejo El Retiro (Rodríguez et al., 2007) que incluye desde anfibolitas, gneises miloníticos y rocas esquisto cuarzo sericíticas falladas del Complejo Cajamarca (González, 2001) y la presencia del Batolito Antioqueño como unidad Cretácica asociada al magmatismo provocado por el margen de subducción suramericano (Ordóñez-Carmona y Pimentel, 2001).

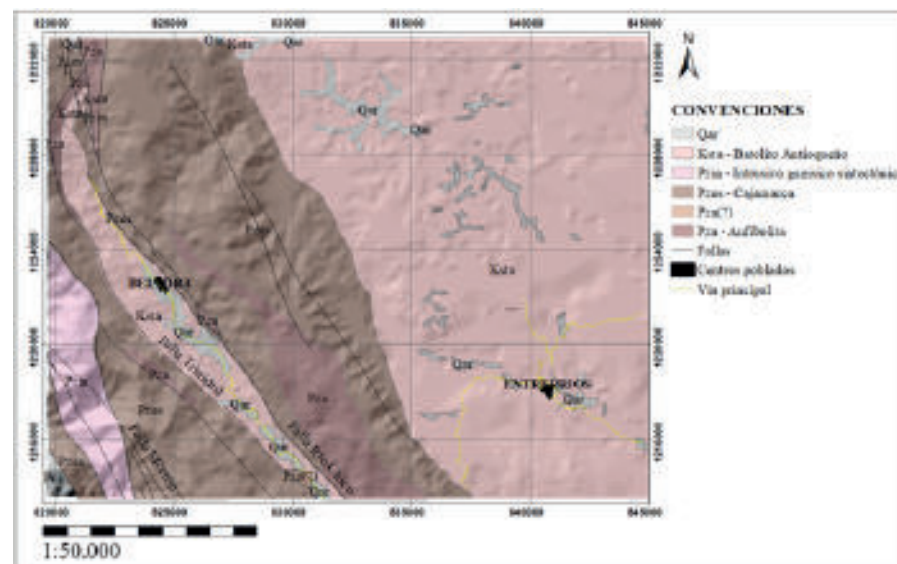


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio. Modificado de INGEOMINAS (1983, 2010).

3.1.3 Delimitación geomorfológica

La mayoría de geoformas en la región se encuentran sobre el batolito antioqueño: amplias superficies de erosión como el altiplano Santa Rosa de Osos, cuya expresión topográfica es dominada por colinas, lomeríos y la presencia de una geoforma característica del trópico de origen residual conocido como peñol (inselberg) de Entrerrios, y las terrazas, de reducidas dimensiones, pertenecientes al Cuaternario y generadas por la red hídrica de la zona, entre sus afluentes el paso del río Chico; la presencia de elevadas y escarpadas cuchillas controladas estructuralmente en sentido NS, facetas triangulares, generadas por un fallamiento normal en el área y algunos procesos de crioclastia sobre rocas metamórficas del Complejo Cajamarca ubicados en el tope del páramo de Belmira a 3200m. Dentro de los dominios estructurales que afectan la región de trabajo, se encuentran el Sistema de Fallas Cauca – Romeral (SFCR) y el Sistema de Fallas del Río Chico (SFRC) ambos de carácter regional y con dirección general NS (Mejía, 1984).

4. RESULTADOS

4.1 Inventario bibliográfico

Luego de la delimitación de la zona de estudio se procedió con la etapa inicial del inventario, conocida como la revisión bibliográfica (artículos científicos, tesis, etc.), donde se identificaron procesos geológicos relevantes para poder generar una lista de Lugares de Interés Geológico potenciales para ser incluidos en el inventario final.

El inventario bibliográfico de este trabajo se construyó esencialmente con dos herramientas: la fotointerpretación y el estudio compilatorio de Ramírez, 2016 y referencias allí citadas. En esta lista previa se registraron un total de cinco LIG (Figura 5), a partir de la información reportada por diversos autores en cuanto a las formas glaciares (circos asociados a la última glaciación ubicados sobre el altiplano páramo de Belmira, Arias-López, 1995); trazas marcadas sobre el relieve generado por el sistema de fallas del río Chico, afectando el corredor montañoso con una dirección NS (Mejía, 1984); superficies relativamente aplanadas a los alrededores del municipio de Entreríos, se describe la existencia de una prominencia topográfica de un remanente asociado a un núcleo de exfoliación y localmente conocido como el peñol de Entreríos del Batolito Antioqueño (Botero, 1963); rasgos morfo-tectónicos del Sistema de Fallas Cauca-Romeral (SFCR, Mejía, 1984), localizado sobre el filo hacia el margen occidental de la zona de interés del presente proyecto. Finalmente, mediante fotointerpretación, se identificó un espejo de agua, ubicado hacia el tope de la ladera del margen oriental del casco urbano de Belmira, conocido como el alto de Sabanas.

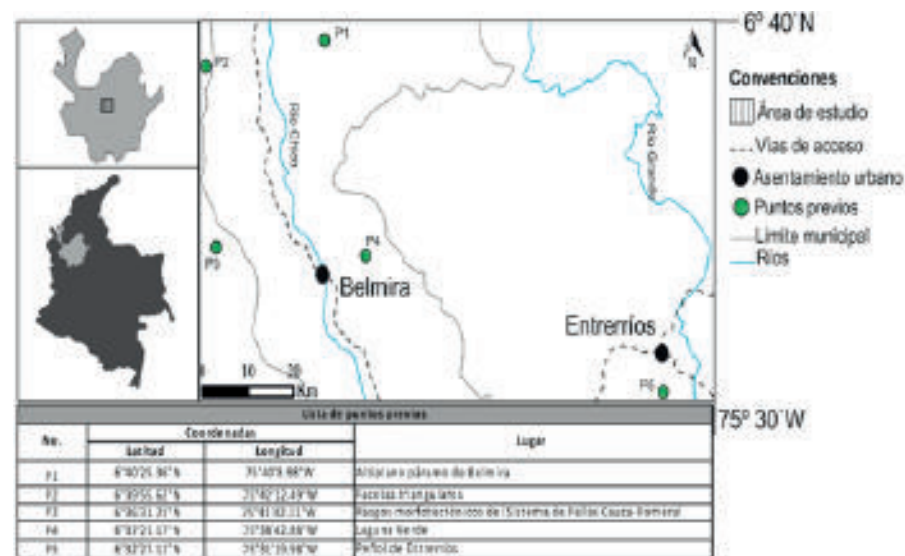


Figura 5. Mapa de la zona de estudio con los Lugares de Interés Geológico seleccionados en el inventario bibliográfico.

4.2 Inventario temático/específico

Para la etapa de realización se utilizó como modelo la ficha del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG, García y Carcavilla, 2013), la cual se modificó de acuerdo con la escala de trabajo, creando una base de datos multiescala que permitió ingresar LIG desde afloramientos específicos hasta panorámicas que abarcan grandes extensiones. Se realizó una brigada de campo para comprobar y verificar los LIG seleccionados en el inventario bibliográfico. En esta etapa la mayoría de los lugares previos fueron replanteados, modificados o reemplazados pues las condiciones de accesibilidad y poca viabilidad de acceso que por la demanda de actividad física implicaba, impedían la integración de estos en el inventario final. En el nuevo trayecto elaborado en campo que incluyó los municipios de Belmira y Entreríos, se incorporaron seis nuevos LIG, para un total de doce (Figura 6).



Figura 6. Mapa de localización de los doce LIG producto del inventario específico.

Con el inventario temático y los doce LIG seleccionados, estos, se agrupan en cinco grupos morfogenéticos generales: Estructural, Fluvial, Periglacial y Antrópico (Figura 7).

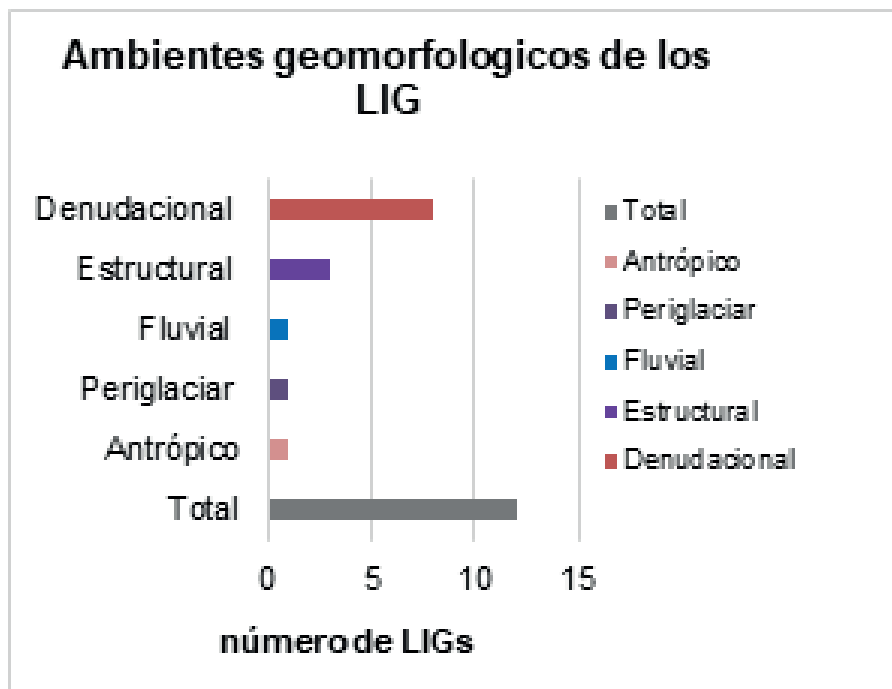


Figura 7. Histograma con los ambientes geomorfológicos de los LIG.

El modelo de inventario propuesto por García y Carcavilla (2013), enfatiza realizar una codificación acorde a la zona, con el fin de hacer hincapié en detalles como los rasgos geomorfológicos, humanos, de importancia científica y de descripción por parte del observador. Así mismo, plantea la asignación de un código final a cada LIG que represente su ambiente morfogenético, ubicación municipal, y un número consecutivo en orden en el que fueron seleccionados p. ej. PERbel001; Periglacial (PER), Belmira (bel) – el primer LIG seleccionado para el inventario específico 001.

Las agrupaciones de geoformas identificadas evidencian un paisaje moldeado por el ascenso pulsátil y tectónico de esta región de los Andes, cuyo clima tropical permitió el desarrollo de superficies de erosión (3100 m.s.n.m) superpuestas entre sí, separadas por extensos escarpes regionales (p.e San José de la montaña), el cual separa al altiplano Páramo de Belmira respecto al de Santa Rosa de Osos (Bustos et al., 2013). El primero y más antiguo, el altiplano de Belmira por la altura que alcanzó, alrededor de 3050m, permitió la aparición del páramo, importante ecosistema y propio de las regiones ecuatoriales que han desarrollado corredores montañosos. Así mismo, sobre esta superficie se pudieron evidenciar pequeñas estructuras de crioclastia, hecho inferido como posible remanente producido por una morfogénesis periglacial. Sin embargo, debido a la poca cantidad de estas estructuras y a la reducida dimensión observadas en campo, aún no se confirma este ambiente como un agente modelador influyente en este piso morfogenético.

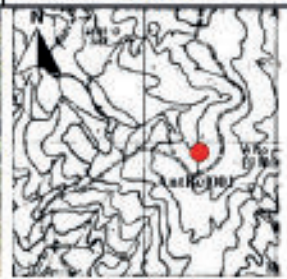
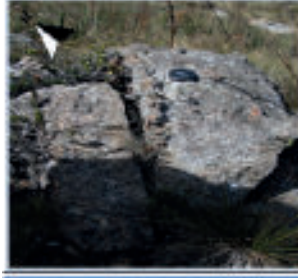
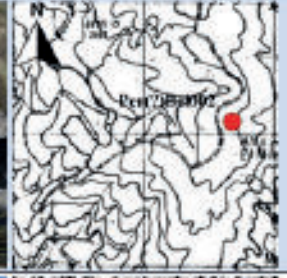
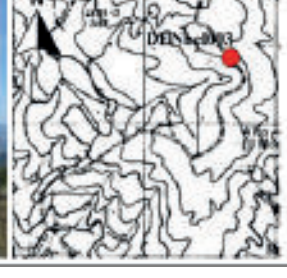
Sobre esta misma cota son evidenciables procesos erosivos como los surcos y cárcavas a causa de la intervención antrópica producto de actividades de extracción de oro, realizadas antes de la declaratoria de páramo. Esta extracción artesanal, fue efectuada por comunidades afrodescendientes, traídas por colonias europeas, las cuales cautivadas por el atractivo paisaje de Belmira y el oro que este suponía contener, decidieron asentarse a orillas del río Chico. Estas prácticas pasadas, aún dejan vestigios en el páramo, ya que hasta el momento se ha dificultado el desarrollo de un suelo orgánico y el crecimiento de vegetación, especialmente por las bajas temperaturas del páramo las cuales reducen las tasas de crecimiento vegetal.

A su vez, sobre esta cima del altiplano páramo de Belmira, se puede observar el altiplano Santa Rosa de Osos en una vista panorámica, lugar estratégico el cual permite reconocer unidades de origen denudacional (p.e. lomeríos). Igualmente, es posible la contemplación de la dinámica estructural de la región debido a notorios lineamientos en el paisaje, producidos por los sistemas de falla Cauca – Romeral sobre rocas metamórficas, los cuales contrastan con un relieve de pendientes suavizadas, de amplios topes, donde se infiere que este punto sea posiblemente una zona de transición litológica entre el batolito Antioqueño y rocas del Complejo Cajamarca.

Descendiendo de la alta montaña, fue posible apreciar la expresión morfológica de tres ambientes en un solo lugar, estos eran el estructural, fluvial y denudacional; la formación de peldaños asociados a la falla del río Chico que, a su vez, es el principal agente generador de todo un sistema de facetas triangulares; las terrazas desarrolladas bajo el régimen fluvial del río Chico, y el desarrollo de laderas alargadas con pendientes suavizadas.

Por otro lado, divisando hacia el tope de la ladera oriental, desde el casco urbano de Belmira, se ubica un espejo de agua conocido como el Alto de Sabanas, el cual ha sido objeto de discusión. Este se considera de origen estructural o periglaciario, ya que estaría relacionado con una zona de acumulación de aguas que posiblemente fue formada por el fracturamiento de las fallas que favorecen la infiltración y deposición de escorrentías, o en caso contrario, debido a una hipótesis la cual implica que esta laguna hace parte de un complejo lagunar que se heredó de la máxima extensión glaciario, la cual descendió hasta los 3000 m (Van der Hammen, 1985).

Sobre la vía San Pedro – Belmira, hay un desvío el cual conduce hasta Puerto Nuevo y posteriormente a la vereda Salazar. Inicialmente, en este punto se evidenciaron geoformas tanto de origen estructural como denudacional; una cuchilla con laderas empinadas a escarpadas con un tope alineado en dirección NS, además se observaron relictos de formas colinadas, y coluviones acumulados hacia la base de la ladera escarpada (Figura 8).

Fotografía	Ubicación	Descripción
		Código: AntBel001 Coordenadas: 6°39'6.62" N 75°40'20.44" W Carcavamiento del suelo asociado a antigua minería en el páramo de Belmira.
		Código: PER(?)bel002 Coordenadas: 6°39'0.28"N 75°40'11.29"W Proceso de Crioclastia sobre rocas metamórficas del páramo de Belmira.
		Código: DENbel003 Coordenadas: 6°39'13.40"N 75°40'18.40"W Panorámica del altiplano Santa Rosa de Osos desde el páramo de Belmira.



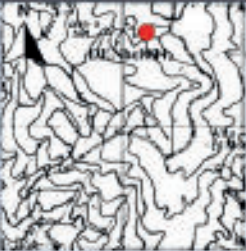
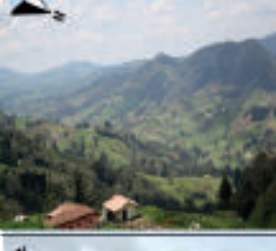
Fotografía	Ubicación	Descripción
		Código: DENbel004 Coordenadas: 6°38'43.74"N 75°40'21.99"W Panorámica de lomeríos y de vertientes con pendientes fuertes y lineamientos de falla desde el páramo de Belmira.
		Código: DFEbel005 Coordenadas: 6°38'16"N 75°41'2.5"W Panorámica de geformas sobre tres ambientes morfogenéticos; denudacional, estructural y fluvial.
		Código: ESTbel006 Coordenadas: 6°38'48.7"N 75°40'16.8"W Paneta triangular producto del desplazamiento normal de la falla del río Chico cerca al casco urbano de Belmira.
		Código: EST(?)PER(?)bel007 Coordenadas: 6°37'20.95"N 75°38'42.49"W Cuerpo de agua asociado a zona de infiltración y acumulación por fallas en el páramo de Belmira.

Figura 8. Listado de los LIG seleccionados en el inventario específico, dónde DEN=denudacional; PER= periglaciario; EST=estructural y FLU= fluvial; ent=Entrerrios y bel=Belmira.

		Código: DENbel008 Coordenadas: 6°34'02.84"N 75°37'00.26"W Panorámica de colinas modeladas en rocas metamórficas e intercaladas con superficies aplanadas.
		Código: DENent009 Coordenadas: 6°34'32.00"N 75°33'37.50"W Bloques graníticos asociados a la meteorización in-situ del Batoito antioqueño.
		Código: DENent010 Coordenadas: 6°34'46.6"N 75°33'19.0"W Formas alomadas modeladas en un ambiente denudacional en la vereda Salazar.
		Código: DENent011 Coordenadas: 6°32'27.73"N 75°31'20.14"W Peñol de Entrerrios, una geoforma tropical originado en una morfogénesis denudacional.
		Código: DENent012 Coordenadas: 6°32'27.73"N 75°31'20.14"W Panorámica del altiplano Santa Rosa de Osos desde el Inselberg de Entrerrios. Paisaje alomado y colinado.

Finalmente, al oriente del escarpe San José de la Montaña - San Pedro se ubica una macro unidad geomorfológica perteneciente al altiplano Santa Rosa de Osos, correspondiente a una extensa superficie de erosión modelada sobre el batolito antioqueño, unidad litológica la cual, debido al régimen climático del trópico, ha permitido la formación de ondulados relieves y resaltos topográficos de mayor dimensión como las colinas. Además, la presencia de bloques graníticos y el inselberg o peñol de Entreríos son vestigios claves del paisaje, que indican ser núcleos de exfoliación con una mayor resistencia a los efectos de meteorización del clima ecuatorial, donde se ha podido inferir, para el caso de los peñoles, que la cima de estos haya sido la altura a la que se encontraba el nivel del suelo.

4.3 Georuta

La promoción de los LIG puede y debe ser diseñada para cumplir las necesidades de diferentes públicos (p.e especialistas y no-especialistas, niños, jóvenes y adultos). Adicionalmente, podría posicionarse como herramienta para realizar salidas de campo con estudiantes de las carreras afines a las ciencias de la tierra y ambientales, como potencializadores del turismo, utilizando la geología como recurso económico y científico como lo plantea el desarrollo del geoturismo (Carcavilla et al., 2015).

Dada la rareza, singularidad y lo importante de los LIG, como es el caso de este trabajo, se recomienda la realización de guías o tours geológicos que provean información de acceso y de ubicación de puntos in situ a diferentes escalas. En el municipio de Belmira, particularmente se desarrolló un modelo de turismo ecológico mediante la conformación de itinerarios para caminantes. Ya existían procesos adelantados, que solamente integraban información ecológica e histórica, pero carecían no solo de datos geológicos sino de puntos de referencia, un sistema de coordenadas, una escala fija, la ubicación de la ruta respecto al Norte y geografía básica.

Es por esto que el presente trabajo culmina con la elaboración de una georuta a partir de los LIG identificados, otorgándole el peso necesario al valor geológico y resaltando los aspectos que no se tuvieron en cuenta en la ruta ecológica. Se plantea entonces, un sistema de tres rutas o itinerarios geológicos para un público no especializado (Figura 9), donde se resalta la información geológica y geomorfológica de la región. Empieza con un itinerario cercano a la ciudad de Medellín, con un trayecto de 47 km desde la Montaña Alta hasta el municipio de Entreríos, validándose en todo el recorrido los diferentes LIG propuestos anteriormente.



Figura 9. Mapa del sistema de georutas propuestas entre el municipio de Belmira y Entreríos.

5. DISCUSIÓN

5.1 Uso y gestión

El páramo de Belmira es uno de los 36 complejos más importantes de páramos con los que cuenta Colombia, abastece el 70% de los habitantes del Valle de Aburrá, es decir, cerca de 3,5 millones de habitantes y 35000 personas en los municipios aledaños (Corantioquia, 1999), la determinación de constituir un área protegida para la protección de este recurso parte de bases netamente biológicas, y deja de lado los parámetros geológicos y las unidades geomorfológicas que condicionan la región, el endemismo o la adaptación de muchos de esos ecosistemas.

Elaborar un inventario científico de recursos geológicos y geomorfológicos es el trabajo esencial para entender los elementos naturales de una región, en este caso de una importante zona hídrica del departamento de Antioquia. La metodología de registro e identificación constituye una referencia espacial para la planeación y manejo de estrategias para la conservación y administración de esos lugares con relevancia geológica. En Colombia, los inventarios geológicos no son una herramienta legal para la toma de decisiones, pero las regiones deben estar preparadas para que las autoridades locales, integren este tipo de documentos como de estrategias de conservación. Si se capacita sobre estos recursos se puede prevenir la destrucción de importantes manifestaciones naturales, que en la mayoría de los casos son dados por el desconocimiento de los habitantes.

El hecho de elaborar inventarios con metodologías similares a la que se desarrolló entre los municipios de Belmira y Entreríos, podrían ayudar a identificar áreas con alta densidad o importancia de geositos o sitios con información geológica singular que ameritan ser protegidos bajo un régimen legal. Un inventario local como el propuesto en la zona de estudio, podría bajo modificaciones especiales y desde un cambio fundamental en la escala, constituir el registro primario para un inventario Nacional.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del inventario de LIG presentados en este estudio, ha sido fundamental para la creación de una base de datos a nivel local y de consulta bibliográfica, que no solo permite integrar los Lugares de Interés Geológico/Geomorfológico, de mayor importancia para comprender el contexto geológico y geomorfológico de esta región, armonizado con una caminata que brinda al usuario un espectáculo paisajístico y de belleza escénica.

Adicionalmente, este inventario se convierte en un insumo fundamental para el desarrollo de georutas y como eje central para la declaración de áreas protegidas teniendo en cuenta el criterio geológico y la geodiversidad.

La promoción de la ruta propuesta permite divulgar y ubicar los LIG más relevantes de la región Belmira-Entreríos, con la ventaja de que el inventario está concebido para que pueda ser editado y modificado, para la entrada de datos de cualquier disciplina relacionada con las Ciencias de la Tierra. Finalmente, con este trabajo también se pretende aumentar la oferta de conocimiento científico. La difusión de la información por medio de actores sociales o colectivos activos en la región de trabajo que eventualmente utilicen los inventarios para gestionar sus recursos geológicos desde el turismo, la conservación o la educación.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a la sinergia producida entre el Cabildo Verde de Belmira y el equipo de investigación de la universidad EAFIT.

Dedicación especial a mi gran amigo y colega, Miguel Tavera (Q.E.P.D), por su contribución, dirección y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arias-López, L.A. (1995). El relieve de la zona central de Antioquia: Un palimpsesto de eventos tectónicos y climáticos. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 10, 9-24. (artículo en revista) <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325539>

Botero, G. (1963). Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. Gares. Anales Facultad de Minas. No. 57, p101 (libro). <https://www.scribd.com/doc/240683863/Botero-1963-Contribucion-Al-Conocimiento-de-La-Geologia-de-La-Zona-Central-de-Antioquia>

Bustos, X.; Bermúdez, M.A.; Toro, G.; Bernet, M.; Rojas, O.; Marín, M.I. (2013). Caracterización de superficies de erosión mediante geomorfología cuantitativa, Altiplano Antioqueño, Cordillera Central de Colombia. Terra. Nueva Etapa, 29(46), 43-67. (artículo en revista) [link]

Cárdenas, J.; Restrepo, C. (2006). Patrimonio geológico y patrimonio minero de la cuenca carbonífera del suroeste Antioqueño, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra, 18, 91-101. (artículo revista) [link]

Carcavilla, L.; Durán, J.; López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. VII Congreso Geológico de España, Las Palmas de Gran Canaria, España. (trabajo publicado en memoria de evento) [link]

Carcavilla, L.; Fernández, E.; Belmonte, A.; Ruiz, A. (2015). Estrategias de divulgación de la geología del Geoparque de Sobrarbe: I. la red de geo-rutas a pie. Instituto Geológico y Minero de España, Cuadernos del Museo Geominero. No. 18. 483-487 p (sección en libro) [link]

Corantioquia (1999). Conservación, ordenamiento y manejo del sistema de páramos y bosques altoandinos del noroccidente medio Antioqueño. Tomo I. [link]

González, H. (2001). Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000: Medellín, INGEOMINAS (cartografía digital) https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

García, A.; Carcavilla, L. (2013). Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España IGME. (Guía). [link]

INGEOMINAS (1983). Geología de la plancha 130 Santa Fé de Antioquia. Bogotá. (cartografía digital) https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

INGEOMINAS (2010). Geología de la plancha 131 Santa Rosa de Osos. Bogotá. (cartografía digital) https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

Medina, W. (2012). Propuesta metodológica para el inventario del patrimonio geológico de Argentina. Tesis de Maestría, Universidad Do Minho, Portugal. (tesis) [link]

Mejía, M. (1984). Memoria explicativa. Geología geoquímica de las planchas 130 (Santa Fé de Antioquia) y 146 (Medellín Occidental). Medellín: Instituto Colombiano de geología y minería-INGEOMINAS. https://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/

Ordóñez-Carmona, O.; Pimentel, M. (2001). Consideraciones geocronológicas e isotópicas del Batolito Antioqueño. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales, 25(94), 27-35. (artículo en revista). [link]

Ramírez, M. (2016). Inventario detallado para la gestión y conservación de los recursos geológicos y geomorfológicos entre los municipios de Belmira y Entreríos, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (tesis). [link]

Restrepo, C. (2015). El páramo de Belmira (Antioquia). Entre la conservación, la producción agropecuaria y la minería de oro. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes Bogotá, Colombia. [link]

Rodríguez, G.; Gonzáles, H.; Zapata, G. (2007). Complejo el Retiro, Cordillera Central, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra, 22, 101-121 (artículo de revista). [link]

Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Third version. Tasmanian Parks and Wildlife service website. (publicación digital) [link]

Tapia, C. (2007). Distrito de manejo integrado de los páramos y bosques altoandino del noroccidente medio de Antioquia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Proyecto Páramo Andino. 10 p (Cartilla informativa) [link]

Tavera-Escobar, M. (2015). Evaluación e implementación de una propuesta de patrimonio geológico en el Parque Nacional Natural Los Nevados, Cordillera Central de Colombia. Tesis, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. (tesis) [link]

Tavera-Escobar, M.A., Álvarez-Ramírez, D. (2019). Geoparques en Colombia: una estrategia para la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible - caso: Magdalena Medio antioqueño. Boletín de Geología, 41(2), 103-121.

<https://doi.org/10.18273/revbol.v41n2-2019006> (artículo en revista)

Torres-Herrera, H.; Molina-Escobar, J. (2012). Aproximación al patrimonio geológico y geodiversidad en Santafé de Antioquia, Olaya y Sopetrán, Departamento de Antioquia, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra, 32, 23-34. (artículo de revista) [link]

Van der Hammen, T. (1985). The Plio-Pleistocene climatic record of the tropical Andes. Journal of the Geological Society, 142(3), 483-489.

<https://doi.org/10.1144/gsjgs.142.3.0483> (artículo en revista)

Villareal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Fagua, G.; Mendoza, H.; Ospina M.; Umaña, A. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. 236 p. [link]

CAPÍTULO 4

CUANTIFICACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD COMO ESTRATEGIA DE APROPIACIÓN SOCIAL: CASO DE ESTUDIO, VALLE DE ABURRÁ

Luisa María Restrepo Marín, María Isabel Marín-Cerón, Juan Fernando Zapata Herrera¹

Departamento de Ciencias de la Tierra, Semillero de Investigación Geoquímica y Geología Regional, línea de Geología Ambiental y Sostenibilidad, Grupo de Investigación en Geología Ambiental y Tectónica (GAT), Área de territorios y ciudades, Universidad EAFIT

RESUMEN

Se presenta un nuevo enfoque para la cuantificación de la geodiversidad, basado en la clasificación de factores geomorfométricos, climáticos y litológicos. El conjunto de datos espaciales mencionados, se combinan usando un procedimiento de unión de superposición, produciendo un mapa municipal de la geodiversidad del Valle de Aburrá con cada una de sus clases discretas. Se resalta la distribución de estas clases que presenta el valle de Aburrá, haciendo un inventario de Lugares de interés Geológico (LIG), Geomorfológico y Arqueológico, para la generación de una georuta como estrategia de divulgación científica multi-nivel, con miras a la gestión integral del patrimonio geológico del Valle de Aburrá (VA).

Palabras clave: *Valle de Aburrá, geodiversidad, geomorfométricos, georuta, multi-nivel, patrimonio geológico.*

ABSTRACT

A new approach for the quantification of geodiversity is presented, based on the classification of geomorphometric, climatic and lithological factors. The spatial data set is combined using a superposition jointment procedure, producing a municipal map of the geodiversity of Aburra Valley with each of its discrete classes. In order to highlight the distribution of these classes in the Aburrá Valley, an inventory of Geological, Geomorphological and Archaeological Archaeological Places of Interest (LIG's) was carried out, for the generation of a georute as a dissemination multi-level scientific strategy, with a view to the integral management of the geological heritage of the Aburrá Valley (VA).

Keywords: *Aburrá Valley, geodiversity, geomorphometric, georute, multi-Level, geological Heritage.*

INTRODUCCIÓN |

La apariencia del paisaje es un concepto que no solo está influenciado por factores físicos y biológicos, sino también por la percepción subjetiva del observador (Benito et al; 2019). Los factores físicos y biológicos influyen en la descripción de la topografía local, generando información geomorfométrica de la tierra y proporcionando un conocimiento sobre los procesos que intervinieron en la forma de los paisajes (Benito-Calvo et al., 2009). Todos estos factores hacen alusión a uno de los componentes más importantes a lo que llamamos patrimonio. La definición habitual de 'patrimonio' hace referencia a los elementos que han sido heredados a través del tiempo. Pero en la actualidad la geoconservación se practica a los procesos geomorfológicos o geológicos, a la topografía, a los sedimentos recientemente formados, a los suelos, entre otros. Por lo tanto, 'geo patrimonio' es un término apropiado para aplicar a estas características recientes, así como a otras más antiguas que han permanecido hasta el día de hoy (Gray, 2018).

Por ejemplo, Jedicke (2001) define la geodiversidad como la variabilidad en los elementos y componentes abióticos de un sistema ecológico jerárquico, como lo es la geología, la topografía, las condiciones climáticas y la cobertura del suelo. Siendo esta relación entre geodiversidad y patrimonio geológico una variación de un McKelvey Box tradicional (Gray, 2018), es decir una forma de representar visualmente la disponibilidad de recursos minerales particulares en función del valor económico de su producción y la probabilidad geológica de su presencia (Benito-Calvo et al., 2009). De este modo, la biodiversidad se determina principalmente sobre la base del análisis y evaluación de las características abióticas del área de estudio, es decir, los tipos de cobertura, el uso de la tierra, pero complementados por tipos de vegetación real y potencial, siendo una determinación no directa de la diversidad de especies, sino una referencia al impacto de la geodiversidad en la biodiversidad (Gray, 2018).

En la década de los años 90 (Duff, 1994), definió la geodiversidad como la variabilidad abiótica, sosteniendo que ciertos elementos del sustrato geológico se reflejan en la riqueza y la diversidad de especies de plantas en un área investigativa determinada. Es por ello que la preparación de un buen plan paisajístico – ecológico, requiere tener en

cuenta las reservas naturales existentes. Esta condición solo puede cumplirse reconociendo los valores naturales del área, evaluando no solo su diversidad abiótica sino también la biótica (Gray, 2018). Evidentemente, el concepto de geodiversidad ha sido ampliamente discutido, pero lastimosamente hay pocas publicaciones sobre la cuantificación de la geodiversidad (Bruschi, 2007; Benito-Calvo et al., 2009; Gray, 2018).

Trabajos llevados a cabo desde mediados del siglo pasado, tuvieron en cuenta el concepto de clasificación de la geodiversidad en el desarrollo de la cartografía de los sistemas terrestres (Christian y Stewart, 1952) o en el análisis de los parámetros del paisaje (Conacher y Dalrymple, 1977). Solo hasta el 2000 se dio un resurgimiento de la investigación en temas de geodiversidad y ya hacia la última década, asociado a las mejoras de la funcionalidad de la computación y el software, se consolida la geoinformática como una herramienta útil para la gestión de recursos naturales, recursos humanos y riesgos naturales (p.e. Serrano y Flaño, 2007; Benito-Calvo et al, 2009; Gray, 2018). Autores como Ratajczak-Szczerba (2013), sostienen que “la biodiversidad suele ser una especie de escaparate y uno de los elementos utilizados en la promoción turística”. Por el contrario, las actividades humanas ciertamente están destruyendo, dañando o contaminando la geodiversidad antes que pueda ser estudiada y descrita. Estas amenazas engloban la extracción de minerales, la expansión urbana, el desarrollo de tierras, la ingeniería, el manejo de ríos y costas, las actividades forestales, la agricultura, la recreación, el turismo y la geología (Gray, 2018). En relación a la problemática expuesta, se procedió a hacer una combinación de información geológica, geomorfológica y climática, utilizando enfoques geoinformáticos, siendo útil para la cuantificación de la geodiversidad a escala municipal (Benito-Calvo et al., 2009).

INTRODUCCIÓN |

La clasificación, cuantificación y mapeo de factores geológicos, geomorfológicos y climáticos, permite un acercamiento sistémico al territorio, que admite a su vez, entender los procesos que han controlado la evolución del paisaje. Es por esto que a partir de un mapa de geodiversidad, se calcula la pluralidad del paisaje y otros índices de patrones espaciales (Gray, 2018). Esta metodología puede ser útil para la toma de decisiones a la hora de evaluar el patrimonio geológico, para hacer la planificación de los recursos naturales o para designar áreas para la conservación (Gray, 2013). Con ello, se ratifica el papel de la geología a una escala multinivel en la sociedad, pensando en la vocación dada por la maravilla de los paisajes y la compleja historia que ha modelado la tierra (Tavera et al., 2017), buscando así atraer al público y generar un beneficio socioeconómico, enfocado en la creación de una infraestructura turística de apoyo a algunos elementos del patrimonio geológico presentes en la región (Carcavilla et al., 2011) fomentando a su vez, mecanismos de divulgación y educación.

En el caso específico del VA, un valle intra-montano rodeado por altiplanos y escarpes regionales, con variabilidad climática global y local que ha determinado la generación de múltiples etapas de deslizamientos y avenidas torrenciales desde hace al menos 3 Ma (Rendón, 2003). El VA es un lugar donde la historia geológica permite armar un rompecabezas aún inconcluso, de la formación y disgregación del supercontinente Pangea (Vinasco et al., 2003) y documentar los diferentes pulsos de la orogenia Andina. Adicionalmente, es un territorio en el cual coexiste el paisaje, la académica y lugares para la gestión patrimonial in-situ y ex-situ, que se convierte en un laboratorio ideal para la cuantificación de la geodiversidad, con el fin de describir la heterogeneidad abiótica como una herramienta para la gestión integral del patrimonio geológico.

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal la generación del mapa de geodiversidad del área metropolitana del Valle de Aburrá, a partir de la información geomorfométrica, geológica y climática, como una herramienta hacia la gestión integrada del patrimonio geológico, adoptando la metodología de Benito-Calvo et al. (2009). Esta metodología fue parcialmente modificada para adaptarse a las necesidades de este trabajo. De acuerdo con los razonamientos que se han venido analizando, el geoturismo está

directamente relacionado con la geodiversidad, y se convierte en un componente importante que está directamente relacionado con la ejecución de materiales de apoyo explicativo-didáctico, que permitan a los visitantes conocer las características geológicas, bióticas y abióticas del lugar (Carcavilla et al., 2011), para generar una mayor apropiación del patrimonio geológico y de valoración del paisaje en Colombia (Tavera et al., 2017).

Finalmente, como ya ha sido ampliamente explorado por diversos autores (p.e. Medina y Monge Ganunzas (2012), Morales Miranda (1998), Page (1992)), la divulgación y promoción turística puede favorecer la sostenibilidad para así mejorar el conocimiento de la ciencia en la educación ciudadana. Consolidándose como una estrategia de divulgación científica multinivel para la gestión integrada del patrimonio geológico de la región. Por todo lo anterior, el presente proyecto pretende, crear elementos interdisciplinarios como el estudio cuantitativo de la geodiversidad que posee el valle, un mapa de lugares de interés geológico (LIG), que permita resaltar lugares de alto interés geológico y turístico y junto con éste, el diseño de un infográfico que de una visión de los conocimientos en las ciencias de la tierra a través de un lenguaje geológico elemental y visual de mayor entendimiento en las personas, y comprender y transmitir los conceptos fundamentales que controlan la dinámica de la tierra, tomando decisiones responsables de gran interés (Carcavilla et al., 2011).

2. MARCO GEODINÁMICO DEL VALLE DE ABURRÁ

El valle de Aburrá (VA) se encuentra ubicado en el extremo norte de la cordillera central de los Andes colombianos, y ha sido modelado en la “Meseta Antioqueña”, una superficie erosiva de una gran elevación con 5000 km² de extensión y una elevación media de 2500 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). La elevación del fondo del Valle de Aburrá (VA) está a aproximadamente 1000 m por debajo de la altitud media de la meseta (Henao y Monsalve, 2018), ubicado en el extremo norte de la cordillera Central de los Andes colombianos, siendo dividido por tres amplios sectores geomorfológicos. La parte central, consta de llanuras aluviales delimitadas por pendientes moderadas a suaves; mientras que estrechos valles asimétricos delimitados por empinadas laderas toman toda las partes norte y sur. Características de erosión más antiguas conocidas como Santa Elena con 2750 msnm, y las superficies de tierra de San Pedro con unos 2800 Msnm (Aristizábal et al., 2005). Es una región que ha sido tectónicamente activa durante millones de años (GSM, 2002; Rendón, 2003). Las tendencias estructurales que intervinieron con la evolución tectónica del Valle están representadas por el sistema de fallas Cauca- Romeral, con evidencia regional de desplazamiento lateral derecho e izquierdo (Ego y Sebrier, 1995).

El VA presenta un entorno geológico y geomorfológico relacionado con cinco unidades geológicas complejas: el basamento metamórfico Paleozoico; las rocas ígneas ultrabásicas; una secuencia volcánico-sedimentaria; cuerpos granitoides intrusivos; y depósitos de laderas y sedimentos aluviales (Maya y Gonzales, 1995). El basamento metamórfico que conforma el valle, está compuesto por anfibolitas y gneises, que afloran en el norte, oeste y sureste. Dunitas, gabros, basaltos y sedimentos de origen oceánico, fuertemente tectonizados, fueron emplazados sobre el basamento metamórfico durante el Cretácico (Restrepo y Toussaint, 1984). Cuerpos alargados de estas rocas orientadas NW-SE afloran en las partes suroeste y central del VA. Los cuerpos plutónicos ácidos a intermedios del Triásico y Cretácico invaden el cinturón metamórfico (McCourt et al., 1984) aflorando en el norte y el oeste, como se muestra en la **Figura 2**.

Según Arias (1996) “la respuesta a los procesos de levantamiento tectónico se manifiesta en una gama morfológicamente compleja, de procesos de erosión y disección. Dejando las superficies de erosión con un relieve suave y simple que dan paso a diferentes expresiones

superficiales de erosión degradadas” (Ingeominas, 2005). Desde la década del 70, con motivo de los proyectos hidroeléctricos en la zona del oriente antioqueño, se hicieron los estudios geomorfológicos para evaluar los procesos que intervienen en la conformación del paisaje; en el cual se llegó a la conclusión de que éste, está regido por la formación de planicies que responden a las etapas de levantamiento de la Cordillera Central desde el Mioceno – Pleistoceno (Ingeominas, 2005). Se conocen múltiples trabajos geomorfológicos sobre el origen y evolución del Valle de Aburrá: Scheibe (1919), Posada (1936), Botero (1963). La discusión de estos autores se centra en si el Valle se originó por procesos erosivos, tectónicos o si se debe al desagüe de un antiguo lago.

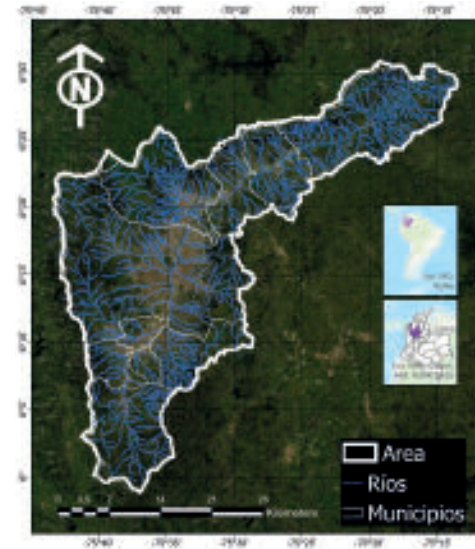


Figura 1.
Localización
del Valle de Aburrá.

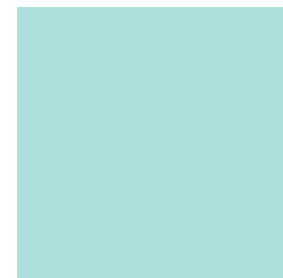


Figura 2.
Mapa geológico
del valle de Aburrá.

3. METODOLOGÍA

Para realizar una estimación cuantitativa de la geodiversidad, se partió de una clasificación inicial del terreno, identificando la heterogeneidad física de la topografía del VA. Esta clasificación se elaboró utilizando técnicas SIG (ArcGIS 10.5) e involucró clasificaciones morfométricas, geológicas y morfoclimáticas. El diagrama de flujo de este procedimiento se muestra en la **figura 3**.

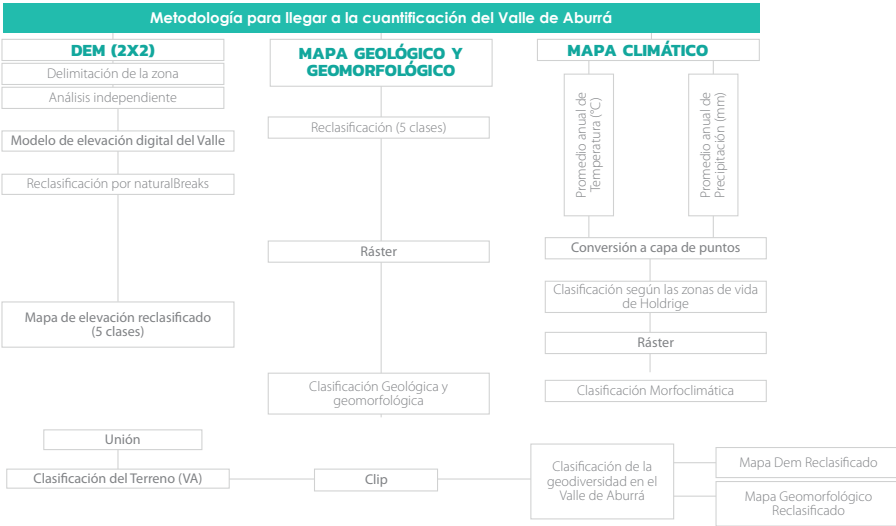


Figura 3. Procedimiento metodológico utilizado para evaluar la geodiversidad municipal en el Valle de Aburrá.

La **clasificación morfométrica** se generó aplicando técnicas de clasificación estadística a un modelo multicapa (Benito et., al 2019), el cual se compuso de variables morfométricas obtenidas del Modelo de Elevación Digital (DEM, fuente: Microzonificación del valle de Aburrá, AMVA, 2015). Utilizando este modelo digital de elevación (DEM) con una resolución espacial de 2 metros (proyección MAGNA_Transverse_Mercator), se seleccionaron las principales variables morfométricas: curvatura tangencial, pendiente, rugosidad y relieve relativo.

La **clasificación geológica** se obtuvo del mapa geológico del VA a escala 1:10.000, elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2015). Este mapa se simplificó, es decir, se reclasificó en 5 clases, considerando las clases geológicas, asignándole valores de 1 a 5 según su importancia geológica, teniendo en cuenta los tipos de rocas y sus edades, y el grado de intervención antrópica. Luego por medio de la herramienta “Polygon to ráster” y los atributos de clasificación de datos, se convirtió a un mapa ráster.

Para hacer la **clasificación climática** del Valle, se determinaron según las zonas de vida de Holdrige, con base en la temperatura media anual y precipitación acumulada, considerando también la estacionalidad. Los datos climáticos usados en esta clasificación, corresponden a las superficies de precipitación y temperatura de la base de datos WorldClim (<http://www.worldclim.org>).

Finalmente, las **valoración de la geodiversidad** se calculó a partir de los 3 mapas rasterizados reclasificados: morfoclimático, geológico y morfométrico, siguiendo la metodología de Benito-Calvo et al. (2009). Para este cálculo se usó la herramienta álgebra de mapas y así la suma de las diferentes capas de ráster. De esta forma, se desarrolló una clasificación de terrenos, que constituye un modelo para la geodiversidad del VA, basado en las propiedades morfométricas, climáticas y geológicas (Schaeztl y Anderson, 2006).

Como una herramienta adicional a las tres clasificaciones (morfométrica, geológica y morfoclimática), en el presente estudio se utilizó el mapa de **clasificación geomorfológica** (obtenido a partir del mapa geomorfológico del VA a escala 1:10.000, AMVA, 2015), a partir de las unidades macro y micro como venían definidas en la tabla de atributos. Una vez simplificado y reclasificado, se reemplazó el mapa morfométrico por el geomorfológico con el fin de compartir los mapas de geodiversidad obtenidos para establecer así la conveniencia de usar un mapa morfométrico o geomorfológico a escalas detalladas de cuantificación.

3.1. Conformación de la Geodatabase y los Lugares de interés Geológico (LIG's)

La cartografía empleada para la cuantificación de la geodiversidad del VA se basó en la información suministrada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2015), proveniente de los archivos almacenados en la GeoDatabase Ambiental de dicha institución. La información contiene la base geológica, geomorfología, curvas de nivel, entre otras variables, que fueron empleadas para generar los diferentes mapas de este estudio. También se utilizó un modelo digital de terreno (DEM) con una resolución espacial de 2x2, junto con la cartografía digital empleada a escala 1:10.000, con base a toda esta información recopilada y adquirida por las distintas fuentes anteriormente descritas, haciendo uso de éstas para la generación de mapas y nuevos datos.

El inventario de los LIG dentro de la zona de estudio, permitió resaltar diferentes sitios que presentan una gran diversidad biótica y abiótica, que se frecuentan como **“sitios turísticos”** en el municipio o que puedan ser articulados en rutas científicas viables para ser realizadas por turistas y/o cualquier persona interesada de nuestra sociedad.

3.2. Clasificación Morfométrica

La clasificación morfométrica se realizó utilizando un modelo multicapa compuesto por la elevación, la pendiente, la curvatura tangencial y la rugosidad, todos ellos derivados del DEM. Por medio del software ArcGIS 10.5, se obtuvieron la pendiente, el relieve relativo, la rugosidad y la curvatura tangencial, además de la rugosidad que se estimó a partir de la herramienta **“estadísticas de bloque”**, método que se basa en calcular el rango (diferencia entre los valores mayor e inferior) de las celdas en la vecindad, tal proceso se explica en la **Figura 4**.

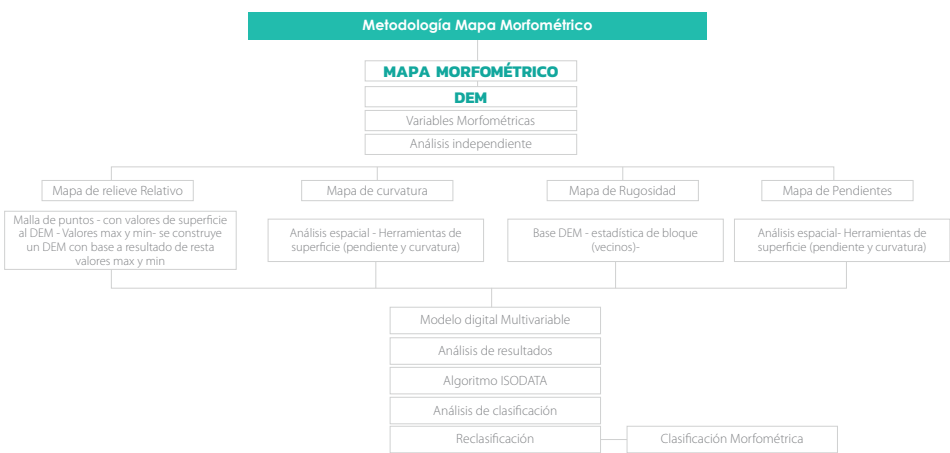


Figura 4. Procedimiento metodológico utilizado para llegar al mapa morfométrico del valle de Aburrá.

Para el ráster de relieve relativo (Figura 5) se creó una capa de puntos a la cual se le asignaron los valores máximos y mínimos de altura para restarlos respectivamente y obtener el valor de relieve relativo. Con base en este valor y con la ayuda de la herramienta estadística IDW (Inverse Distance Weighting) se procesaron dichos puntos y se obtuvo el ráster final.

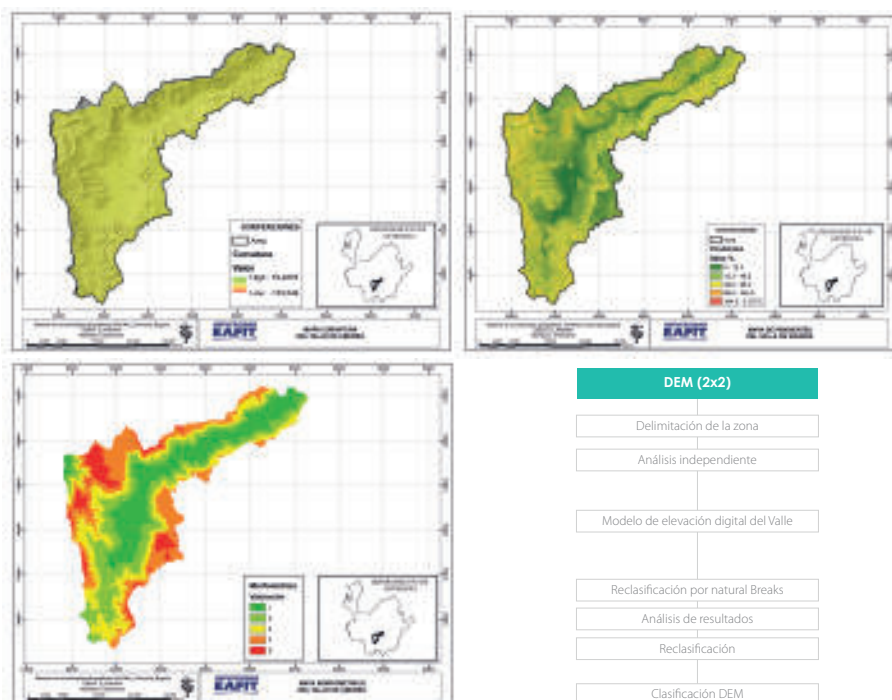


Figura 5a. Modelos multicapa compuesto por elevación, pendiente, curvatura tangencial y rugosidad. **5b.** Metodología para la reclasificación morfométrica.

3.3. Clasificación Climática

Las variaciones de elevación provocan una diversidad de condiciones climáticas en el VA. Usando la clasificación propuesta por Chorley et al. (1984) y las superficies climáticas de la base de datos WorldClim (<http://www.worldclim.org>), se clasificaron las unidades según las zonas de vida de Holdridge (figura 6). Fueron utilizadas las variables de temperatura y precipitación para definir las regiones morfoclimáticas y para generar las zonas climáticas (Tabla 1, anexo electrónico) tales como húmedo montano bajo (bh-MB), muy húmedo montano bajo (bmh-MB), muy húmedo premontano (bmh-PM) (Holdridge, 1967).

Las variaciones de latitud y elevación, provocan una variedad de condiciones climáticas en el VA. Usando la clasificación propuesta por Holdridge (1967) y las superficies climáticas de la base de datos WorldClim, como precipitación y temperatura, siguiente a eso el procesamiento de la información mediante la herramienta de álgebra

de mapas de ArcGIS, donde se recopilaban los datos descargados mes a mes de temperatura y precipitación con el fin de conocer la temperatura media y la precipitación acumulada del área de estudio (figura 7). Se definieron en el VA dos zonas: Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) y Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM).

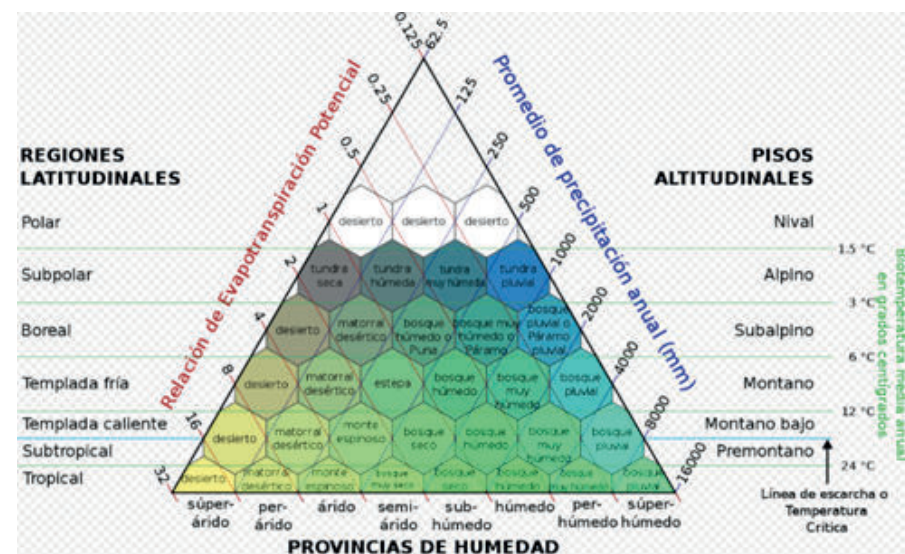
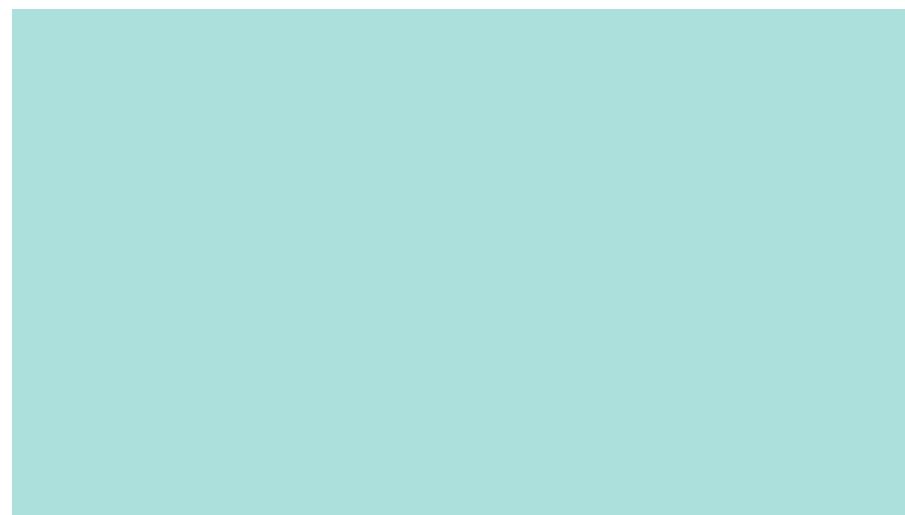


Figura 6. Diagrama de Holdridge usado para la clasificación del mapa municipal del Valle de Aburrá. **Fuente:** (Holdridge, 1967)



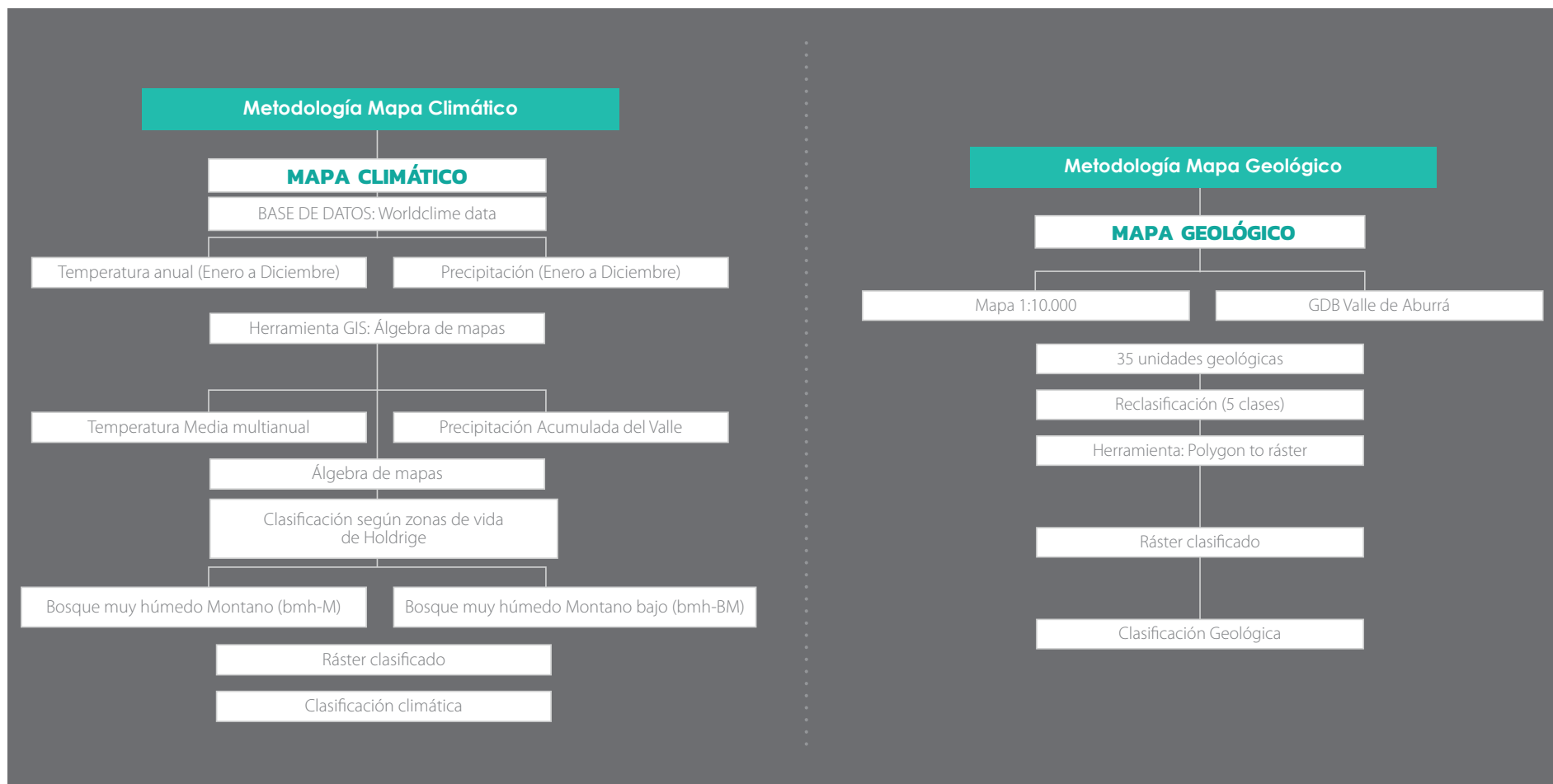


Figura 7. Metodología evaluativa para la realización del mapa morfoclimático municipal en el Valle de Aburrá.

3.4. Clasificación Geológica

Se utilizó la metodología de construcción del mapa geológico (figura 8), la cual incluyó las propiedades litológicas, cronológicas y estructurales en la clasificación de la geodiversidad, usando el Mapa Geológico del VA.

Figura 8. Metodología para la realización de mapa municipal del Valle de Aburrá y mapa resultante reclasificado

Este mapa está compuesto por 30 unidades geológicas que se extienden desde el Precámbrico hasta el Cuaternario e incluye las principales estructuras tectónicas. Debido al enfoque regional y la escala de este trabajo, hemos simplificado este mapa utilizando su importancia geológica, como lo es el tipo de roca (sedimentarias, metamórficas e ígneas) junto con sus edades generales combinadas (Precámbrico, Mesozoico, Cenozoico y Cuaternario) y que tan alteradas por el hombre y con base a esto se realizó una tabla de clasificación (Tabla 2, anexo electrónico) para llegar al mapa clasificado.

3.5. Clasificación Geomorfológica

Para llegar a la clasificación geomorfológica, se desarrolló la metodología descrita en la figura 9. La clasificación se obtuvo del mapa geológico del VA a escala 1:10.000, para así incluir las macro unidades y micro unidades del valle de aburra. Desplegando estas 37 unidades geomorfológicas. Estas unidades geomorfológicas se reclasificaron en 5 clases (**Figura 9, Tabla 3,**). Llevando a cabo una asignacion de valores tales como 1- no importante; 2- medianamente importante; 3- importante; 4-significativamente importante, y 5- muy importante.

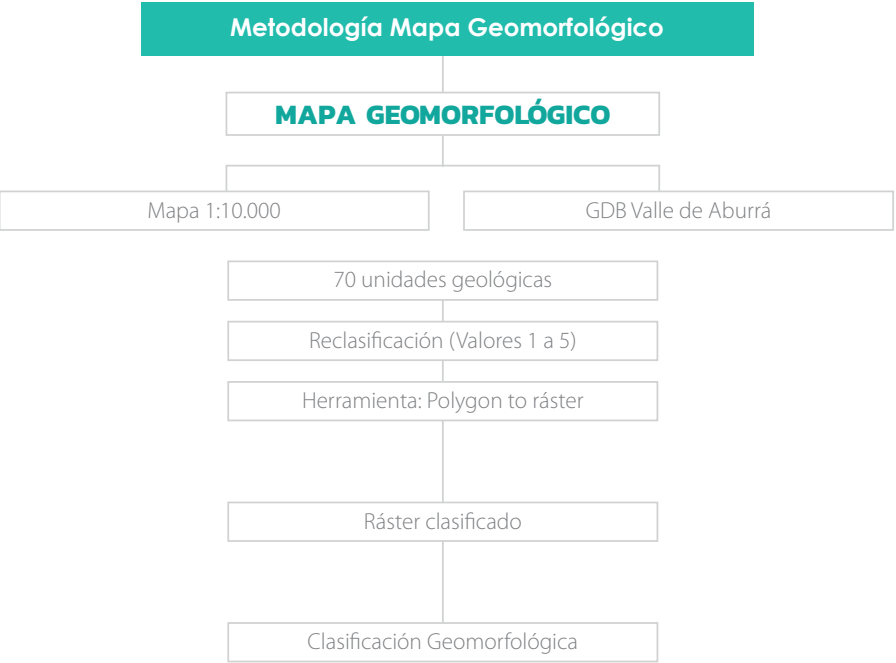


Figura 9. Metodología empleada para la realización del mapa geomorfológico municipal del Valle de Aburrá y mapa resultante.

3.6. Clasificación Geodiversidad

Una vez elaborados los mapas morfométricos, morfoclimáticos y geológicos, el último paso consistió en combinar estos tres conjuntos de datos espaciales, mediante algebra de mapas superpuesta como lo muestra la metodología en la **figura 10**.

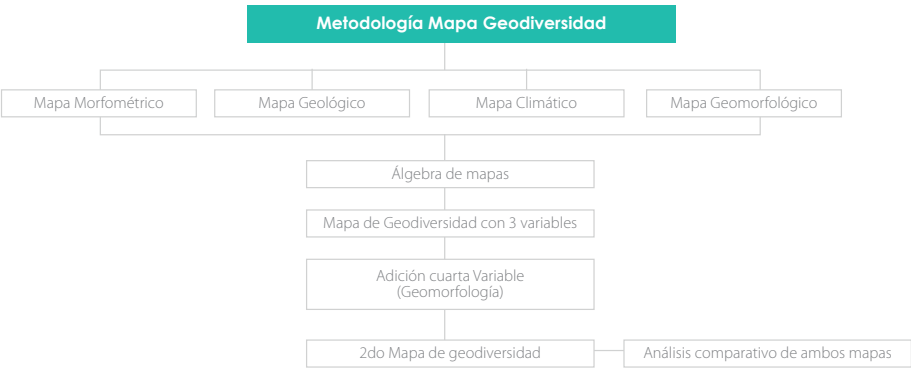


Figura 10. Metodología usada para llegar al mapa de geodiversidad municipal del Valle de Aburrá.

De esta operación obtuvimos un mapa del VA, en el cual se resalta la geodiversidad en escala de valores tales como 1- no importante; 2- medianamente importante; 3- importante; 4-significativamente importante, y 5- muy importante. Finalmente, los Polígonos de área urbana y un buffer de 30 metros a ambos lados a lo largo del eje del Río Medellín se superpuso al mapa final.



4. RESULTADOS

Este estudio ha evaluado la geodiversidad del VA cuantificando sus características del terreno, con base en información geomorfológica, geológica y climática. La metodología siguió el enfoque de Benito-Calvo et al., (2009), con algunas modificaciones. Los datos espaciales y de literatura recopilados, tanto analógicos como digitales, permitieron evaluar la diversidad geográfica del Valle. Se obtuvieron un total de 6 mapas de factores, es decir, 4 mapas para la diversidad de elementos abióticos que se convirtieron en la base para la creación de la geodiversidad total del paisaje del valle.

4.1 Inventario de LIG

Se identificaron 43 LIG dentro del VA (Figura 11 y Tabla 4), distribuidos en el corredor Palmas - Parque Arvi (Del Castillo, 2019) - Guarne. Ruta Universitaria: Al Campus Georuta en EAFIT (Marín-Cerón, 2020), UNAL-MED, UdeA – Explora, Planetario. Ruta del Río Medellín en Metro como eje estructurante que incluye Parques del río, Cerro Nutibara, Parque de los pies descalzos, Museo del Agua y Cerro el Volador. Ruta de Occidente que inicia en la facultad de Minas (Universidad Nacional-Sede Robledo), Vía San Pedro, Antigua vía a Santafé de Antioquia, Puente de Occidente y Cerro de las Tres Cruces. También se usó como insumo los sitios de interés geomorfológico resaltados en el Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca del río Aburrá (2005), considerados como sitio de interés paisajístico y turístico.

4.2 Reclasificación Geológica

En el mapa geológico resultante (figura 12) se les asignó una valoración siendo 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta. Se logró evidenciar que la geodiversidad con base a la litología resalta más las clases 1, 2 y 3 con un porcentaje del área de aproximadamente 65% y que las clases 4 y 5 son mucho más específicas y pequeñas, pero esto nos deja saber que solo cierta parte del área metropolitana es de alto interés con base a la clasificación realizada un 67%.

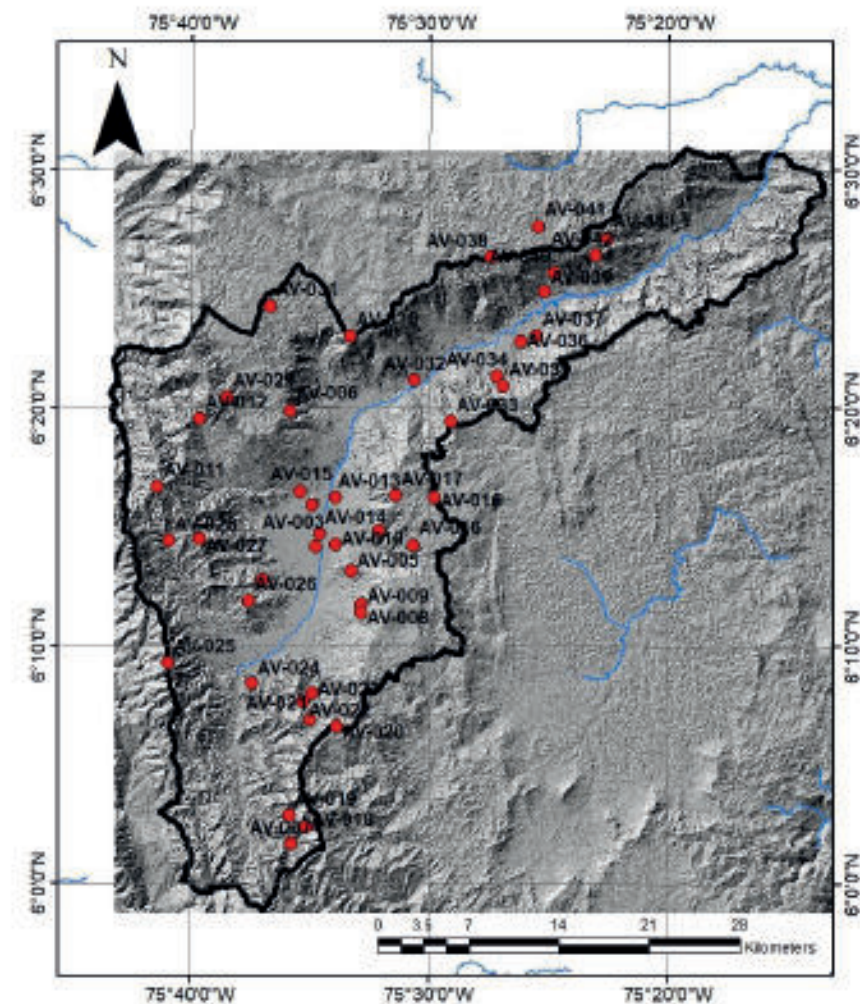


Figura 11. Inventario de Lugares de Interés Geo-arqueológico en el AMVA

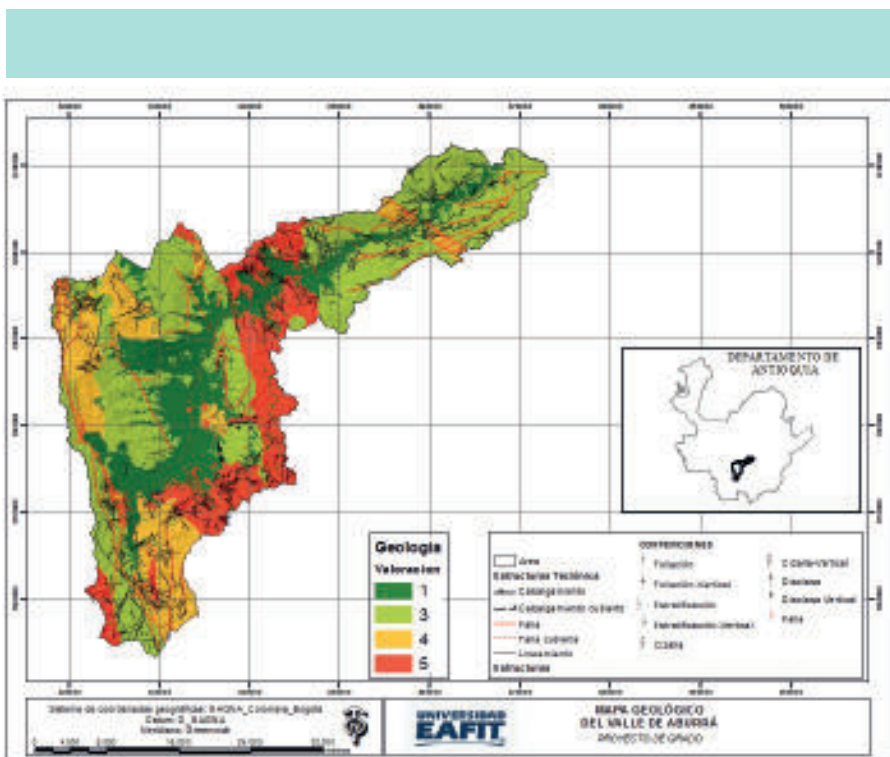


Figura 12. Mapa geológico reclasificado, asignando valores 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta en orden de importancia e información geológica.

Se puede decir que esta clasificación nos da la razón, en cuanto a que las unidades litológicas están cubiertas por formaciones superficiales, bien sea asociadas con suelos derivados del perfil de meteorización o por depósitos de origen aluvial, aluvio-torrencial y de vertiente, que rellenan el valle. Muchos de los parches están categorizados con bajo valor. Estos depósitos asociados al Río Medellín que son de gran espesor, pueden alcanzar hasta los 100 m de profundidad (AMVA, 2015).

Adicionalmente, los parches que resaltan de tonalidad roja y amarilla con clasificación 5 y 4, en orden de importancia dan lugar a zonas donde la altura juega un papel importante, ya que esto indica mejor preservación de la roca y poca intervención humana. De esta manera, presenta una geodiversidad alta a la hora de ser clasificado, como lo son el Cerro Quitasol en Bello, El Cerro Nutibara, El Cerro el volador, El Cerro de San Miguel. Lo que nos indica que el estudio va por un buen camino a la hora de analizar la geodiversidad con base a la geología.

4.3 Reclasificación Morfométrica

Los índices usados en el mapa, se derivaron después de la evaluación previa de la baja interdependencia de varios derivados del DEM, con base a estos, se propuso una clasificación por natural breaks donde se considera la altura y pendiente, y se clasificó en 5 clases (figura 13) según las variables anteriormente mencionadas (altura, pendientes). La amplitud del relieve es la diferencia máxima en elevación dentro del área del VA, a los cuales se le asignaron valores de 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta geodiversidad. Se destacan los parches de menor valor de geodiversidad como lo hemos venido trabajando, son zonas de baja altura, las cuales han sido altamente alteradas o modificadas por el hombre, por su baja altitud y han sido usadas para el asentamiento de población generando depósitos antrópicos de bajo valor en este estudio. Las clases 1, 2 y 3 enfocadas en la zona central del valle donde se extiende toda la cuenca del Río Medellín, lo que indica que en las vertientes del río, tenemos todos estos depósitos aluviales y aluvio-torrenciales que no tienen alto valor en términos de geodiversidad. Sin embargo, tenemos algunos parches con clasificación 4 y 5 donde resaltan las ubicaciones de algunos cerros importantes y dominantes en el paisaje de los diferentes municipios que componen el valle; entre ellos están el Cerro de San Felix, El Cerro del Padre Amaya, El Cerro Nutibara, El Cerro de las tres cruces y El Cerro el volador. Dejándonos claro que realmente el mayor contraste lo reflejan estas imponentes elevaciones en comparación con otros parches.

Adicionalmente, se hizo la reclasificación (figura 14) haciendo el uso del mapa geomorfológico escala 1:10.000 (AMVA, 2015).



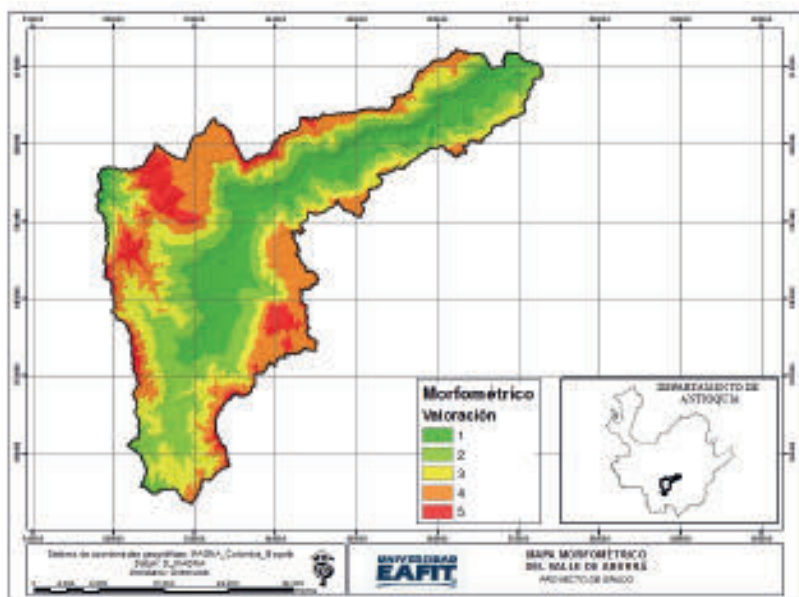


Figura 13. Mapa morfométrico, asignando valores 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta según alturas y pendientes.

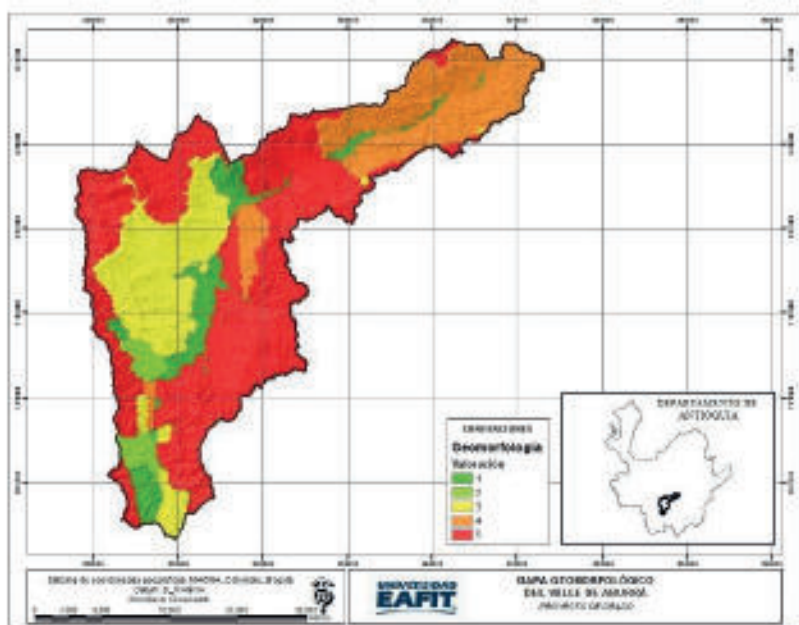


Figura 14. Mapa geomorfológico reclasificado, asignando valores 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta en orden basados en la importancia y lo más resaltante en el Valle de Aburrá.

4.4 Reclasificación Morfoclimática

Dadas las condiciones climáticas tan variables en el VA y las formaciones vegetales que allí se presentan, se establecieron diferentes zonas de vida definidas por Holdridge (1967). Se trata de un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las cuales, tomando en cuenta las asociaciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo (Figura 15).

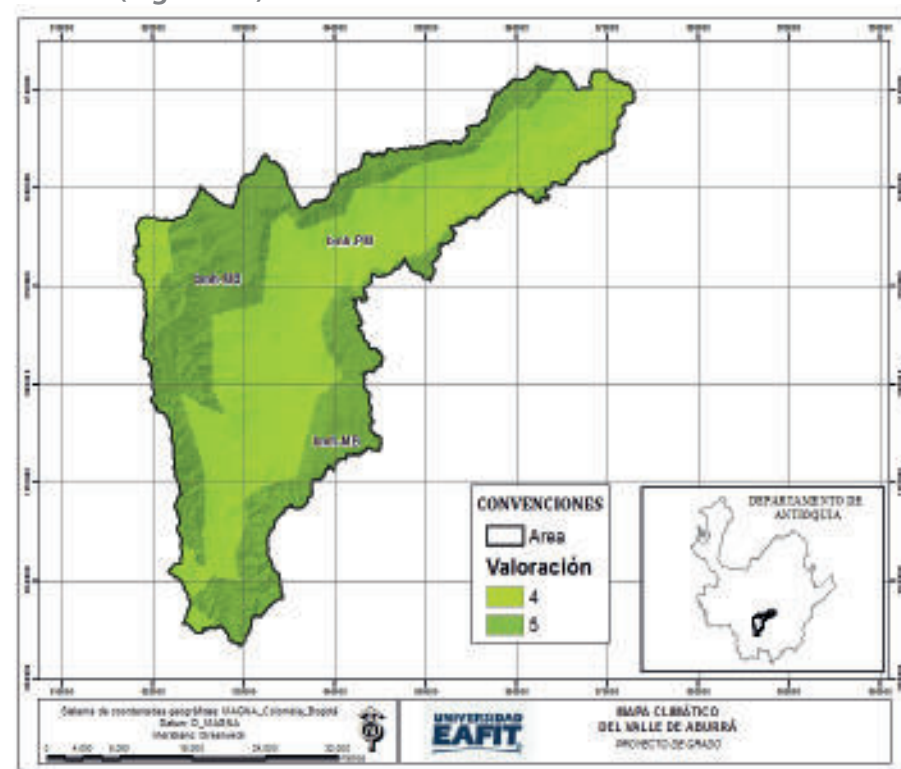
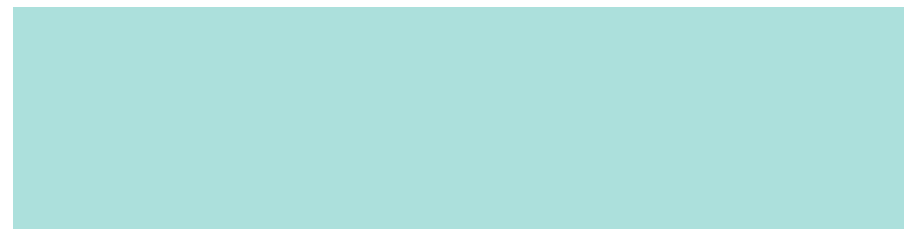


Figura 15. Mapa morfoclimático reclasificado, según zonas de vida de holdridge.



4.5 Mapa final de Geodiversidad

Al juntar todas las componentes anteriormente descritas (geología, morfometría/geomorfología y clima) se obtiene el mapa de geodiversidad sumando los diferentes factores (figura 18^a y 18^b), se observa un aumento en las zonas con alta geodiversidad (tonalidades rojas y anaranjadas con valores de 4 y 5), asociadas a las laderas correspondientes al valle medio y alto del valle de Aburrá. También se refleja los valores más bajos (1 a 3) hacia el fondo del valle, siendo la zona más intervenida antrópicamente. Otra variación importante, se nota hacia la zona norte del valle, dominado por 2 unidades: Valle Hatillo Barbosa y bloque Matasanos, zona rural que presentan alta geodiversidad pues es una zona que denota una moderada expansión urbana (con una valoración de 4). Su geodiversidad está marcada por su clara relación genética con el actual sistema de drenaje lo cual denota una edad relativamente reciente, poco modificada. La parte media superior y baja del valle, donde no solo se encuentran las zonas con mayor contraste geomorfológico, se encuentran dentro del área de protección (Parque Arví), esta zona, tiene gran cantidad de LIG como se describió en la anterior tabla 3.

5. DISCUSIÓN

5.1 Cuantificación de la Geodiversidad

La geodiversidad es considerada una propiedad importante del paisaje, ya que en ella encontramos la relación de dos componentes: la riqueza y uniformidad (Spellerberg y Fedor, 2003); la riqueza está conformada por el componente compositivo de la diversidad, dejando como referencia el número de clases diferentes en un mapa categórico, y la uniformidad es ese componente estructural de la diversidad, permitiéndonos cuantificar la distribución del área del valle entre las diferentes clases (5 clases) en este caso.

Existen varios métodos, en los cuales se puede medir la geodiversidad, con la asignación de valores por peso. En este caso, se le asignaron valores según el criterio de importancia, tal como lo es la información geológica, geomorfológica o climática obtenida. Con estas variables y los conocimientos adquiridos, se pudo tener un criterio de importancia a la hora de evaluar las zonas que conforman el valle. En cualquiera de los componentes de diversidad encontrados en los mapas resultantes, estos resaltan las zonas de mayor altitud como lo son los cerros tutelares que “vigilan” todo el contraste del valle. El objetivo de este proyecto fue reconocer las zonas que podrían estar incluidas en un estudio más exhaustivo y darles el reconocimiento geológico y patrimonial que merecen, no solo por su historia sino por hacer parte de esta evolución que se ha venido teniendo el valle del Aburrá, sino la historia que cuentan estos sitios, el valor biótico y abiótico que contienen y junto con esto, generar una georuta que enmarque estos sitios de alta geodiversidad.

Definimos que la riqueza es un parámetro parcialmente controlado por la escala. En un intento de comparar paisajes con diferentes áreas, se ha aplicado la metodología existente del estudio realizado por Benito-Calvo (2009) para desarrollar un mapa de geodiversidad con 3 variables (geológica, morfoclimática y morfométrica) dando como resultado un mapa de diversidad geológica del Valle del Aburrá, resaltando el relieve con las unidades morfométricas asociadas a la geología del Valle. Sin embargo, en este caso se quiso adaptar la metodología de Benito-Calvo (2009) para el estudio del valle, pero adicionándole una variable más al análisis, la geomorfología, para hacer del análisis algo más específico y detallado de los diferentes parches que resaltan en la zona. Se obtuvo mayor detalle a la hora de analizar las 5 clases resultantes. Si se hace una comparación con el mapa que obtuvimos con las 3 variables (Figura 16a), realizado con el ráster geomorfológico en vez del morfométrico; obtuvimos mayor contraste en las zonas de alto rango, en este caso 4 y 5 destacando la presencia de materiales de origen oceánico, al sur-occidente del valle, cercano a Caldas, La Estrella y Medellín. Al mismo tiempo, se definen unas vertientes montañosas altas, largas, de fuerte pendiente correspondientes de la divisoria de aguas hacia la cuenca del río.

Igualmente, se presentan dos complejos ofiolíticos, uno muy asociado con el sistema de fallas de Romeral, al sur y occidente de valle y otro hacia al costado oriental, denominado Complejo Ofiolítico de Aburrá (Rendon 2003), representado en la dunita de Medellín, sobre cuyo cuerpo meteorizado han ocurrido los mayores procesos de remoción en masa que han afectado la ciudad de Medellín (o decir si varios

municipios del área metropolitana del VA), catalogados en un bajo valor geodiverso. La zona del cauce, es evidente en ambos mapas en tonalidad verde (valor de 1) destacándose mejor en el mapa con el ráster geomorfológico y sobre todo los depósitos que conforma el valle, sin dejar de lado que el río hace parte de nuestro patrimonio hídrico y es respetado pero que en la zona de estudio no presenta un alto valor (ya se le está dando, ejemplo parques del río). En pequeños parches encontramos los cerros, contrastando la geodiversidad con valores de 5 a 4 en el estudio como se ve en la **Figura 16b**.

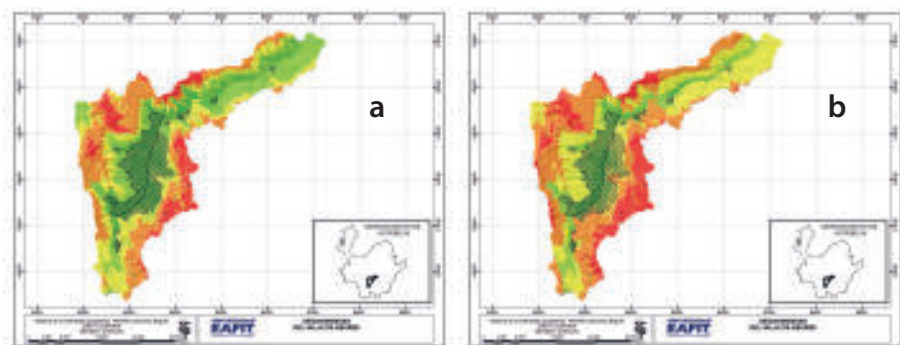


Figura 16a. Mapa de índice de geodiversidad resultante de la unión de los anteriores ráster (geológico, morfométrico y climático) y **16b.** Mapa de Arrojando la geodiversidad resultante de la unión de los raster (geológico, geomorfológico y climático). Valores de 1- Muy baja, 2- Baja, 3- Media, 4- Alta, 5- Muy alta geodiversidad.

Finalmente, para tener el resultante del mapa de geodiversidad, se combinaron estos tres conjuntos de datos espaciales, mediante una operación de álgebra de mapas, donde obtuvimos una clasificación del terreno. Uno de estos conjuntos de datos fue el mapa morfométrico, que según la metodología de Benito- Calvo (2009) era superponer 4 variables (pendiente, curvatura, rugosidad y relieve relativo) y de este surgía el morfométrico. Se realizó una modificación sacando el mapa de elevación reclasificado con la opción de natural breaks en el Software ArcGIS, ya que se consideró que brinda una información más clara y contundente para el estudio, siendo totalmente extraído del DEM y abarcando la escala suficiente al estudio (escala altas a medias), por ende al sacar un mapa morfométrico perdía relevancia a la hora de superponer los mapas.

Se obtuvo un mapa con valores cuantitativos, generando una geodiversidad más detallada del valle, basándose en la heterogeneidad de las propiedades geológicas y geomorfológicas de

la superficie terrestre. De las 37 unidades descritas, se desplegaron la información litológica de la macro unidad, el contraste del paisaje y la visual del valle de Aburrá, un orden de importancia de alturas también se tomó en cuenta, ya que se definió que a mayores alturas las zonas están más protegidas y menos expuestas a la alteración antrópica, asignándoles valores comprendidos entre 1 y 5.

Cuando se superpusieron el mapa de geodiversidad con el mapa geomorfológico, se obtuvo un mapa mucho más detallado, que permitió resaltar más zonas con alta valoración geo diversa. Dando así valores más acordes con la geodiversidad expresada en la evolución geológica y geomorfológica, representada en el paisaje del valle de Aburrá, comparado con la metodología de (Benito-Calvo et al.,2009).

5.2 Gestión del patrimonio por medio de Georutas

El presente estudio plantea la gestión de los LIG a partir de la conformación de itinerarios científicos o georutas, articulados a la movilidad del VA. Entre ellas se encuentran: Corredor Palmas-Parque ARVI-Cerro Quitasol; Corredor Universitario; y Corredor Ríos Medellín-Cerros Tutelares (**Figura 17**).

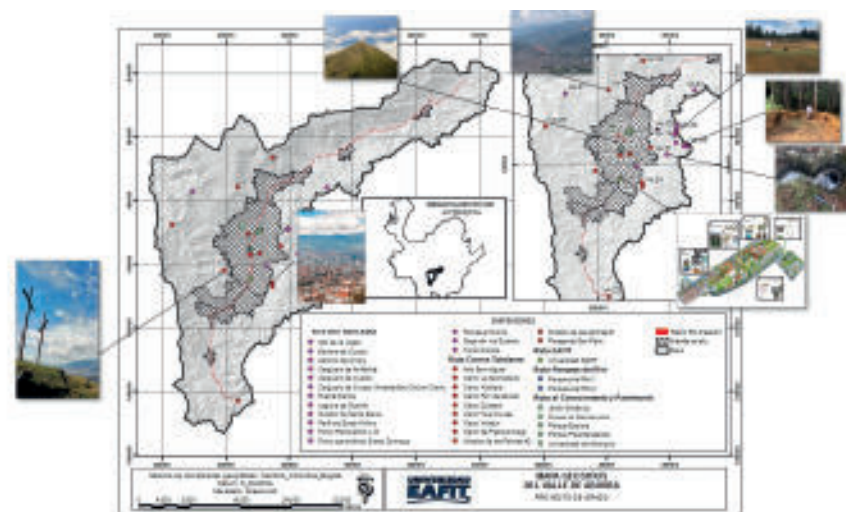


Figura 17. Inventario de LIG y fotografías de LIG seleccionados.

5.1.1 Georuta Corredor Palmas – Parque ARVI –Cerro Quitasol

El corredor vía Palmas, altiplano de Santa Elena – Piedras blancas, permite hacer un recorrido hacia los complejos procesos tectónicos que se dieron en la Cordillera Central, desde el Paleozoico hasta el presente. Relictos de roca que cuentan la historia de Pangea en el límite del Permo-Tríasico (Afloramientos en la vía Palmas, restaurante Doña Rosa) y su posterior disgregación (afloramientos a la altura de la Colegiatura), son únicos por su preservación, valor escénico y científico. Adicionalmente, los miradores existentes en esta vía permiten la visualización del VA, donde se alcanzan a divisar los cerros tutelares anteriormente mencionados, el fondo del Valle, y las laderas con sus múltiples procesos que dejan huellas de antiguos deslizamientos, asociados a la evaluación del VA desde hace más de 3.1 Ma (p.e., Toro, 1999). La llegada al Alto de Las Palmas y el acceso al paisaje colinado del oriente Antioqueño, conecta con el Parque ARVI, donde los procesos tectónico-erosivos que han modelado su paisaje desde finales del Cretácico (Restrepo-Moreno et al, 2010) y desde el Mioceno (Rendón, 2003), se reflejan en la geomorfología que compone el Parque Arví. El trabajo realizado por Del Castillo (2019), hace la compilación de puntos de interés geológico, geomorfológico, minero y arqueológico, conformado por 19 geo-arqueositiros potenciales del Parque Arví. Descendiendo del Parque Arví se puede hacer por dos vías: Santa Elena, donde se aprecia la mejor exposición de la unidad anfíbolitas de Medellín, una unidad clásica donde se pueden apreciar las diferentes zonas del metamorfismo Barroviano en protolitos pelíticos, afloramientos también muy bien conservados se observan en la vía Medellín-Bogotá, donde adicionalmente se observa la panorámica del Valle de Aburrá en su porción más Norte y la cantera que abastece a la ciudad de Medellín de material triturado proveniente de la Dunita de Medellín.

Como forma de divulgación científica, se propuso un infográfico sobre la evolución del valle de Aburrá, tomando como base el artículo de Rendón (2003). En este esquema se aprecia el desarrollo del VA a partir de la coalescencia de tres cuencas tectónicas. Los LIG: El mirador de las palmas, El cerro de San Felix, Parque Arví, Cerro de las tres cruces y el alto de la Virgen (Figura 18), se convierten en excelentes lugares para visualizar de forma panorámica la conformación del VA.

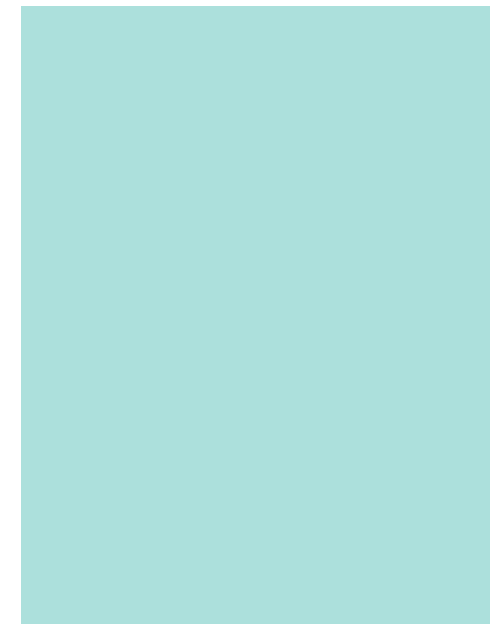
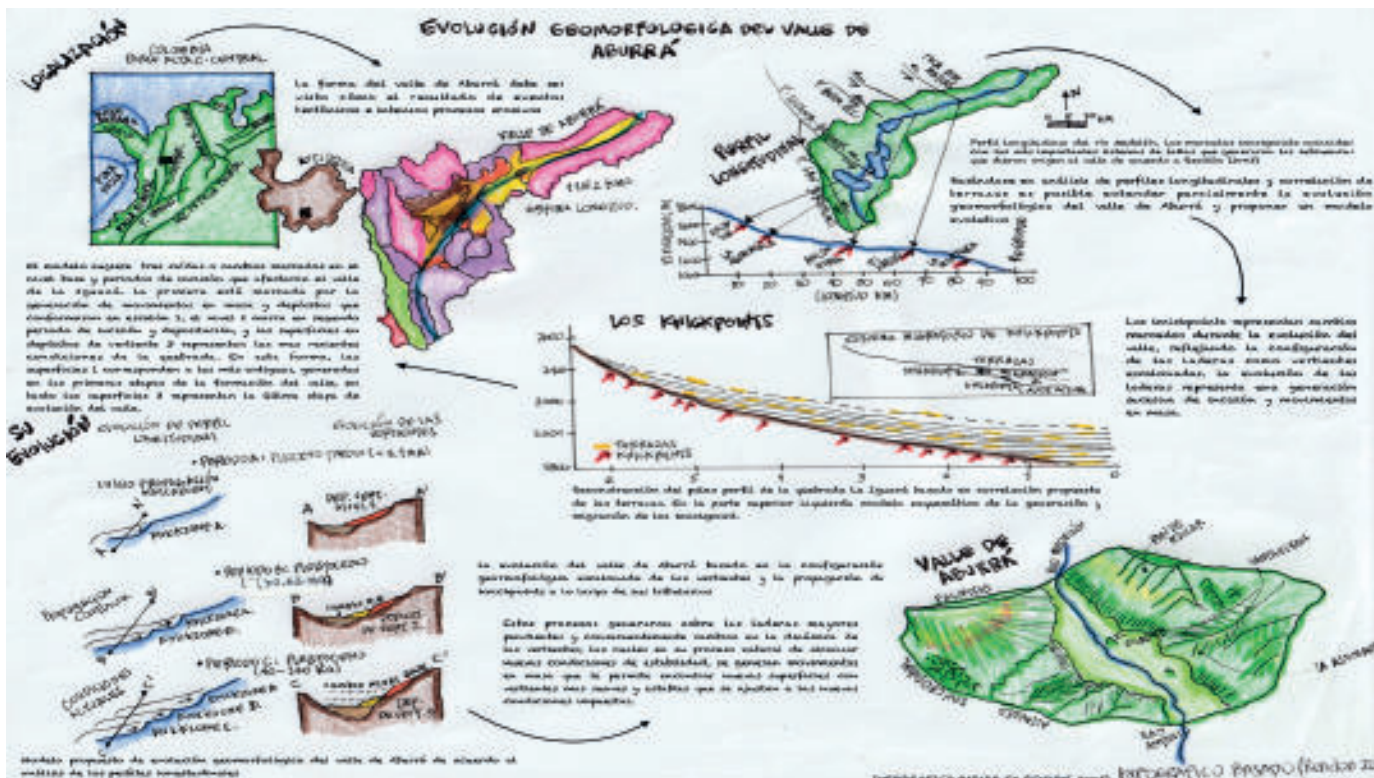


Figura 18. Infográfico sobre la evolución geomorfológica del valle de Aburrá basado en el artículo de Rendón (2003).

5.1.2 Corredor Universitario

Al Campus Georuta (ver capítulo 7 de la presente publicación), es una ruta geológica que consta de 5 estaciones de distintos lugares dentro del campus, los cuales contrastan un alto contenido histórico, cultural y patrimonial, entre los cuales se encuentra: (1) Sitio arqueológico multi-componente en el sector de los Guayabos; (2) un piso con más de 1400 Ma de historia (Biblioteca Diego Echavarría); (3) Parque de los pimientos, bloque de roca caliza que cuentan la historia de la invasiones marinas en el Cenozoico; (4) Terraza del bloque 37 una panorámica hacia el Valle de Aburrá; (5) Parque de la geología, rocas que cuentan la historia de los Andes Colombinos.

Saliendo de la Universidad EAFIT en Metro se puede ir directo hasta la estación Universidad, donde se podrá encontrar la zona de divulgación de ciencia, tecnología y cultura más importante en el sector Norte de Medellín, esta incluye El Museo de la Universidad de Antioquia, el Parque Norte, el Parque Explora, el Parque de Los Deseos y el Planetario Jesús Emilio Ramírez, en este corredor se concentran colecciones: Artes Visuales, Ciencias Naturales, Historia de la Universidad, y Antropología, museos interactivos para la apropiación y divulgación de la ciencia salas Infantiles, auditorios, salas de exposiciones temporales y el acuario de agua dulce más grande de Latinoamérica (que recrea dos ecosistemas en riesgo: el bosque húmedo tropical y los arrecifes de coral); salas explicativas de los fenómenos del universo y un viaje por el cielo de Medellín y el sistema solar.

5.1.3 Corredor Río Medellín y sus Cerros Tutelares

Saenz (2016) define Parques del Río Medellín como un parque lineal localizado en la zona céntrica de la ciudad de Medellín, integrando ambas orillas del río, el cual atraviesa la ciudad de sur a norte. Esta obra integra y contempla el mejoramiento de la infraestructura, el paisajismo y la vegetación, con el fin de convertirse en un corredor de movilidad metropolitana, y un eje principal del espacio público y ambiental, favoreciendo el encuentro ciudadano (Alcaldía de Medellín, 2003). Siendo una estrategia de desarrollo sociocultural y sostenible que trae en la convergencia de varias disciplinas como la arquitectura, la ingeniería, las ciencias sociales y el medio ambiente, y relaciona al río Medellín con la fauna, la flora y los habitantes, ofreciendo mejores posibilidades para la movilidad de los peatones, las bicicletas y los vehículos, que se integra con los demás proyectos de Medellín, en este caso con la visita a los cerros tutelares como el Cerro Nutibara y Cerro el Volador.

El Cerro Nutibara es una formación montañosa de tamaño medio con una composición de roca anfibolítica (roca metamórfica), ubicado en el centro geográfico del Valle de Aburrá, en la margen occidental del río Medellín en medio de la zona urbana, y es uno de los pocos ecosistemas que ha sido conservado en la localidad (Alcaldía de Medellín, 2003). En un principio, en la época de los conquistadores españoles, recibió el nombre de Morro de Marcela de la Parra y luego Morro de los Cadavides (González, 2012). Siguiendo todo el eje del río Medellín a la altura de la Universidad Nacional, sede el volador, se puede ascender al Parque Natural Regional Metropolitano Cerro El Volador, siendo un parque natural, denominado el más grande dentro del área urbana de la ciudad de Medellín que cuenta con un área de 107,13 hectáreas y 82 metros de altura sobre el nivel de la ciudad (González, 2012). Su principal objetivo en cuanto al aspecto arqueológico es rescatar, conservar y difundir "in situ" estas evidencias culturales. Además, contribuir a la recreación de la ciudadanía, pues en este lugar se pueden desarrollar actividades como observación de aves, elevación de cometas, caminatas, ciclismo y picnics o camping. Este cerro tiene una posición de privilegio en medio del Valle de Aburrá pues desde allí se observa el Valle en toda su dimensión.

Junto con el Cerro Pan de Azúcar, Cerro El Salvador, Cerro El Volador, Cerro La Asomadera, Cerro Las Tres Cruces, Cerro El Picacho y el Cerro Santo Domingo, conforma el grupo denominado cerros tutelares de la ciudad de Medellín. Son una red de accidentes geográficos a lo largo del Valle de Aburrá que posee un importante valor histórico, arqueológico, ecológico y turístico dentro de la ciudad (González, 2012).

5.1.4 Corredor ruta de Occidente

Partiendo de la Facultad de Minas, se encuentra El Museo de Mineralogía (también llamado Museo de Geociencias) es una entidad museal sin ánimo de lucro ubicada en la ciudad de Medellín, especializado en la Mineralogía. Gracias a información de la Universidad Nacional sabemos que cuenta con una exhibición permanente de un total de 2.778 ejemplares, sus colecciones son reconocidas por los expertos mineralogistas como unas de las mejores de los museos de Suramérica, sirve de apoyo académico en lo concerniente a las ciencias de la tierra, facilitando a la comunidad geológica y al público en general el libre acceso al mundo de los minerales y las rocas. Adicionalmente, en la facultad de Minas se encuentran las edificaciones Aula Máxima (bloque M5) y el Bloque M3 fueron también diseñados por el Maestro Pedro Nel Gómez y fueron

Declarados Monumentos Nacionales en 1994, cuyo enchapado está hecho en rocas sedimentarias traídas de la cordillera Oriental.

Tomando la vía al Mar antes del túnel de Occidente, se desprende una ruta hacia la antigua vía al Mar y hacia San Pedro de los Milagros, esta última conocida como la ruta de la Leche, por esta se tiene acceso a los altiplanos occidentales que circundan el valle y los altos de Norte a Sur Alto de San Félix, Boquerón (2600 msnm), Alto Las Cruces (2400 msnm) y del Alto Padre Amaya (3100 msnm) hacia San Antonio de Prado. Desde estos lugares se tienen las mejores panorámicas del Valle de Aburrá, donde se divisan los altiplanos Orientales y las superficies de erosión ampliamente explicadas en Rendón (2003).

5.3 Urbanismo sostenible – un sistema de geodiversidad Ex situ

Según Botero (1994) “hace aproximadamente 1500 años, el VA era transitado por tribus de cazadores y recolectores. Cuando llegaron los conquistadores españoles encontraron asentada una numerosa población nativa. Eran Aburraes, Yamesíes, Peques, Ebéjicos, Noriscos y Maníes que estaban allí desde el siglo V, antes de Cristo. Se tenían grandes cultivos de maíz y frijol, criaban curíes; tejían mantas de algodón, comerciaban con sal, y conocían la orfebrería. Bajo el dominio español fueron desplazados de sus tierras”.

El maltrato, las enfermedades y el duro trabajo intenso de la tierra y minería, en pocos años los diezmaron. El valle donde hoy se asienta Medellín, fue descubierto el 24 de agosto de 1541, día de San Bartolomé, por Jerónimo Luis Tejelo. El valle era llamado Valle de Aburrá por los indígenas que lo habitaban y fue llamado por los españoles Valle de San Bartolomé o de Los Alcázares (Latorre, 2006). Los indígenas respondieron con ferocidad según algunos cronistas, resistencia que obligó a Tejelo a atrincherarse para la defensiva y a despachar un expreso al mariscal Robledo pidiéndole auxilio, con el cual salieron victoriosos y salieron los aborígenes. Dicha resistencia fue propiamente de los indígenas que habitaban el caserío de Guayabal, pues los demás que habitaban el valle prefirieron huir o quitarse la vida (Medellín, 1981). En 1826 se le nombra capital de Antioquia, contando en ese año con 6050 habitantes. En los primeros años del siglo XIX la ciudad experimentó un lento desarrollo debido, entre otras cosas, a las precarias vías de comunicación con el resto del país y el exterior. Desde el punto de vista intelectual, material y social se seguían conservando las características de pueblo de incipiente civilización. No fue sino hasta el periodo comprendido entre 1830 y 1850 cuando la ciudad comenzó su desarrollo paulatino (Botero, 1994).

El arranque de la ciudad hacia la modernidad acertó con el acelerado crecimiento de su población, de 20.000 habitantes en el año 1870 a 140.000 en 1938 (Latorre, 2006). La ciudad se estableció como centro de comercio de café, oro y finca raíz e importación de mercancías. Luego al comienzo del siglo XX empezó a reconocerse por su industria (textil, gaseosas, cigarrillos, calzado, entre otras), al aprovechar la presencia de abundantes fuentes hídricas, avances en movilidad y mercados cercanos (Botero, 1994).

Adicionalmente, “Medellín empieza este proceso de urbanización acelerado y no se debe exclusivamente a la industrialización, ya que existen unas complejas razones políticas y sociales como la pobreza y la violencia, generadas por el conflicto armado que ha estado presente en Colombia, incitando a la migración del campo a la ciudad a lo largo del siglo XX, generando un crecimiento exponencial de la población en las zonas urbanas. Causando que hoy en día el 58% de la población habite en el área metropolitana, y de este el 67% habite en Medellín, de los cuales el 61,3 por ciento nacieron en la ciudad, el 38,4 por ciento en otro municipio y el 0,3 por ciento son de otro país” (Latorre, 2006).

El crecimiento acelerado y desordenado en algunos sectores de la Urbe, hace necesario la búsqueda del desarrollo sostenible en un concepto multidimensional que involucra, por lo menos tres dimensiones: lo ambiental, lo económico y lo social (Teviño y Sánchez, 2009); en este sentido el desarrollo sostenible aplicado al urbanismo implica que ese límite urbano se proteja para que se dé una relación sistemática entre la naturaleza y el ser humano, implementando tres aspectos, donde lo urbanístico ocasione el mínimo impacto en el medio y el espacio donde ha de desarrollarse la ciudad proponiendo consumir la cantidad menor de recursos y energía y generar la menor cantidad posible de residuos y emisiones. En este sentido el urbanismo también debe buscar la restauración ambiental, implementando ordenamiento ecológico como estrategia para ordenar las actividades económicas de la ciudad, así como el uso racional del territorio, hacer congruente la vocación territorial con las actividades productivas y las construcciones de la ciudad, las diferentes intervenciones y funciones que se prevén para un territorio determinado y el desarrollo socioeconómico equilibrado entre regiones. En lo económico un desarrollo urbano viable, significa que no deberá comprometer más recursos que los estrictamente necesarios en los proyectos de desarrollo y a la vez éstos deben aportar una ventaja económica a la ciudad y sus habitantes, donde evidentemente se incluye la generación de empleos y elevar la competitividad de la urbe, con la intención de ir generando la equidad económica entre la sociedad

(Teviño y Sánchez, 2009). **Contemplando el bienestar** de la sociedad que responda a las demandas sociales de su entorno, mejorando la calidad de vida de la población, y asegurando la participación ciudadana en el diseño del valle. La integración holística en el urbanismo sostenible entiende que las condiciones para mejorar la calidad de vida en la ciudad se basan en los determinantes físicos del medio ambiente, y en el mejoramiento de las condiciones de vida humana por lo que se requiere un progreso económico y un desarrollo social (Pérez, 2014).

En ese sentido, la cuantificación de la geodiversidad y las propuestas de georutas propuestas en el presente estudio, se convierten en una herramienta de planificación, hacia un urbanismo sostenible designando áreas de intervención y modificación donde se pretende armonizar viviendas con paredes más verdes, construcciones más consientes, corredores verdes, geo rutas de conocimiento y de geo conservación, con el fin de ayudar a estructurar en el territorio metropolitano un tejido residencial consolidado o en proceso de consolidación y los suelos rurales en proceso de establecer un desarrollo sostenible y compatible con el entorno rural, junto a la priorización de paisajes.

6. CONCLUSIONES

El análisis procedente de este trabajo propuso un procedimiento unificado para la cuantificación de la geodiversidad a través de mapas ráster de agregación de componentes del medio natural, como una base evaluativa multicriterio o a criterio del experto. El método adoptado logró buenos resultados que reflejaron un paisaje extremadamente variado dentro del valle de Aburrá. Los mapas producidos de acuerdo con un procedimiento dado, pueden encontrar una amplia gama de aplicaciones, como lo son el categorizar zonas de alto valor geodiverso y darle prioridad a la hora de hacer un plan de conservación.

En comparación a otros trabajos como lo son el estudio de geodiversidad que se uso para cuantificar la geodiversidad de Creta, Grecia por los autores Argyriou, A., et al, 2016; estudios de valoración de la geodiversidad y su importancia por el autor Gray 2013-2018; El estudio de geodiversidad y biodiversidad del paisaje postglacial del río Dębnica, Polonia por Najwer, A., et al, 2016; entre otros. El presente estudio contó con un DEM con una escala de resolución de 2x2 y mapas geológico y geomorfológico en escala 1:10.000, lo cual se convierte en una ventaja para resaltar la geodiversidad en el VA, dándoles un valor agregado a la zona, que no solo alberga en su interior una amplia geodiversidad in-situ, sino también ex-situ como se mencionó en las georutas propuestas: Ruta Universitaria y ruta del río Medellín.

La resolución de datos geoespaciales (2 m x 2 m) permite el uso de los mapas creados principalmente para el análisis de la evolución del paisaje a una escala detallada, con fines de planificación. Esto implica la preparación de proyectos para el desarrollo del área local, planes de prevención y cuidado de zonas con alta diversidad abiótica, como también rutas ecológicas del paisaje integrando turismo con la importancia geológica del sistema.

En estos últimos años se han venido desarrollado diversas metodologías para evaluar la geodiversidad (Carcavilla et al., 2007; Bruschi, 2007; Serrano y Flaño, 2007), con el fin de proporcionar herramientas objetivas para la geoconservación y gestión del patrimonio abiótico. En este trabajo, hemos probado índices de diversidad de paisajes (MacGarigal et al., 2002), para evaluar la geodiversidad a nivel municipal en Valle de Aburrá. Los resultados indican que estos índices de diversidad espacial pueden ser de gran utilidad para evaluar y determinar el manejo de tierras valiosas desde el punto de vista de la naturaleza, así como para delimitar nuevas formas de preservación de esta. El procedimiento puede convertirse en una herramienta muy útil ya que es universal y sirve para facilitar la gestión adecuada de los recursos del entorno natural con el fin de establecer un geoparque ó una georuta, así como el turismo y especialmente el geoturismo. Es de esperar que los resultados de la investigación presentados se utilicen en el desarrollo del valle en cuanto a geoconservación de nuestros cerros, panorámicas del valle y de las empinadas laderas. De un modo subjetivo a partir de mapas factoriales y totales de geodiversidad y biodiversidad, es posible presentar acciones que permitan prevenir, minimizar o compensar el impacto negativo sobre el medio natural.

7. REFERENCIAS

AMVA (2015). Zonificación sísmica del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Alcaldía de Medellín (2003), Medellín, Guía Turística y de Desarrollo Urbano, Impreso por Especial Impresores, Medellín, pp. 52, 75, 77. ISBN 958-33-5064-8

Aristizabal, E., Barry, R., & Yokota, S. (2005). Tropical chemical weathering of hillslope deposits and bedrock source in the Aburrá Valley, northern Colombian Andes Author links open overlay panel. En Engineering Geology (págs. 389-406).

Argyriou, A. V., Sarris, A., y Teeuw, R. M., 2016. Using geoinformatics and geomorphometrics to quantify the geodiversity of Crete, Greece. International journal of applied earth observation and geoinformation, 51, 47-59.

Barthlott W., Biedinger N., Braun G., Feig F., Kier G., Mutke J., 1999. Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of the global biodiversity. Acta Botanica Fennica 162: 103–110.

Benito-Calvo, A., Pérez-González, A., Magri, O., & Meza, P., 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. Earth surface processes and landforms, 34(10), 1433-1445.

Botero, G., 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia. Anales de la Facultad de Minas. 57, 101 p. Medellín.

Botero, Fabio (1994). Cien Años de la Vida de Medellín. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. ISBN 958-655-319-1.

Brilha, J., 2018. Geoheritage: inventories and evaluation. In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), Geoheritage: Assessment, Protection, and Management. Elsevier. Amsterdam, 1, 69-86.

Bruschi VM. 2007. Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad, PhD Thesis, Universidad de Cantabria, Santander; 355

Carcavilla et al., 2011 L. Carcavilla, A. Belmonte, J. Duran, A. HilarioGeoturismo: concepto y perspectivas en España. Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra: Revista de La Asociación Española Para La Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra.

Carcavilla y Luis. 2012. Geoconservación. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Cardenas y Restrepo 2006 J. Cardenas, C. Restrepo. Patrimonio Geológico y Patrimonio Minero de la Cuenca Carbonífera del Suroeste Antioqueño, Colombia. Boletín de Ciencias de La Tierra.

Calonge et. al., 2013 A. Calonge, G. Fermeli, G. Meléndez, C. Carvalho, J. Rodrigues. La importancia de las geo-rutas en la enseñanza de la geología. Cuadernos del museo geominero Vol (2013)

Conacher, A.J., Dalrymple, J.B., 1977. The nine-unit landsurface model: an approach to pedogeomorphic research. Geoderma 18, 1–154.

Chorley RJ, Schumm SA, Sugden DE. 1984. Geomorphology. Methuen & Co: London; 605 pp.

Christian, C.S., Stewart, G.A., 1952. Summary of general report on survey of Katherine-Darwin region, 1946. In: Land Research Series 1. CSIRO, Australia, pp. 24.

Duff k., 1994. Natural Areas: a holistic approach to conservation based on geology. Geological and Landscape Conservation: 121–126. London.

F. Ego, M. Sebrier Is the Cauca–Patia and Romeral fault system left- or right-lateral? Geophys. Res. Lett., 22 (1995), pp. 33-36

González R., Hernando (30 de abril de 2012). Los Cerros Tutelares de Medellín. El Colombiano. p. www.elcolombiano.com

Gray, M., 2013. Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature, second ed. Wiley Blackwell, Chichester

Gray, M., 2018. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In Geoheritage. Elsevier, 1, 13-25.

GSM—Grupo de Sismología de Medellín, 2002. Microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá y definición de zonas de riesgo por movimientos en masa e inundaciones. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Internal report, Chapter 3: Geología del Valle de Aburrá, 76 pp.

Hermelin, M. 2015. Landscapes and landforms of Colombia. Landscapes and Landforms of Colombia.

Henao Casas, J. D., & Gasper Monsalve. (2018). Geological inferences about the upper crustal configuration of the Medellín – Aburra Valley (Colombia) using strong motion seismic records. En *Geodesy and Geodynamics* (págs. 67-76). Medellín, Antioquia: KeAi Chinese Roots global impacts.

Ingeominas. (2005). GEOLOGIA DE LA PLANCHA 147 MEDELLÍN ORIENTAL. Medellín.

Latorre Mendoza, Luis (2006). Historia e historias de Medellín. Editorial Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín. ISBN 958-97823-2-9.

Marín 2016 M.I. Marín Cerón. Georutas y patrimonio geológico en los alrededores de Medellín- Universidad EAFIT

Marín Cerón y Arboleda 2018 M.I. Marín, M. Arboleda. Georutas en las centrales hidroeléctricas de ISAGEN. Universidad EAFIT. Escuela de Ciencias, Departamento de Ciencias

M. Maya, H. Gonzalez Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia
Bol. Geol. Inst. Investig. Geocienc., Miner. Quim. Ingeominas, 35 (1995), pp. 43-57
Medellín, su Origen, Progreso y Desarrollo. Servigraficas, Medellín. 1981. ISBN 84-300-3286-X.

Medina y Monge 2012 M. Medina, M. Monge. Estrategia de Geodiversidad de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. España: León.

Morales 1998 J. Guía práctica para la interpretación del patrimonio: el arte de acercar el legado natural y cultural al público visitante. (Junta de Andalucía, Ed.). Sevilla - España.

Najwer, A., Borysiak, J., Gudowicz, J., Mazurek, M., Zwolinski, Z., 2016. Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (Debnica river catchment, Poland). *Quaest. Geogr.* 35, 5-28.
NOROCCIDENTE, A. S. (2017). PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS REGIONAL. Medellín.

Page 1992 N. Page. Site information boards for geological and geomorphological SSSIs.
Pardo 2004 P. Santano. ¿Qué actividades proponen los libros de texto elaborados para enseñar Geología?

Ratajczak-Szczerba M., 2013. Geo- i bioróżnorodność doliny Środkowej Noteci i doliny dolnej Gwdy szansą rozwoju eoturystyki. *Acta Geographica Silesiana* 14: 71–86.

Rendón, D.A., 2003, Tectonic and sedimentary evolution of the upper Aburrá Valley, northern Colombian Andes, Unpublished MS thesis, Shimane University, 135 pp.

Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., 1984. Unidades Litológicas de los alrededores de Medellín. Mem Primera Conf Riesgo Geol. V. de A., Medellín, 20 pp.

Sáenz, Laura (19 de octubre de 2016) ¿En qué está el proyecto Parques del Río en Medellín?

Serrano, E., Flaño P., 2007. Geodiversity: concept, assessment and territorial application. The case of Tiernes-Caracena. *Boletín de la AGE* 45, 389–393.

Serrano, E., y Ruiz-Flaño, P., 2009. Geomorphosites and geodiversity. In: Reynard, E., Coratza, P., Regolini-Bissig, G. (Eds.), *Geomorphosites*. Pfeil, München, 1, 49-61.

Serrano, E., y Ruiz-Flaño, P., 2007. Geodiversity: concept, assessment and territorial application. The case of Tiernes-Caracena (Soria). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 45, 389-393.

SCHEIBE, R., 1934 (elaborado en 1919). Informe sobre resultados de la Comisión Científica en Antioquia. *Compilación Estudios Geológicos Oficiales en Colombia*. 1: 97 –167. Bogotá.

Tavera et al., 2017 M. Tavera Escobar, N. Estrada Sierra, C. Errázuriz Henao, M. Hermelin. Georutas o itinerarios geológicos: un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía.

Toro, G., 1999. Téphrocronologie de la Colombie centrale (département d'Antioquia et abanico de Pereira). Tesis Doctoral Universidad Joseph Fourier, Grenoble, Francia, 250 P.

Universidad Nacional de Colombia- sede Medellín. Convenio de cooperación No 652 de 2005. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá.

W. McCourt, J. Aspden, M. Brook New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion
J. Geol. Soc., 141 (1984), pp. 831-845

Wimbledon 1996 W. Wimbledon, S. Anderson, Christopher, J.C Geological World Heritage: GEOSITES a Global Comparative Site Inventory to Enable Prioritisation for Conservation. In The Second International Symposium on the Conservation of the Geological Heritage. Roma.

Zwoliński, Z., Najwer, A., y Giardino, M., 2018. Methods for assessing geodiversity. In Geoheritage. Elsevier, 1, 27-52.

CAPÍTULO 5.

ÁREA PROTEGIDA ENSENADA DE RIONEGRO (ANTIOQUIA): ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EROSIÓN CON MIRAS A LA GEOCONSERVACIÓN

Juan Fernando Zapata Herrera¹, María Isabel Marín-Cerón¹, Miguel Ángel Tavera-Escobar¹.

¹*Grupo de Geología Ambiental y Tectónica, GAT, Universidad EAFIT, Medellín
Semillero de investigación Geología Regional y Geoquímica: línea de
geoconservación - Email: jzapat54@eafit.edu.co; mmarince@eafit.edu.co*

RESUMEN

En la legislatura colombiana no existe una claridad de la importancia de la geología en las áreas protegidas, desconociendo el vínculo entre los factores bióticos y abióticos. Para explorar estos vínculos de manera comparativa se cuantificó la erosión en dos escenarios, en el Área Protegida Ensenada de Rionegro (APER), en el municipio de Necoclí. Para esto se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG), para un análisis cuantitativo y cualitativo entre 1992 y 2019. En la APER se aplicó una matriz de proximidad para los cambios de coberturas, modelación para escenarios de erosión en condiciones prístinas y antrópicas, así como la zonificación de zonas de riesgo por erosión. Se concluye que los ecosistemas de la APER se ven afectados por el aumento en la producción de sedimentos (+33%) por intervención antrópica, así como el aumento de zonas de riesgo por pérdida de suelo (109 t/ha-año).

ABSTRACT

In the Colombian legislature there is no clarity of the importance of geology in protected areas, ignoring the link between biotic and abiotic factors. To explore these links in a comparative way, erosion was quantified in two scenarios, in the Ensenada de Rionegro Protected Area (APER), in the municipality of Necoclí. For this, Geographic Information Systems (GIS) were used for a quantitative and qualitative analysis between 1992 and 2019. In the APER, a proximity matrix was applied for changes in coverage, modeling for erosion scenarios in pristine and anthropic conditions, as well as such as the zoning of erosion risk areas. It is concluded that the ecosystems of the APER are affected by the increase in sediment production (+ 33%) due to human intervention, as well as the increase in risk areas due to soil loss (109 t / ha-year).

INTRODUCCIÓN |

La geoconservación se ha destacado en los últimos años como una de las ciencias emergentes más importantes dentro de las Ciencias de la Tierra (p.e. Henriques et al. 2011; Gordon et al., 2012; Gray, 2013; Gray et al., 2013; Crofts and Gordon, 2015; Díaz-Martínez y Fernández-Martínez, 2015), tanto por su valor propio, como por importancia complementaria a la biología para la conservación de los ecosistemas (McNeely and Miller, 1984; Nelson and Serafin, 1997). Sin embargo, la legislación colombiana con respecto a las áreas protegidas, si bien propende por la integridad de los ecosistemas, no tiene en cuenta los factores abióticos. La International Union for Conservation of Nature IUCN, por ejemplo, desde hace más de una década reconoce el vínculo entre actividades antrópicas (Dudley, 2008), el modelado del paisaje y el equilibrio de los ecosistemas (Gordon et al., 2018), así como la comprensión generalizada de las amenazas de origen natural (p.e. movimientos en masa, el hundimiento de los karst y la erosión de los suelos. Sharples, 1995). Adicionalmente, diversos autores (e.g. Dunne, 1979; Douglas, 1996; Vörösmarty et al., 2003; Syvitski et al., 2005; Restrepo and Syvitski, 2006; Syvitski and Kettner, 2011) hacen énfasis en la influencia de los cambios de las coberturas vegetales, sobre el cambio en el flujo de sedimentos y el aumento en la erosión.

Para el correcto manejo y administración de las áreas protegidas se hace necesario que estos cambios sean monitoreados y calculados (modelado matemático), de manera que los múltiples impactos sobre los servicios ecosistémicos y la biodiversidad (Sala et al., 2000; Margules and Pressey, 2000; Liu et al., 2001), la degradación de los suelos (Lal et al., 1989; Trimble and Crosson, 2000; Jie et al., 2002, Alkharabsheh et al., 2013), sean evitados o minimizados, a fin de evitar incluso a que la capacidad de los ecosistemas para sostener la vida humana pueda verse afectada (Vitousek et al., 1997).

El presente texto intenta evidenciar los efectos de una inadecuada planificación de la APER al no ser tenida en cuenta la influencia antrópica sobre los procesos naturales y las conexiones entre la biología y la geología a la hora de definir o administrar las áreas protegidas. Partimos de la siguiente hipótesis: La APER presenta cambios (multidecadales) en sus condiciones prístinas que se ven reflejados en un mayor aporte de sedimentos en suspensión de acuerdo con los observados en cuencas de características

morfométricas y climáticas similares con afectaciones humanas comparables. El objetivo general es realizar un análisis cuantitativo multitemporal de la erosión del suelo y sus implicaciones en el manejo integrado del Área Protegida Ensenada de Rionegro. Tomando como caso de estudio esta (APER), la cual sufre una problemática ligada al cambio de los usos del suelo derivado de la expansión de la frontera agrícola, expresado en el aumento de las zonas de cultivo y pastoreo, junto con la aplicación de técnicas tradicionales poco tecnificadas e inadecuadas tales como la tala y quema de bosques nativos. Adicionalmente, al ser una zona costera, la acentuada problemática de pérdida de suelo afecta algunos ecosistemas litorales (e.g., Blanco-Libreros, 2016) debido a procesos de erosión o sedimentación asociado a la influencia antrópica (Posada, 2011).

El Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) de la Ensenada de Rionegro, Los Bajos Aledaños, Las Marismas de Marimonda y el Salado está ubicado cerca del municipio de Necoclí, Golfo de Urabá, Caribe Sur de Colombia (Figura 1). Esta área protegida es una de las reservas de biodiversidad más importantes de la zona, con una importante riqueza en manglares representada por siete órdenes (Corpourabá, 2003), diecinueve especies de mamíferos, como *Didelphis marsupialis*, *Tamandua tetradactyla*, *Ciclopes didactylus* y *Bradypus variegatus*, veintitrés especies de reptiles entre los cuales se pueden encontrar tortugas en peligro crítico como *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Dermochelys coriácea* y *Chelonoidis carbonaria* (CORPOURABÁ, 1999; Támara et al., 2018).

INTRODUCCIÓN |

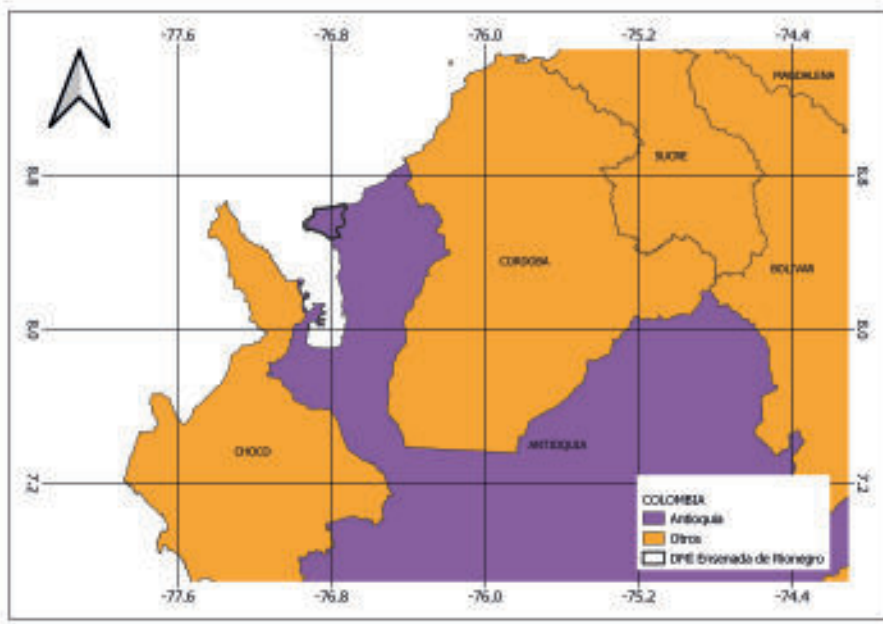


Figura 1. Mapa de ubicación de la APER

Los resultados obtenidos indican que los procesos de ocupación territorial de la APER, así como el aprovechamiento de sistemas naturales, han hecho que se aumente su grado de intervención, siendo las actividades agropecuarias las de mayor peso, generando fenómenos como la fragmentación de los bosques por la deforestación (CORPOURABÁ-DAMA, 2007). Estos cambios en las coberturas nativas han sido parte de las dinámicas de ocupación de territorio, derivadas del desplazamiento de la población principalmente debido a la violencia que ha azotado a la zona históricamente.

Finalmente, haciendo uso combinado de los modelos ART, BQART y RUSLE, se encontró que entre 1992 y 2019 la APER sufrió cambios en sus coberturas nativas, por la expansión de la frontera agrícola, expresado en un aumento drástico en pastizales para ganadería, así como remplazo de bosque nativo por cultivos silvícolas. También se calculó el incremento en los sedimentos disueltos en un escenario de intervención total (0.25 Mt/y), frente a la producción en condiciones prístinas (0.19 Mt/y, comportamiento comparable a cuencas de condiciones climáticas y de área en la zona del Urabá, obtenidos por Restrepo y Kjerfve, 2004), el incremento total fue de un 33.16 %, comparable al aumento promedio del 30 % que sufrió la cuenca del Magdalena y sus subcuencas a causa de la deforestación. Así mismo, se definió por medio del modelo RUSLE que las zonas con riesgo más alto de erosión son mayores en 2019 que en 1992, con un incremento progresivo hacia el 2019, concentrado en el sur de la APER, así como los bordes de las ciénagas de la Marimonda, el Salado y el Río Negro.

2. MODELAMIENTO ART, BQART Y RUSLE

La aplicación de modelos matemáticos es una herramienta útil para la apropiada delimitación y el correcto manejo de las áreas protegidas, puesto que permiten conocer la magnitud de los fenómenos naturales y de las intervenciones de origen antrópico, y si estas tienen algún tipo de incidencia sobre los ecosistemas.

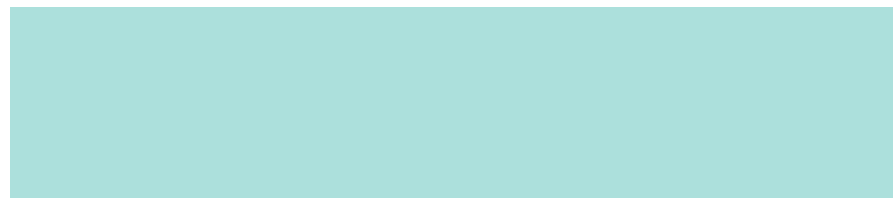
El modelo **ART** es un modelo matemático basado en la topografía, la temperatura promedio anual, condicionada por latitud y el área o caudal promedio, fue planteado por Syvitski y otros (2003) para calcular el flujo de sedimentos a largo plazo desde las cuencas hacia el océano. Este modelo ha sido propuesto para calcular la carga y producción de sedimentos en cuencas en condiciones preantropocénicas o prístinas (Syvitski et al., 2005a). El transporte de sedimentos es la primera pista para saber que el paisaje está evolucionando. El transporte de sedimentos puede ser usado para entender los impactos de actividades antrópicas como la minería, deforestación y las prácticas agrícolas (Oldeman et al., 1991). Las cuencas fluviales cambian a través del tiempo, siendo que en los ríos modernos, están influenciados tanto por sus condiciones antiguas como aquellas que son influencia directa del ser humano.

En cuanto al modelo **BQART** es un modelo analítico modificado con algoritmos empíricos, planteado por Syvitski y Milliman (2007), como un predictor más completo del flujo de sedimentos que el modelo ART, puesto que ahora se tiene en cuenta la influencia de factores tales como la geomorfología, la geología, la tectónica y la influencia antrópica. Estimar la redistribución de la carga de sedimentos es importante debido a que expresa los cambios en los agentes de la erosión, así como el transporte, deposición y cambios en el paisaje (Walling y Fang, 2003).

El modelo **RUSLE** utiliza la ecuación universal revisada de pérdida de suelo, que es una actualización del modelo USLE, propuesto para conocer la pérdida de suelo por erosión laminar y erosión en surcos a fin de proporcionar una guía para las decisiones metodológicas en el planeamiento de conservación. Esto lo hace combinando la influencia de varios factores tales como prácticas de control de erosión, sistemas

de cultivo o técnicas de conservación en un lugar en particular (Renard 1997). Desglosando el modelo, se hace necesaria la definición de los siguientes parámetros: Fuerza erosiva de la lluvia (R), este factor refleja el efecto de la fuerza de la lluvia sobre la erosión del suelo, siendo que, partículas de suelo depende en gran medida del impacto de las gotas de lluvia, de manera que varía según la intensidad de la lluvia y el tamaño de las gotas, de manera que, si bien en este estudio no pudo ser realizado debido a la falta de registros en la zona de estudio, es necesario calcularlo para cada variación climática, dentro de los ciclos intermensuales, interanuales e interdecadales.

El factor de erodabilidad del suelo K representa la susceptibilidad de un suelo o superficie de material a la erosión, siendo que depende de las propiedades derivadas de la textura del suelo, aunque otros factores como la materia orgánica y la estructura también influyen (Montoya et al., 2005). Los factores L y S (Simms et al., 2003), representan la influencia topográfica y define los efectos del ángulo y longitud de la pendiente en la erosión laminar y de cárcavas, este factor es el más difícil de definir, debido a que envuelve juicios subjetivos. El factor L (longitud de la pendiente) se define como el punto donde comienza el flujo al punto donde la pendiente se suaviza y se inicia la acumulación, o donde el flujo de agua se concentra en un canal bien definido. El factor C al igual que el P se define a partir de las coberturas presentes en cada año, siendo los únicos factores que cambian para cada año de este estudio. El factor P es resultado de conjugar el uso del suelo con la pendiente, y representa la tasa de pérdida de suelo, se estima que al implementar medidas de conservación se logra reducir la pérdida de suelo.



3. METODOLOGÍA

El flujograma metodológico (Figura 2) muestra la conceptualización del proyecto en general, conformado por tres objetivos específicos: (a) conformación de la base de datos para la caracterización y análisis multi-temporal de cambios de la cobertura vegetal; (b) modelamiento ART; (c) modelamiento BQART y (d) modelamiento RUSLE. Cada uno se describe a continuación con su desarrollo metodológico.

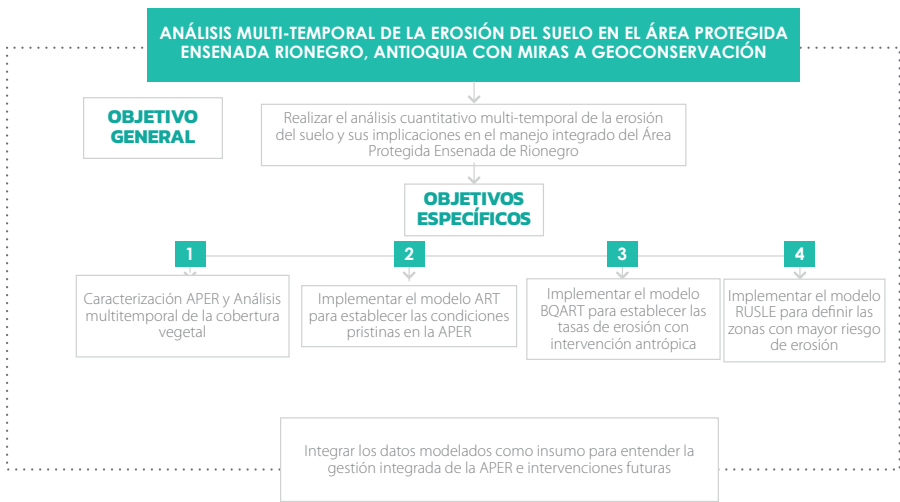


Figura 2. Conceptualización del proyecto con el objetivo general y específicos

3.1 Caracterización APER

Se construyó una base de datos de la información cartográfica secundaria, con el fin de estructurar y almacenar datos georeferenciados, siguiendo la arquitectura de GBD del software ArcGis. La recopilación de la información bibliográfica, permitió caracterizar climatológica, geológica, geomorfológica, edafológicamente la APER, a partir de la información secundaria escala 1:100.000 (p.e. Ceccherini et al., 2015; Gómez et al, 2015; IDEAM (2010).

3.2 Análisis multi-temporal de la cobertura vegetal

Para poder comparar las coberturas digitalizadas en este estudio se emplearon nueve Land Use/Land Cover (LULC): (1) bosque, (2) agricultura, (3) pastizales, (4) arbustos, (6) humedales y (7) agua (Tabla 1). La matriz de detección de cambios para el periodo entre 1992 y 2019 se generó usando el método píxel por píxel, procesados todos los datos en ArcGIS 10.5. Este procesamiento incluye la asignación de un mismo sistema de coordenadas, reducción al área específica de la APER y conversión a ráster con una misma resolución de 30mx30m. Posteriormente estos rústeres fueron convertidos a puntos y sus tablas de datos se procesaron por medio de condicionales en Microsoft Excel.

Tabla 1. Reclasificación de las coberturas vegetales (LULC)

Índice	Categoría
1	Árboles
2	Agricultura
3	Pastizales
4	Arbustos
5	Vegetación esparcida
6	Humedales
7	Urbano
8	Suelos desnudos
9	Agua
10	Hielo

3.3 Modelo ART

Para la zona de estudio se empleó la ecuación 1, la cual describe la carga de sedimentos disueltos (Kg/s), A es el área de la cuenca (Km²), R representa el relieve, desde el nivel del mar hasta la cota máxima (m), T es la temperatura promedio de la cuenca (°C), y son índices que se encuentran en la tabla (2).

$$Q_s = A^{\alpha_4} R^{\alpha_5} e^{kT} \text{ (ecuación 1)}$$

Tabla 2. Coeficientes de regresión para la ecuación

Coeficientes de regresión	α_3	α_4	α_5	k
Global SectorTropics N Lat 0°-30° N	0.31	0.4	0.66	-0.1

3.4 Modelo BQART

Este modelo se aplicó siguiendo las ecuaciones 1 y 2 donde hace ajustes mínimos para aplicarlos a nivel de subcuenca. Donde B se define según la ecuación 3. La carga de sedimentos disueltos a largo plazo (kg/s, usando como constante de conversión proporcional = 0.02), es el caudal de agua a largo plazo (Q), A es el área de la cuenca (Km²), R es la diferencia altitudinal entre el punto más alto de la cuenca y el sitio de descarga (km), es la temperatura promedio anual dentro de la cuenca (°C), I es el factor de erosión glaciár, L representa el factor litológico de toda la cuenca, es la eficiencia de retención de sedimentos en los reservorios y embalses, es el factor de erosión por influencia antrópica, para este estudio se entiende que es por influencia directa de la deforestación.



Para el cálculo del caudal de la APER, se emplearon la ecuaciones 4 y 5, donde Θ es la escorrentía (mm/año), P, es la precipitación media anual (mm/año), obtenida a partir del cálculo del promedio de datos de precipitación de una estación meteorológica del IDEAM, cerca de la zona de estudio, E es la evapotranspiración promedio (mm/año), obtenida a partir de la misma estación del IDEAM y S es el almacenamiento medio anual, que al no disponer de información en la zona no se tuvo en cuenta. Q, es el caudal medio anual (m³/s), Θ es la escorrentía (mm/año) y A es el área de la APER (km²).

$$Q_s = \omega B Q^{0.31} A^{0.5} R T \text{ para } T \geq 2^\circ\text{C} \text{ (ecuación 2)}$$

$$B = IL(1 - T_E)E_h \text{ (ecuación 3)}$$

$$\Theta = P - E \pm S \text{ (ecuación 4)}$$

$$Q = \Theta / A \text{ (ecuación 5)}$$

3.5 Modelo RUSLE

La aplicación del modelo RUSLE se expresa matemáticamente con la ecuación (6), donde A es la pérdida media anual del suelo en un punto específico (t/ha.yr). Los parámetros LS, K, R, C y P se describen a continuación:

$$A = LS * K * R * C * P \text{ (ecuación 6)}$$

3.5.1 Fuerza erosiva de la lluvia (R)

Para el caso de Colombia, Pérez (2001) establece una relación a partir de datos de precipitación media multianual en la ecuación (x), empleable en zonas cuya precipitación media anual sea superior a los 1240 mm/año, condición que se cumple la zona de estudio, pues a partir del ráster de precipitaciones, se observa que los valores varían entre 1867.1 y 2911 mm/año. Dónde R es la fuerza erosiva de la lluvia y Pma es la precipitación media anual de la zona de estudio. Posteriormente esta ecuación fue aplicada al ráster de precipitación (tomado de Ceccherini et al., 2015) analizado en ArcGIS.

3.5.2 Erodabilidad del suelo (K)

Para la zona de estudio se empleó la información del mapa de texturas del suelo del IDEAM escala 1:100.00, posteriormente los valores asignados para el factor K (Tabla 3).

Tabla 3. Valores empleados para el factor K

Símbolo	Clases	Textura	Factor K
L	Livianos a gruesos	*Arenas (excepto arenas muy finas) *Arenas francas arcillosas y franco arcillosas con predominancia de agregadas estables > 3 mm de diámetro	0.016
M	Medianos a moderadamente gruesos	*Franco arenosa *Franco arcillo-arenosa	0.033
P	Pesados o finos	*Arcilla arenosa *Arena muy fina	0.056
MP	Muy pesados o muy finos	*Franco arcillosa *Arcillosa *Franco limoso *Limo *Franco arcillo-limoso *Arcillo-limoso	0.075

Fuente (Posada 2011 tomado de León, 2001, p 38)

3.5.3 Factor topográfico (LS)

Para el cálculo del factor LS, se usó la ecuación 7 (Simms et al., 2003 y adaptada para ArcGis por Alkharabsheh et al., 2013 y Ganasri y Ramesh 2016).

$LS = ((\text{Flow accumulation}) \times \text{tamaño de celda}) / 22.13^{0.6} \times ((\text{Sin Slope}) \times 0.01745) / 0.0896^{1.3}$ (ecuación 7)

3.5.4 Factor de cobertura y manejo del suelo (C)

Los valores tomados para cada cobertura se presentan en la tabla (4). Para la cuenca se usaron los valores propuestos por Shi et al. (2002), los cuales han sido usados en cuencas del Urabá por Posada (2011).

Tabla 4. Valores para el factor C.

Cobertura	Factor C
Bosque	0.002
Mangle	0.006
Rastrojo alto	0.006
Rastrojo bajo	0.014
Pastos	0.11
Suelo erosionado	1
Suelo urbanizado	1
Cultivos(básicamente palma, plátano)	0.11
Mosaico pastos, cultivos	0.11
Mosaico pastos, suelo natural	0.014

Fuente (Posada 2011 tomado de Shi y otros 2002, p 39)

3.5.5 Factor de protección de las coberturas (P)

De igual manera que con el factor C se adaptaron los valores propuestos por Shi et al. (2002) usados en Posada (2011) representados en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores tomados para el factor P

Uso	Factor P	Pendiente (%)
Uso agrícola	0.11	0 a 5
	0.12	5 a 10
	0.14	10 a 20
	0.22	20 a 30
	0.31	30 a 50
	0.43	50 a 100
Urbano	0	Todas
Otros usos	1	Todas

Fuente (Posada 2011 tomado de Shi y otros 2002, p 40)

4. RESULTADOS

4.1 Caracterización APER

La APER, presenta una precipitación media anual (pma) que varía entre los 1867.1 mm/año hasta los 2911.24 mm/año. Las menores precipitaciones se establecen hacia el borde Este de y las mayores hacia la línea de costa (Ceccherini et al., 2015; Figura 3a).

Geológicamente, la APER se encuentra en su mayoría dominada por depósitos marino – aluviales. Al Este, se observa una estructura sinclinal, en cuyo núcleo afloran las Arenas Morenas de la Formación Corpas (Plioceno); en los flancos están expuestos los estratos de la

unidad Pavo superior de la Formación Floresanto (Langhiense). En general, estas formaciones están afectadas por la Falla Congo que se encuentra al Sureste (Gómez et al. (2015); Figura 3b).

A nivel geomorfológico, se identifican tres unidades: planicies aluviales y marinas, zona de manglar y cerros aislados (testacándose tres pequeños cerros: uno hacia el borde litoral y hacia borde Este y el cerro del Águila el más importante como atractivo ecoturístico debido a su vista panorámica (IDEAM, 2010; Figura 3c). Se observa una gran variabilidad de unidades de suelos. Las unidades más representativas son: xxx. Se caracterizan por tener espesores entre X y Y, con buen drenaje y alta fertilidad, dichas características los hacen ideales para cultivos como el banano v el coco (Figura 3d).

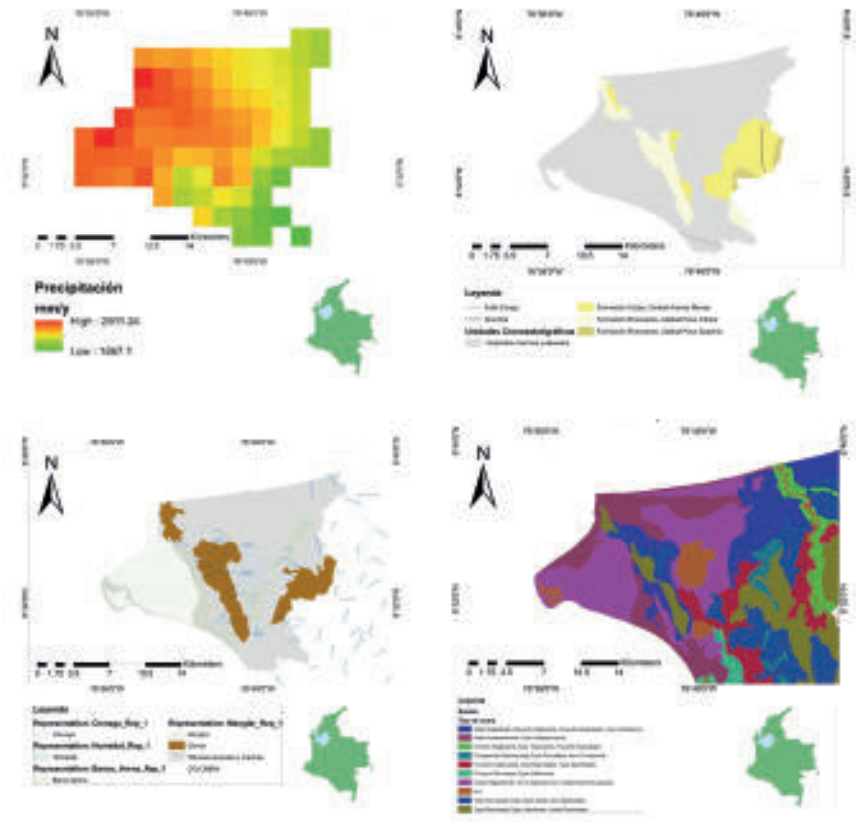


Figura 3. A Mapa de precipitaciones de la APER, tomado de Ceccherini et al. (2015) B. Mapa geológico de la APER modificado de Gómez et al. (2015) C. Mapa geomorfológico de la APER. D. Mapa de suelos, IDEAM (2011)

4.2 Cambios de cobertura vegetal

El análisis multi-temporal se basó en la identificación de los cambios de coberturas se construyó una matriz de aproximación de los cambios de LULC entre 1992 y 2019. Para esto se usaron dos fuentes de información: (1) Imágenes satelitales de la iniciativa de Cambio Climático de la Agencia Espacial Europea (CCI-ESA, 1992) con una resolución de 300m x 300m. (2) Mapa de coberturas de CORPOURABÁ escala 1:10.000 y (3) un mapa modificado a partir de observaciones campo en campo (2019).

Los resultados de la matriz de cambio, indican que entre 1996 y 2019, se evidencia una clara expansión en la frontera agrícola, asociado a la siembra de pastos, con un aumento de 19.2 ha (1992) a 5201.4 ha (2019) correspondiente a un 26990.6%. La cobertura tipo pastizal (donde también se encuentra la mayor parte de los cultivos) está concentrada principalmente hacia el Este, seguida de la zona centro, rodea el litoral e incluso invade la zona de protección, (p.e. playa Bobalito, donde las tortugas ponen sus huevos; Támara et al., 2018). En esta última zona, las coberturas originales (tipo bosque) fueron remplazadas principalmente por arbusto u cultivos. En cuanto al aumento en el 246.5% en la cobertura de mangle, (pasando de 1487.4 ha en 1992 a 4831.8 ha en 2019), pareciera explicarse debido a que el satélite de la CCI-ESA, reconoce parte de los manglares como bosque, a diferencia del mapa modificado de CORPOURABÁ y el mapa generado en campo (Tabla 6).

A partir de los mapas de coberturas (LULC) reclasificados, se obtuvo la matriz de cambios (Tabla 7). Todas las LULC muestran cambios de coberturas hacia pastizales, (2737.2 ha se convirtieron en pastos para ganadería). Finalmente, se observa que la LULC más estable corresponde a los cuerpos de agua (variación menor del 0.6% entre 1992- 2019).

Tabla 6. Cambios relativos de coberturas entre 1992 y 2019

LULC	1992		2019		Cambio relativo
	ha	%	ha	%	ha
Árboles	13968	54.10	12912	50.01	-1056
Agricultura	4828.8	18.70	517.8	2.01	-4311
Pastizales	19.2	00.7	5201.4	20.15	5182.2
Arbustos	4121.4	15.96	877.8	3.40	-3243.6
Humedales	1394.4	5.40	4831.8	18.71	3437.4
Agua	1487.4	5.76	1478.4	5.73	-9

Tabla 7. Matriz de cambios de cobertura

Year	1992								Change%
		1	2	3	4	6	9	Total	
2019	1	7236,6	2299,2	4,8	2302,2	715,8	353,4	12912	-7,6%
	2	218,4	201	0	85,2	8,4	4,8	517,8	-89,3%
	3	2737,2	1229,4	0	1033,2	136,2	65,4	5201,4	26990,6%
	4	631,2	107,4	0	40,8	14,4	84	877,8	-78,7%
	6	2265	653,4	14,4	508,2	516	874,8	4831,8	246,5%
	9	879,6	338,4	0	151,8	3,6	105	1478,4	-0,6%
	Total	13968	4828,8	19,2	4121,4	1394,4	1487,4	25819,2	

4.3 Aplicación del Modelo ART

Una vez ingresado los datos (Tabla 8) al script de Matlab (ver material suplementario electrónico), se obtuvo que la carga de sedimentos disueltos en el largo plazo dentro de la APER, en condiciones prístinas fue de 5.88 kg/s (0.19 MT/y). Posteriormente se procedió a comparar los resultados obtenido, con los calculados por otros autores en algunas cuencas de Urabá, con características similares a las existentes en la APER (p.e área, precipitación, temperatura; Restrepo y Kjerve 2004), ver Figuras 4a y 4b. Los resultados muestran que la APER tiene una tendencia y comportamiento similar con las cuencas de características parecidas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que, hacia el futuro, se hace necesaria la calibración por medio de mediciones periódicas en campo.

Tabla 8. Valores usados para el cálculo de la carga de sedimentos en condiciones prístinas (ART)

A x10 ³ Km ²	R m	T °C	Pp mm/y	Qs MT/y
0.26	179	26.99	1913	0.19

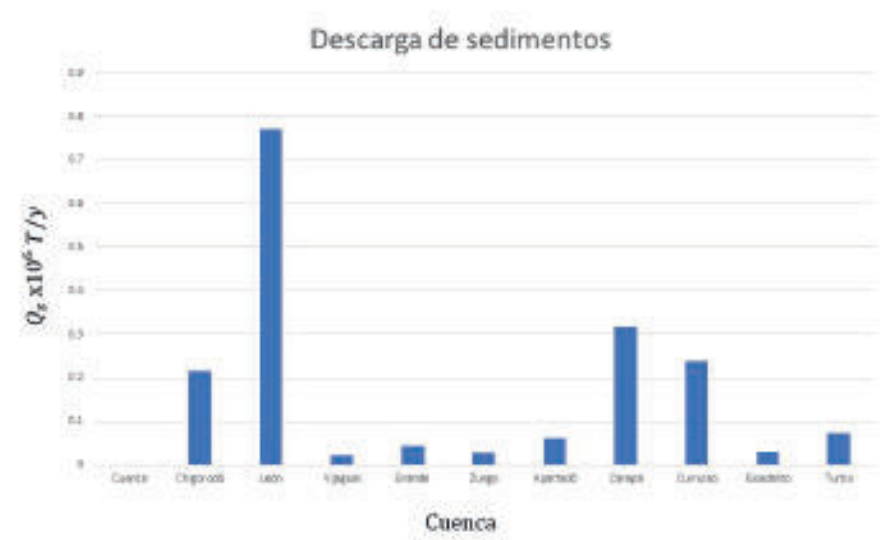
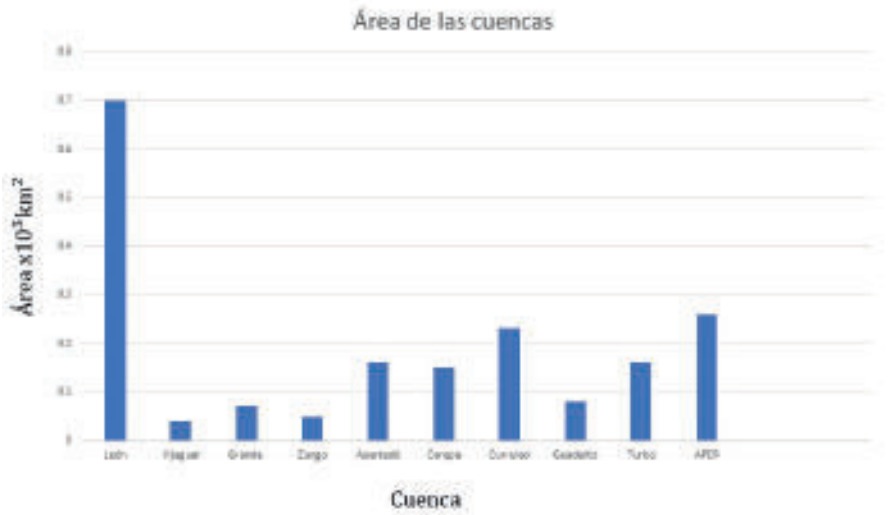


Figura 4a. (arriba) Comparación de áreas entre cuencas similares **Figura 4b.**(abajo) Comparación descarga de sedimentos entre cuencas similares.

4.4 Modelo BQART

Para calcular el modelo BQART, se definió el factor B, el cual define la influencia geológica y antropogénica, y por lo tanto el escenario de intervención (REF). El caudal promedio anual de la cuenca se calculó con las ecuaciones 11 y 12, usando los valores de las Tabla 9 y 10. El insumo final (Tabla 11), fue ejecutado en el script de Matlab. En este escenario el incremento en la producción de sedimentos es del 33.16% con respecto a las condiciones preantrópicas calculadas con el modelo ART. Estos resultados pueden ser comparados con los obtenidos por Restrepo y colaboradores (2015) en la cuenca del Magdalena, donde el incremento promedio a causa de la deforestación es del 30%.

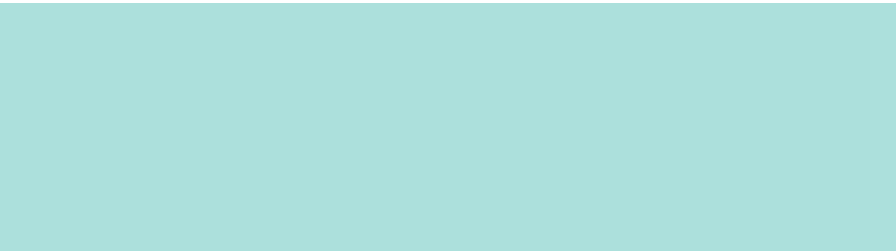


Tabla 9. Valores y criterio de selección para los subfactores de la influencia geológica y antropogénica (B)

Factor	Insumo	Valor	Característica
I	Mapa Hidrológico	1	Ausencia de masa glaciar en la zona.
L	Mapa Geológico	2	Cuencas fluviales cuya geología está principalmente compuesta por rocas sedimentarias o depósitos no consolidados.
1-TE	Mapa Hidrológico	0.1	Se tomó este valor para un escenario donde las masas de agua que se acupan de capturar los sedimentos han sido secadas o colmatadas.
Eh	Índice PEA	2	Se asignó este valor ya que describe un escenario de de intervención total, donde existe una alta densidad poblacional pero un bajo ingreso per capita.

Tabla 10. Valores usados para el cálculo del caudal y resultados

A x10³Km²	Pp mm/y	E mm/y	Q m³/s	Q Km³/y
0.26	1913	1141.2	3.01	0.09

Tabla 11. Valores usados para el cálculo de la carga de sedimentos disueltos en un escenario de intervención total y resultados

A	R km	T °C	Omega	Erosión Glaciar (I)	Litología (L)	1-TE	Cauda IQ m/s	Qs kg/s
256.17	0.18	26.99	0.02	1	2	0.1	3.01	7.84

4.5 Modelo RUSLE

El modelo RUSLE, se basa en la generación de rasterizar cada una de las variables mencionadas, las cuales se multiplicaron, para generar el mapa de riesgo por pérdida de suelo promedio anual (t/ha.año) para los años 1992 y 2019 (Ver Figuras 5ª y b). La definición de la magnitud del riesgo, se hizo mediante la clasificación de Woldemariam et al. (2018); resumida en la Tabla 12.

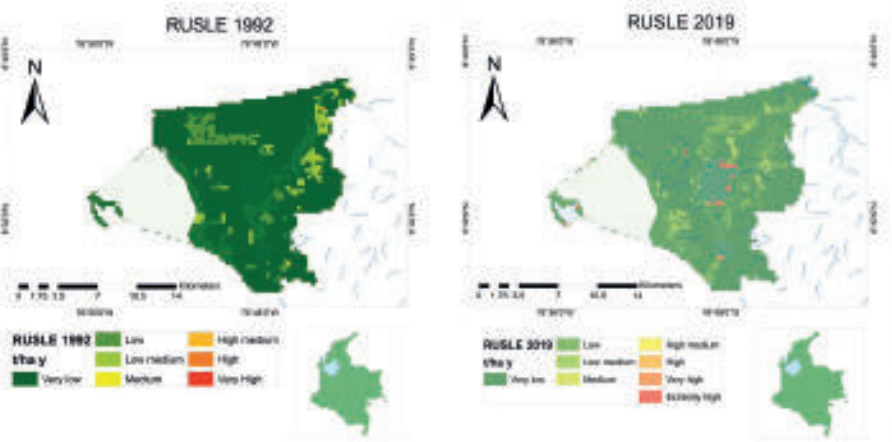


Figura 5a. (arriba) RUSLE 1992.

Figura 5b (abajo) RUSLE 2019

Tabla 12. Clases de riesgo por pérdida de suelo.

Clase riesgo de erosión	Tasa de erosión (t.ha/y)
Muy bajo	<5
Bajo	5-10
Bajo medio	10-15
Medio	15-20
Alto medio	20-25
Alto	25-35
Muy bajo	35-50
Extremadamente alto	>50

Fuente (Woldemariam et al., 2018, p 8)

Comparando ambas fechas el modelo mostró un comportamiento creciente en sus valores máximos, así como el aumento de áreas críticas, esto asociado a las coberturas, los únicos factores que sufrieron cambios fueron los factores C y P, que son los que están asociados a las coberturas. Para 1992 las zonas con riesgo alto corresponden a un solo punto y otro a medio y una mayor proporción corresponde riesgo bajo-medio, en las zonas cuyo uso de suelo es la agricultura, y las de riesgo bajo corresponden a zonas de arbustos.

Al comparar el mapa de riesgo por pérdida de suelo del 2019 con el mapa de coberturas e hidrológico, los puntos más críticos (riesgo muy alto y extremadamente alto), coinciden con los bordes de las ciénagas, siendo que estos ecosistemas son especialmente importantes y susceptibles (Valiela et al, 2001; Restrepo, 2005 y Hogarth, 2007), siendo que coincide con las zonas de acumulación de sedimentos y no las zonas productoras. Comparando las zonas los cambios netos y el cambio porcentual (figura 6a y 6b) en general se denota una relativa estabilidad en la mayoría de la APER, siendo que la mayor parte se mantiene sin riesgo o en riesgo bajo o medio-bajo, pero las áreas con un mayor cambio son las que bordean las ciénagas, tramos de la vía principal y el litoral, en estas zonas es donde se concentra la mayor expansión de la frontera agrícola.

Estos datos son consecuentes con lo hallado en otras cuencas de Urabá (Acandí y Turbo) por Posada (2011), donde para el río Turbo en 2010, el máximo rango varía entre 100-366 t/ha.y y en el río Acandí el mayor rango se encuentra entre 41.09 y 93.54 t/ha.y, en 1975, estos valores son similares en los encontrados en la APER (con un valor máximo de 25.35t/ha.y en 1992 y de 107.26t/ha.y para el 2019).

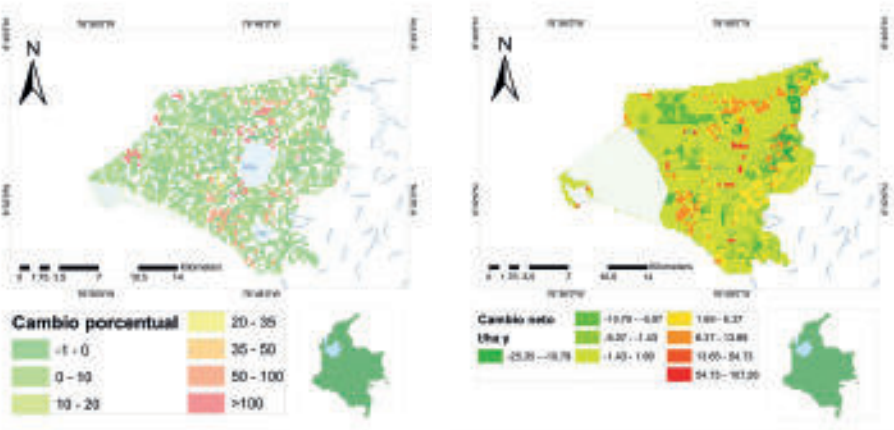


Figura 6a. Matriz de cambio porcentual entre RUSLE 1992 y 2019
Figura 6b. Matriz de cambio NETO entre RUSLE 1992 y 2019

5. DISCUSIÓN

La mayor relevancia de la APER proviene de los servicios ecosistémicos asociados a cada hábitat natural. Varios de estos servicios se ven amenazados debido al uso indebido de los suelos, derivados de las actividades agrícolas (Hubert et al., 2010) y en mayor medida a la conversión de grandes extensiones en pastizales para ganadería, poniendo así en riesgo la continuidad y sostenibilidad del área protegida.

En el presente estudio se evidenció el aumento progresivo en la producción de sedimentos en la APER, hasta en un 33% (de 0.19 MT/y en condiciones prístinas a 0.25 MT/y en el escenario propuesto), coincidente con la continua expansión de los pastos destinados a ganadería (potreros) que pasaron de 0.07% de las LULC (19.2 ha) a el 20.15% del total de las coberturas (5201.4 ha), teniendo un aumento de 5182.2.

En el caso específico de los manglares, se considera que son unos de los ecosistemas que más sufren las consecuencias de estos cambios, asociados a la intervención antrópica y la alta producción de sedimentos, siendo los manglares no deforestados los que presentan el mayor contenido de materia orgánica, uniformidad en los sedimentos, y profundidad de las charcas intermareales, mientras que los manglares que sufrieron tala o directamente fueron convertidos en potreros presentan mayores valores de pH y temperatura, mostrando que el conjunto de variables físico-químicas del agua intersticial y las propiedades de los sedimentos cambian significativamente a lo largo de la interfase manglar-potrero, siendo el aumento de temperatura del aire y del suelo consecuencia de la “potrerización” del manglar, en la que generalmente se dejan algunos árboles para proveer sombra para el ganado). Además de la pérdida de árboles, la pérdida de plántulas y neumatóforos parece ser el mecanismo que incrementa el rigor ambiental y el riesgo de depredación (Blanco y Castaño, 2012). Teniendo en cuenta lo anterior, se podría decir que los ecosistemas de manglares se verían afectados (Blanco-Libreros et al., 2013), ya que estos se comportan como barreras o filtros para el depósito de sedimentos en sus suelos.

En la preservación de estos ecosistemas, las áreas protegidas funcionan como una de las principales estrategias para mitigar la grave crisis de biodiversidad actual (Rodrigues et al., 2004; Chape et al., 2005; Butchart et al., 2012), siendo de mayor relevancia las áreas costeras, como la APER, que oferta la regulación del recurso hídrico, la conservación de la biodiversidad y geodiversidad, la captura de dióxido de carbono y el ecoturismo, otros servicios se muestran en la Figura (10). Sin embargo, en la región Caribe solo se encuentra la quinta parte de las áreas protegidas de Colombia, siendo la región que atrae mayor número de turistas y enfrenta una mayor presión por parte de la población, debido a los altos índices de pobreza (Aguilera-Díaz et al., 2006).



Figura 10. Ejemplo de los vínculos entre geodiversidad, biodiversidad y servicios ecosistémicos en la APER. A. Playa Bobalito, donde desovan varias especies de tortugas marinas y vista al cerro del Águila, uno de los principales atractivos turísticos de la zona, B ciénaga del Salado y una polla de agua, ecosistemas altamente sensibles a los cambios y que prestan muchos servicios ecosistémicos, C, mapa elaborado por Castro et al. (2013), muestra los diferentes puntos ecoturísticos de la APER, D cultivos de plátano en la vereda Marimonda El Cerro, las principales actividades que se llevan a cabo en esta APER son el cultivo de plátano, banano, teca, coco y ganadería extensiva, así como la pesca de diferentes especies.

Los ecosistemas más importantes por los múltiples servicios que prestan son las ciénagas y los humedales (principalmente la regulación hidrológica, que mitiga las inundaciones, reduce la erosión y los deslizamientos de lodo; Ricaurte et al. (2017), pero estos, como se muestra con los resultados del modelo RUSLE, son los que se encuentran en mayor riesgo. El área delimitada no cubre totalmente la cuenca de la ciénaga del Salado, por esto se propone la ampliación de la APER a 2291.82 ha (Fig. 11) siguiendo las políticas de conservación, preservación, protección y aprovechamiento sostenible, que se establecen en el Artículo Décimo del Acuerdo 12 del Consejo Directivo (por medio del cual se estableció la zona como un área protegida). El impacto sobre este importante ecosistema sería menor si se restringen las actividades humanas sobre el área de influencia de este.

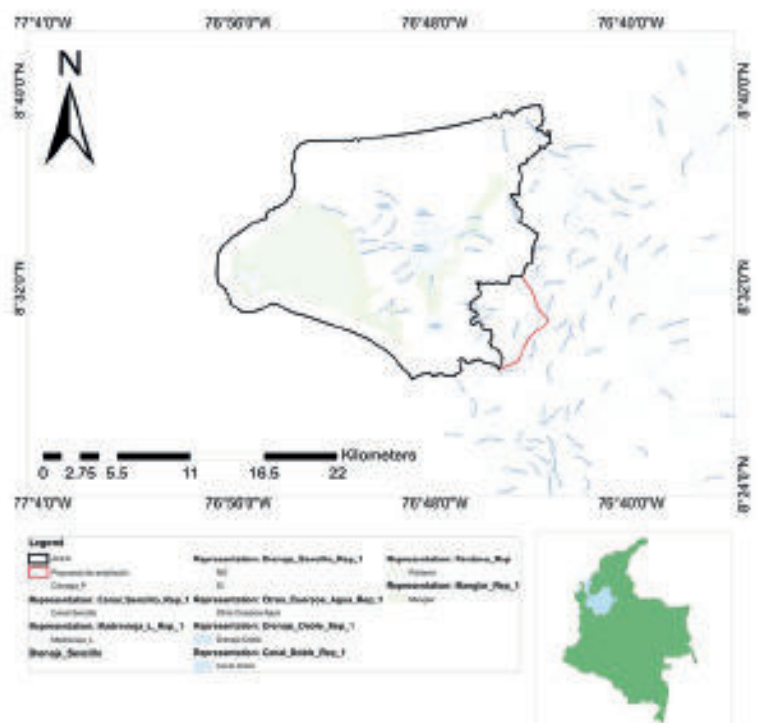
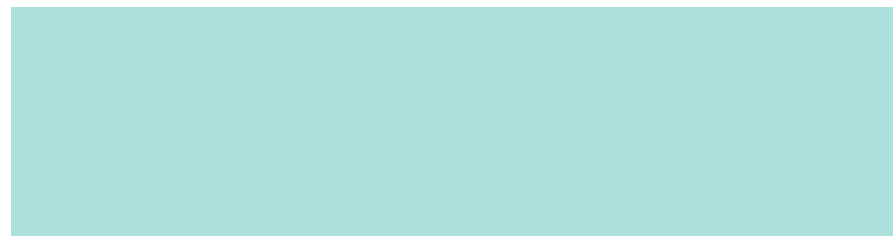


Figura 11. Propuesta de ampliación de la APER

Uno de los orígenes de estos cambios de coberturas y en general de la dinámica en la ocupación territorial del Norte de Urabá (1970 a 1990), fueron los conflictos armados mencionados, a esto se suma la llegada de nuevos actores bélicos (Bejarano, 1988). Sin embargo, la expansión de las compañías agroindustriales, también se asociaron con dichos conflictos, a través de intimidaciones y actos violentos, como el desalojo de tierras. Es por esto, que Negrete (2020) menciona que la región del Urabá, incluido el territorio de la APER, ha sido una zona estratégica para los grupos armados y del narcotráfico que han hecho presencia en las últimas cuatro décadas, para aprovechar sus puertos y litorales, a esto se le suman las complejidades traídas por la industria del banano, que como consecuencia ha generado cambios en la dinámica ocupacional de la zona, invadiendo áreas despobladas y áreas rurales pobladas, provocando desplazamiento de la población.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existe un vínculo directo entre los procesos que han condicionado los procesos de ocupación histórica del Norte de Urabá, principalmente el conflicto armado, con la producción de sedimentos y las consecuencias sobre los ecosistemas, respondiendo a procesos naturales y antrópicos. Estos procesos a su vez responden a hechos pasados pero que inciden en nuevos procesos, demostrando que existe una sinergia natural entre todos los componentes de los ecosistemas (biológicos, geológicos, antrópicos) como lo es el caso de la APER y se muestra en la figura 12, generando una reacción en cadena entre los procesos y las intervenciones, dando una alta relevancia de planificar y evaluar las decisiones que se toman para la adecuada conservación y aprovechamiento de los servicios ecosistémicos, considerando los efectos a futuro.



Así mismo, solo se debe considerar la variación debido a la intervención antrópica de estos fenómenos, como es el caso de los modelos ART y BQART, también es importante la variación espacial, modelo RUSLE, puesto que la ocupación de la APER cambia según cada zona, siendo unas más conservadas que otras, siendo que las que se encuentran en condiciones más prístinas se vean afectadas por aquellas más intervenidas. En el presente trabajo, se identifica que los cambios en los ecosistemas y sus servicios, derivados del cambio de suelo, tienen una tendencia de retroalimentar los elementos que controlan los cambios en las LULC, procesos que son resultados de la interacción de diferentes niveles de organización del sistema hombre-ambiente, la mezcla de fuerzas conductoras varían con el tiempo y el espacio, según las condiciones específicas del sistema, proponiendo entonces usar sistemas complejos adaptativos y transiciones para abordar el tema.

Este trabajo pretende administrar herramientas derivadas de la geología, en función de la conservación, de manera que los tomadores de decisiones tengan criterios científicos para una mejor administración y manejo de la APER a fin de evitar los procesos que produzcan alguna degradación ambiental.

Finalmente, se recomienda tener en cuenta que la diferencia en las escalas y fuentes en el análisis de las coberturas vegetales se convierten en un factor limitante para la comparación directa en los modelos ART y BQART. Adicionalmente, no fue posible la calibración de los modelos a falta de estaciones hidrológicas en la zona de estudio, lo cual puede afectar los resultados del modelo RUSLE, sin embargo, se encontró que, en comparación con los modelos calibrados por otros autores ampliamente explicados en la discusión, los órdenes de magnitud son similares a los presentado en cuencas de similares características, en las cuencas del río Magdalena. Por lo tanto, los resultados obtenidos, se convierten en una importante herramienta para la planificación ambiental.

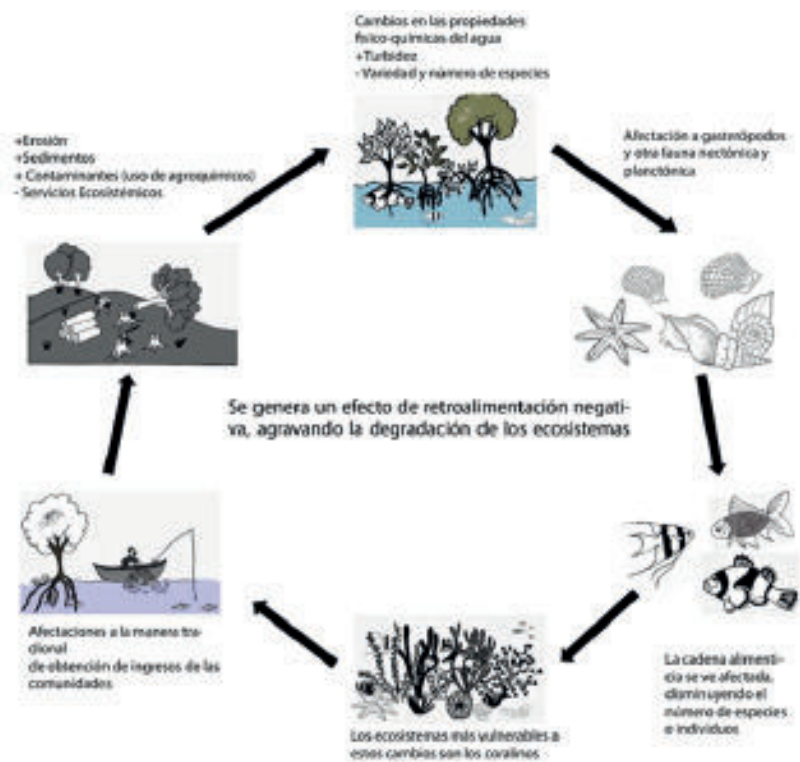


Figura 12. Sinergia entre los ecosistemas y afectaciones sobre éstos por la intervención antrópica y el inadecuado aprovechamiento de los servicios ecosistémicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera-Díaz, M. M., Bernal-Mattos, C., & Quintero-Puentes, P. (2006). Turismo y desarrollo en el Caribe colombiano. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; No. 79.

Alkharabsheh, M. M., Alexandridis, T. K., Bilas, G., Misopolinos, N., & Silleos, N. (2013). Impact of land cover change on soil erosion hazard in northern Jordan using remote sensing and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 912-921.

Bejarano, A. (1988). La violencia regional y sus protagonistas: el caso de Urabá. *Revistas.unal.edu.co*.

Blanco, J. F., & Castaño, M. C. (2012). Efecto de la conversión del manglar a potrero sobre la densidad y tallas de dos gasterópodos en el delta del río Turbo (golfo de Urabá, Caribe colombiano). *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1707-1719.

Blanco-Libreros, J. F., Taborda-Marín, A., Amortegui-Torres, V., Arroyave-Rincón, A., Sandoval, A., Estrada, E. A., ... & Narváez, A. V. (2013). Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobéntica e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 19-36.

Blanco Libreros, J. F. (2016). Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión.

Butchart, S. H. M. et al. Protecting important sites for biodiversity contributes to meeting global conservation targets. *PLoS One* 7, (2012).

Castro Casal, Antonio & Cárdenas, Miguel & Merchán, Manuel. (2013). Ecoturismo y desarrollo sostenible en el área protegida DRMI "Ensenada de Rionegro, bajos aledaños y ciénagas de Marimonda y El Salado", Necoclí, Colombia.

Chape, S., Harrison, J., Spalding, M. & Lysenko, I. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 360, 443-455 (2005).

Ceccherini, G., Ameztoy, I., Hernández, C. P. R., & Moreno, C. C. (2015). High-resolution precipitation datasets in South America and West Africa based on satellite-derived rainfall, enhanced vegetation index and digital elevation model. *Remote Sensing*, 7(5), 6454-6488.

CORPOURABA, 1999. "Inventario de Vertebrados (excluidos Peces) y Vegetación Arbórea de Áreas adyacentes a la Ensenada de Rionegro y Ciénagas La Marimonda y El Salado Necoclí". Botero, D., Tesis de Grado Universidad Nacional de Colombia. Medellín 1999.

CORPOURABÁ. 2003. Caracterización y zonificación de los manglares del Golfo de Urabá-departamento de Antioquia. Proyecto Zonificación y Ordenamiento de los manglares de Urabá. Convenio 201671 FONADE-CORPOURABA. Apartadó (Antioquia, Colombia): CORPOURABÁ

CORPOURABA-DAMA. 2007. Plan de manejo del Distrito de Manejo Integrado (DMI) de la ensenada de Rionegro y las ciénagas La Marimonda y El Salado, municipio de Necoclí, departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia

Crofts R, Gordon JE (2015) Geoconservation in protected areas. In: Worboys GL, Lockwood M, Kothari A, Feary S, Pulsford I (eds) Protected area governance and management. ANU Press, Canberra, pp 531-567

Díaz-Martínez E, Fernández-Martínez E (2015) Geoheritage value: 1, fundamentals and significance (in Spanish). *Cuadernos del Museo Geominero* 18:13-18

Douglas, I. (1996). The impact of land-use changes, especially logging, shifting cultivation, mining and urbanization on sediment yields in humid tropical Southeast Asia: a review with special reference to Borneo. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 236, 463-472.

- Dunne, T. (1979). Sediment yield and land use in tropical catchments. *Journal of hydrology*, 42(3-4), 281-300.
- Dudley, N. (ed) (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland,
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.
- Gray M (2013) *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*, 2nd edn. Wiley-Blackwell, Chichester
- Gray, M., Gordon, J.E., Brown, E.J., 2013. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists' Association* 124, 659-673.
- Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, Á. & Diederix, H., compilers. 2015b. *Geological Map of Colombia 2015*. Scale 1:1 000 000. Servicio Geológico Colombiano, 2 sheets. Bogotá.
- Gordon, J. E., & Barron, H. F. (2012). Valuing geodiversity and geoconservation: developing a more strategic ecosystem approach. *Scottish Geographical Journal*, 128(3-4), 278-297.
- Henriques, M. H., dos Reis, R. P., Brilha, J., & Mota, T. (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*, 3(2), 117-128.
- Hogarth, P.J. (2007). *The biology of mangroves and seagrasses* (No. 2nd Edition). Oxford University Press.
- Hubert, B., Rosegrant, M., van Boekel, M.A.J.S., Ortiz, R.A., 2010. The future of food: scenarios for 2050. *Crop Science* 50, S1-S17.
- IDEAM, 2010. *Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 252 p., 2 anexos, 26 planchas en DVD
- Jie, C., Jing-Zhang, C., Man-Zhi, T., & Zi-tong, G. (2002). Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences*, 12(2), 243-252.
- Liu JG, Linderman M, Ouyang Z, An L, Yang J, Zhang H. 2001. Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for Giant Pandas. *Science* 292:98-101
- Margules CR, Pressey RL. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-53
- McNeely, J.A. & Miller, K.R., eds. (1984) *National Parks, Conservation and Development: The Role of Protected Areas in Sustaining Society*. Washington DC, USA: Smithsonian Institution Press: 825 pp.
- Montoya, R., Montoya, L., & Anaya, J. (2005). Evaluación de la producción de sedimentos en el río La Miel. *Avances en recursos hidráulicos*. N° 12, 119-134.
- Negrete Padilla, K. J. (2020). *Analizar el conflicto armado en la región norte del Urabá antioqueño desde 1950 hasta la actualidad* (Doctoral dissertation).
- Nelson, J.G. & Serafin, R., eds. (1997) *National Parks and Protected Areas: Keystones to Conservation and Sustainable Development*. NATO ASI Series, Ser. G, Ecological Sciences, Volume 40. Berlin, Germany: Springer: 292 pp.
- World Map Of the Status Of Human-induced Soil Degradation :An Explanatory Note.
In:Oldeman,L.R.,Hakkeling,R.T.A.,Sombroek,W.G.(Eds.),ISRIC,Wagening en.
- Pérez, J. (2001). "Estimación del factor de la erosividad de la lluvia en Colombia". Universidad Nacional de Colombia. Tesis de maestría. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín.
- Posada, L. (2011). Efecto del cambio de las coberturas del suelo sobre la geomorfología costera en las cuencas de los ríos Acandí y Turbo del Golfo de Urabá. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín.

Renard, K. G. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing.

Restrepo, Juan & Kjerfve, Björn. (2004). The Pacific and Caribbean Rivers of Colombia: Water Discharge, Sediment Transport and Dissolved Loads. 10.1007/978-3-662-07060-4_14.

Restrepo, J. D. (2005). Los sedimentos del río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental. Medellín Fondo editorial Universidad de EAFIT.

Restrepo, J. D., & Syvitski, J. P. (2006). Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major Andean river: the Magdalena drainage basin, Colombia. *Ambio: a Journal of the Human Environment*, 35(2), 65-75.

Ricaurte, L. F., Olaya-Rodríguez, M. H., Cepeda-Valencia, J., Lara, D., Arroyave-Suárez, J., Finlayson, C. M., & Palomo, I. (2017). Future impacts of drivers of change on wetland ecosystem services in Colombia. *Global Environmental Change*, 44, 158-169.

Rodrigues, A. S. L. et al. Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *Bioscience* 54, 1092–1100 (2004).

Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, et al. 2000. Biodiversity—global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–74

Sharples, C. (1995). Geoconservation in forest management-principles and procedures. *TASFORESTS-HOBART*-, 7, 37-50.

Shi, Z., Cai, C., Ding, S., Li, Z., Wang, T., & Sun, Z. (2002). "Assesment of erosion risk whit the RUSLE and GIS in the middle and lower reaches of Hanjiang river". *Proccedings of 12th International Soil Conservation*. Beijing: Tsinghua University Press. Beijing.
Simms AD, Woodroffe CD, Jone BG. Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment, southern NSW.
<http://ro.uow.edu.au/scipapers/34/2003>.

Syvitski, J.P.M., 2003. Supply and flux of sediment along hydrological pathways: research for the 21st century. *Glob. Planet.Change*39,1–11.

Syvitski, J. P., Vörösmarty, C. J., Kettner, A. J., & Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *science*, 308(5720), 376-380.

Syvitski, J. P. M.; Voïroï smarty, C.; Kettner, A. J.; and Green, P. 2005a. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science* 308:376–380.

Syvitski, J.P.M., Kettner, A.J., 2011. Sediment flux and the anthropocene. *Phil. Trans. R.Soc.*369,957–975.

Támara, N. S., Barrios, M. O., Arcila, H. P., Cardozo, L. M. S., & Alarcón, S. C. A. (2018). Plataforma de avistamiento para tortugas en la playa Bobalito, El lechugal, Necoclí-Antioquia, Utilizando iluminación especial y energía alternativa: propuesta de manejo y conservación. *Revista Sennova: Revista Del Sistema De Ciencia, Tecnología E Innovación*, 85-98.

Trimble SW, Crosson P. 2000. Land use—US soil erosion rates: myth and reality. *Science* 289:248–50

Valiela, I., Bowen, J. L., & York, J. K. (2001). Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments: At least 35% of the area of mangrove forests has been lost in the past two decades, losses that exceed those for tropical rain forests and coral reefs, two other well-known threatened environments. *Bioscience*, 51(10), 807-815.

Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., Fekete, B., Sharma, K., Green, P., & Syvitski, J. P. (2003). Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments. *Global and planetary change*, 39(1-2), 169-190.

Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277:494– 99

Walling, D.E., Fang, D., 2003. Recent Trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Glob. Planet. Change* 39, 111–126.

Woldemariam, G. W., Iguala, A. D., Tekalign, S., & Reddy, R. U. (2018). Spatial modeling of soil erosion risk and its implication for conservation planning: the case of the Gobeles watershed, east Hararghe zone, Ethiopia. *Land*, 7(1), 25.

CAPÍTULO 6.

INVENTARIO Y VALORACIÓN DE SITIOS DE GEODIVERSIDAD COMO HERRAMIENTA PARA SU USO SOSTENIBLE A ESCALA LOCAL: ESTUDIO DE CASO DEL POTENCIAL GEOTURÍSTICO EN UN HOTSPOT DE BIODIVERSIDAD, CORREGIMIENTO EL VALLE, CHOCÓ, COLOMBIA.

Sergio Andrés Restrepo-Moreno¹, Juan Esteban Quintero-Marín², Bibiana Echeverri Ríos³, César Isaza⁴

¹Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia; Department of Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, USA; ²Estudiante, Máster Europeo en Paleontología, Geopatrimonio & Aplicaciones (PANGEA), Université de Lillé, Universidade do Minho; Grupo de Investigación en Geología Ambiental GEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia ³Ingeniera Geóloga; ⁴Reserva privada Ecolodge El Almejal.

RESUMEN

La región del Chocó-Darién es una zona extraordinariamente biodiversa y geodiversa, y un ejemplo notable de cómo la historia geológica regional tuvo importantes consecuencias para el desarrollo de la biodiversidad. En el Corregimiento del Valle (Bahía Solano) se encuentra el Ecolodge El Almejal, una reserva privada dedicada a actividades de ecoturismo, recientemente interesada en incorporar sitios geológicos para iniciar el geoturismo en la región. En este proyecto, parte de un trabajo de fin de carrera se buscó identificar sitios de geodiversidad en los alrededores de El Almejal, con miras a determinar su potencial para actividades de turismo y educación. La metodología incluyó entrevistas con el personal de la reserva, trabajo de campo, valoración cuantitativa de los sitios, y análisis de la valoración. Fueron inventariados 23 sitios de geodiversidad, de los cuales nueve fueron seleccionados para promover el geoturismo desde la reserva. Además, se diseñaron tres georutas y material informativo e interpretativo de apoyo, como catálogos de roca y sedimentos, infografías, y cajas de exposición.

Palabras clave: geodiversidad, Chocó, geoturismo, hotspot de biodiversidad, inventario.

ABSTRACT

The Chocó-Darién region is an extraordinarily biodiverse and geodiverse area, as well as a remarkable example of how the regional geological history had important consequences for the development of a major biodiversity hotspot. The Ecolodge El Almejal (ELEA) is located within this natural setting in the Corregimiento del Valle (Bahía Solano). ELEA is a private reserve dedicated to ecotourism activities and recently interested in incorporating geological sites to launch the geo-tourism in the region. In this project, geodiversity sites in the surroundings of ELEA were inventoried, aiming to determine their potential for tourism and education activities. The methodology included interviews with the reserve staff, fieldwork activities, quantitative assessment of the sites, and analysis of the assessment. A total of 23 geodiversity sites were inventoried, nine of which were selected to promote geotourism with a basis in ELEA. In addition, three geo-routes were designed, as well as informative and interpretive support material consisting of rocks and sediments catalogs, infographics and display cases.

Keywords: geodiversity, Chocó, geotourism, biodiversity hotspot, inventory.

INTRODUCCIÓN |

La geodiversidad puede entenderse como la multiplicidad de entidades en el mundo abiótico, incluyendo elementos geológicos (rocas, minerales, fósiles), geomorfológicos (accidentes geográficos, topografía, procesos físicos), pedológicos (suelos) e hidrológicos, a la vez que sus estructuras, sistemas, interrelaciones y contribuciones al estado y la evolución del paisaje (Gray, 2004; 2019). Desde un enfoque científico moderno, la geodiversidad y la biodiversidad son parte del patrimonio natural de nuestro planeta, y la comunidad científica busca ahora una perspectiva más holística al investigar la geodiversidad. Debido a la importancia de los componentes de la geodiversidad en la provisión de recursos naturales, algunos autores han incluido atributos geológicos en la clasificación de los servicios ecosistémicos (Gray, 2004, 2011, 2019; Brilha et al., 2018; Gordon & Barron, 2012; Reverte et al., 2020). Esto último parte de la consideración de que la geodiversidad sustenta un sinfín de procesos y flujos de materia y energía que permiten la existencia misma de los seres vivos. Desde esta perspectiva es imposible proteger la biodiversidad ignorando el “sustrato” geológico, o para el caso, las esferas que configuran la integridad de los sistemas terrestres, **e.g., geo-, hidro- y atmo-sfera**, donde diferentes ambientes y especies, es decir, la bios-fera, evolucionan, se desarrollan y se diversifican a lo largo de millones de años. Por lo tanto, toda iniciativa de conservación de la biodiversidad debe considerar la geodiversidad como parte integral del entorno natural. Además de ser el sustrato físico a la manera de suelos, rocas, accidentes geográficos, donde se expresa la biodiversidad, los sitios de geodiversidad pueden tener diferentes usos según sus valores. Algunos de estos valores incluyen el científico, el educativo, el ambiental, el económico, el funcional, el cultural, el espiritual, el estético, entre otros (Gray, 2004).

La región del Chocó-Darién se ubica entre el noroeste de Colombia y Panamá, y es un buen ejemplo de cómo la historia geológica específica tuvo importantes consecuencias para el desarrollo de una provincia extraordinariamente eco y geodiversa. Colombia es considerado el primer país del mundo en biodiversidad por kilómetro cuadrado (World Wildlife Fund, 2017), así como el primer país en diversidad de especies de aves y orquídeas (Donegan et al., 2016; Moreno et al., 2017). Parte de esta notable diversidad se condensa en los “hotspots” de biodiversidad presentes en el país, que combinan una enorme

riqueza biológica y grandes amenazas sobre dichos recursos naturales (Mittermeier et al., 1999; Myers et al., 2000; Mittermeier et al., 2011), debido a la fuerte presión por actividades humanas como la minería, la infraestructura y la expansión agrícola y urbana, entre otras.

El Chocó biogeográfico es parte del hotspot Tumbes-Chocó-Magdalena (Mittermeier et al., 2011) o del Chocó-Darién-Ecuador Occidental (Myers et al., 2000). Estas ecorregiones incluyen los bosques húmedos Chocó-Darién, uno de los lugares con mayores precipitaciones en el mundo, alcanzando más de 14.000 mm/año (Poveda & Mesa, 1999). La historia biológica y geológica de la región es compleja, con eventos tan extraordinarios como la formación del Istmo de Panamá (Coates et al., 2004, Coates et al., 2013, Montes et al., 2015), quizás uno de los más importantes sucesos geológicos en el Cenozoico (O'Dea et al., 2016), al implicar la separación definitiva de las masas de aguas oceánicas del Pacífico y el Caribe (Duque-Caro, 1990b; Coates et al., 1992; Jackson et al., 1993), cambios en la circulación oceánica y atmosférica y, por lo tanto, cambios climáticos a escala regional y global (Billups et al., 1999; Lunt et al., 2008; Kamikuri et al., 2009), y el desarrollo del Gran Intercambio Biótico Americano (GABI) (Marshall et al., 1982; Stehli & Webb, 2013; Hoorn et al., 2018).

Ubicado en este excepcional escenario natural en el extremo noroeste de América del Sur, se encuentra El Corregimiento de El Valle, un pequeño poblado rural que forma parte del municipio de Bahía Solano en el departamento de Chocó. Este lugar se sitúa entre las aguas del Pacífico Ecuatorial Oriental y la Cordillera del Baudó, en las coordenadas 6° 13 '47" N y 77° 24 '41" Oeste (Figura 1). El Valle tiene una temperatura promedio de 28 ° C, un clima tropical húmedo, una humedad relativa entre 80% - 90% y una precipitación promedio de 5000 mm/año

INTRODUCCIÓN |

(Municipio de Bahía Solano, 2012). La zona posee una posición estratégica por ser el área de conexión entre Colombia y Panamá, a través del transporte marítimo. El Valle tiene 9417 habitantes, de los cuales 87% se autoreconocen como negros, mulatos, afrocolombianos o afrodescendientes, 9% indígenas y 4% mestizos u otros (DANE, 2005; 2018). Las principales actividades productivas y económicas del municipio, en orden descendente, son: funciones públicas, pesca artesanal, comercio, turismo, agricultura y extracción forestal (Municipio de Bahía Solano, 2012).

En el departamento de Chocó es común la minería tradicional de aluvión para platino y oro, extraídos por pequeños artesanos y organizaciones informales (Lara-Rodríguez et al., 2020). El cambio hacia una minería mecanizada, junto con la tala de árboles, han resultado en impactos ambientales importantes como destrucción de suelos y fuentes de agua, cambios en la dinámica de ríos y arroyos debido al aumento de la carga de sedimentos y expulsión de especies silvestres (Moreno & Ledezma-Rentería, 2007). Además de estas actividades que representan una amenaza para la geodiversidad y la biodiversidad del Chocó, la región también ha sido amenazada por megaproyectos de extracciones voluminosas de madera fina y el megapuerto de Tribugá de la Sociedad Arquímedes, el cual ha sido transitoriamente abandonado.

Entre las actividades ambientalmente responsables, el ecoturismo es una línea emergente de actividad económica, con algunas iniciativas en la zona, enfocadas en el avistamiento de cetáceos como ballenas, delfines; avistamiento de aves y tortugas; senderismo; visitas al Parque Nacional Natural Ensenada de Utría, al Jardín Botánico Local de Playa Mecana y a otras playas y eco-reservas. Las áreas off-shore son ideales para el buceo, el surf y otros deportes acuáticos (Ortíz et al., 2016). Entre los promotores locales del ecoturismo, se encuentra el Ecolodge El Almejal, dedicado a algunas de las actividades antes mencionadas. A diferencia de otros proveedores de servicios de ecoturismo, El Almejal busca incorporar sitios geológicos para actividades basadas en el geoturismo. El Almejal cooperó con el Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, a través de un proyecto de tesis de pregrado destinado a identificar sitios de geodiversidad en la región circundante al Ecolodge,

para determinar su uso potencial con fines de geoturismo y proponer algunas actividades básicas de turismo y educación como un plan piloto de geoturismo en la región del Pacífico colombiano.

El área de estudio está localizada en los alrededores del Ecolodge El Almejal en el área litoral del municipio de Bahía Solano, Departamento de Chocó, Colombia. La zona considerada se extiende desde Punta Nabugá en el norte hasta Ensenada de Utría en el sur, cubriendo unos 40 km a lo largo de la línea costera en una dirección aproximadamente norte-sur (Figura 1).

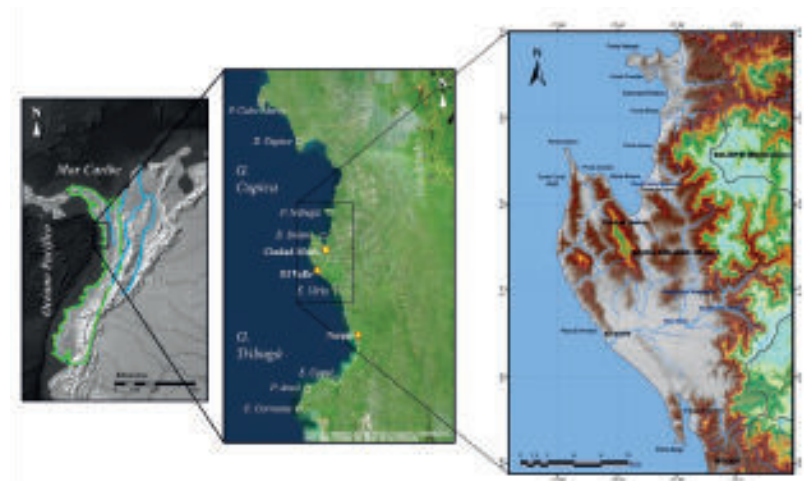


Figura 1. Área de estudio, ubicada en los alrededores de Bahía Solano, es la línea costera entre Punta Nabugá al norte y Utría al sur (ver polígono de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

INTRODUCCIÓN |

Colombia no es solo uno de los países con mayor biodiversidad a nivel mundial, sino que también abarca una gran diversidad geológica expresada en una amplia gama de litologías (ígneas, metamórficas y sedimentarias), que cubren un rango de edad que va desde el Precámbrico, pasando por el Paleozoico y el Mesozoico para llegar hasta el Cenozoico reciente (Figura 2), un conjunto importante de depósitos minerales metálicos y no metálicos, una serie de estructuras corticales complejas (placas tectónicas mayores, bloques corticales, fallas regionales y zonas de cizallamiento, etc.), varias cuencas fluviales pasadas y presentes (Amazonas, Orinoco, Magdalena, Cauca, Atrato y San Juan), variedad de ambientes geológicos litorales e insulares en las costas del Caribe y el Pacífico (e.g., islas Gorgona y Malpelo en el Pacífico e Isla Rosario y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe, este último parte de la Reserva de la Biosfera Seaflower de la UNESCO), y una intrincada topografía desde las extensas llanuras del Amazonas, el Orinoco y el Caribe, hasta algunas de las cumbres más altas del norte los Andes (varias por encima de los 5000 m), incluida la Sierra Nevada de Santa Marta y los principales picos de las cordilleras colombianas, así como la baja Serranía del Baudó (Restrepo-Moreno et al., 2019). La mayoría de estas ricas áreas naturales forman parte de un conjunto diverso de Parques Nacionales Naturales y otras áreas protegidas, que cubren cerca de 314.084 km² distribuidos en 1343 áreas delimitadas (PNN, 2020).

Entre las características geológicas del territorio colombiano está su ubicación en un entorno geodinámico complejo, controlado por la convergencia de las placas Sudamérica, Nazca y Caribe, y por la colisión del bloque cortical Panamá-Chocó (BPC). Esto ha dado lugar al desarrollo no solo de una importante topografía concentrada en el Bloque Norandino (NAB) sino de una amplia diversidad de provincias lito-tectónicas (Cediel et al., 2003). En términos topográficos se incluye el conjunto arquetípico de cordilleras en forma de tridente de las cordilleras Occidental, Central y Oriental, que separan los sistemas fluviales del Cauca y Magdalena, y el macizo aislado de la Sierra Nevada de Santa Marta. Al oeste del NAB se encuentran rasgos topográficos relacionados con el bloque Panamá Chocó como las cordilleras Baudó y Darién que, junto con la Cordillera Occidental, confinan otro importante sistema fluvial, el río Atrato (para una descripción más detallada de la topografía y redes fluviales en los Andes del Norte ver Restrepo-Moreno et al., 2019).

Lito-estructuralmente, Colombia abarca tres regiones principales a) las llanuras relacionadas con el cratón del este de Colombia compuestas por rocas antiguas del basamento Precámbricas a Paleozoicas y estratos sedimentarios antiguos cubiertos por sedimentos fluviales recientes; b) los macizos metamórficos, plutónicos y sedimentarios de afinidad continental de las Cordilleras Oriental y Central, con edades que varían desde el Precámbrico al Cenozoico; y c) las litologías ígneas y sedimentarias principalmente Cretácea y afinidad oceánica de la Cordillera Occidental y el BPC (Restrepo et al., 1988; Gomez-Tapias et al., 2015). La región de interés en el presente estudio está ubicada geológicamente en el BPC, bajo una fuerte influencia del Anillo de Fuego del Pacífico. Muchos de los procesos que tienen lugar en el litoral pacífico de Colombia están directamente relacionados con este intrincado entorno geodinámico, que determina procesos orogénicos como fallas tectónicas, sismicidad, levantamiento y flexión de cordilleras, vulcanismo, etc., así como meteorización intensa y procesos de erosión que generan grandes cantidades de detritos y sedimentos que son transportados por redes fluviales para finalmente ser depositados en grandes cuencas sedimentarias como las de Urabá, Atrato y San Juan. Estos procesos geológicos operan en la región desde hace más de 70 millones de años, dando lugar a la compleja y diversa configuración geológico-geográfica de este rincón del planeta.

Según varios autores, las rocas que afloran en la zona de estudio se formaron alrededor de 80 Ma (Kerr et al., 1977a, b). Al formar parte de la microplaca Panamá-Chocó, juegan un papel importante en la historia geológica de la formación del Istmo de Panamá y la separación final de los océanos Oceánico y Pacífico. El cierre de la conexión marítima comenzó aproximadamente hace 25 Ma con la colisión del Arco de Panamá con América del Sur (Farris et al., 2011; Montes et al., 2012; Barbosa-Espitia et al., 2019), y terminó alrededor de las 2,8 Ma (O'Dea et al., 2016; Coates y Stallard, 2013).

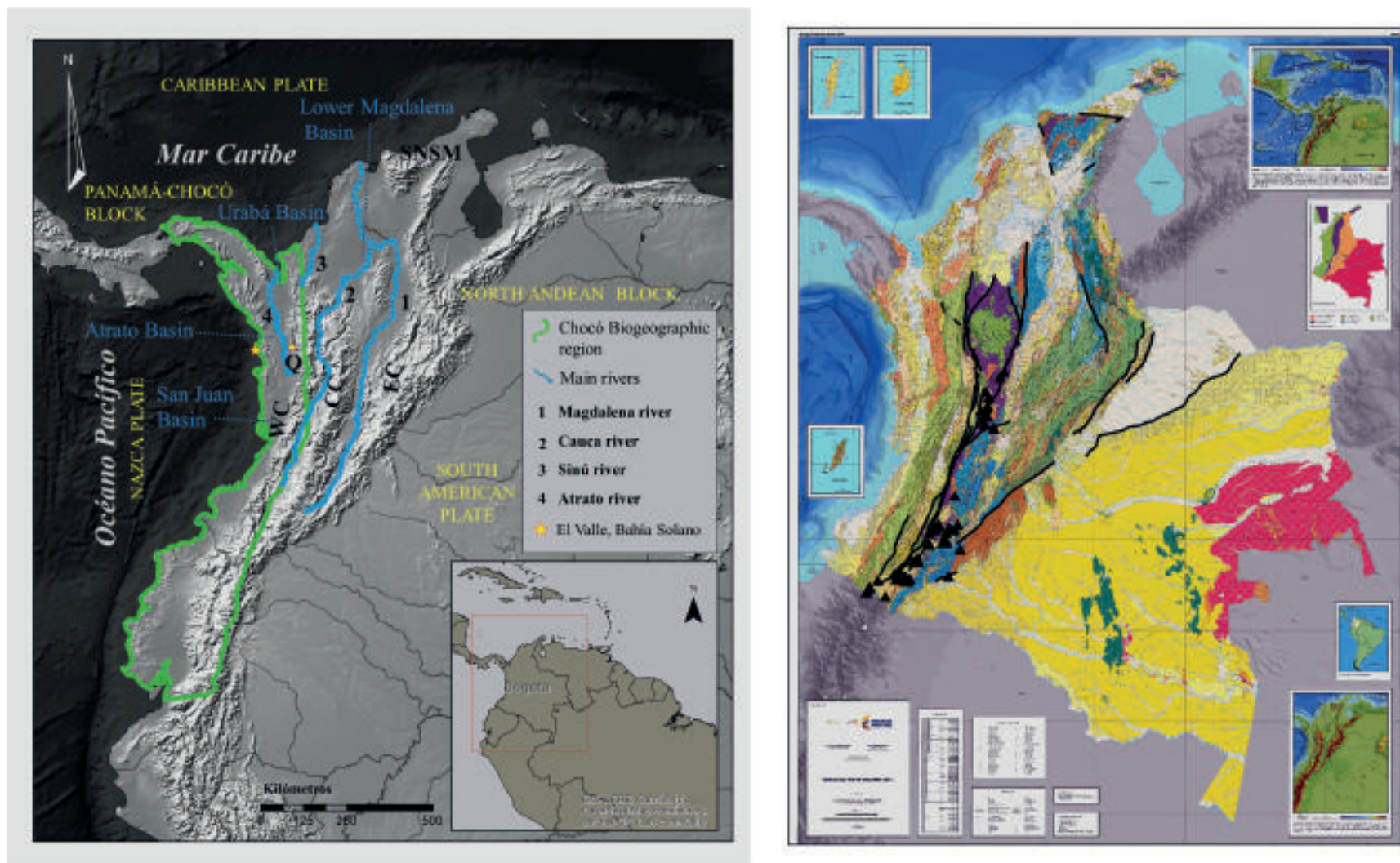


Figura 2. Izquierda: La diversidad fisiográfica es evidente en esta representación de relieve sombreado; solo se incluyen los ríos principales. CC: Cordillera Central; EC: Cordillera Oriental; WC: Cordillera Occidental; SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta, Q: Quibdó. Derecha: En términos geológicos, los colores y texturas aluden a edad y variedad de tipos de rocas presentes en Colombia, mientras que las líneas negras sólidas dan cuenta de las principales discontinuidades estructurales (Gómez -Tapias et al., 2015). Los volcanes modernos están marcados por triángulos negros.

Fuente: Mapa Geológico de Colombia (https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/gmc_1M2015.aspx). Los colores están relacionados con la versión más reciente de la Carta Cronoestratigráfica de la Comisión Internacional de Estratigrafía (Cohen et al., 2013).

2. METODOLOGÍA

Según Lima et al. (2010), el enfoque de inventario debe abordar cuatro preguntas principales: el objeto, el valor, el alcance y la utilidad. En este caso, sitios de geodiversidad (objeto) con relevancia turística o educativa (valor) en el litoral entre Punta Nabugá y Utría (alcance) útiles para desarrollar actividades educativas y turísticas relacionadas con el geoturismo alrededor del Ecolodge El Almejal (utilidad) fueron seleccionados (Figura 3). La identificación del patrimonio geológico no será fundamental para el desarrollo de una iniciativa piloto de geoturismo en la región. Siguiendo la propuesta de Brilha (2016), si el objetivo de un inventario es identificar sitios con un valor diferente al científico (e.g., turístico, educativo o cultural), es conveniente realizar un Inventario de Sitios de geodiversidad.

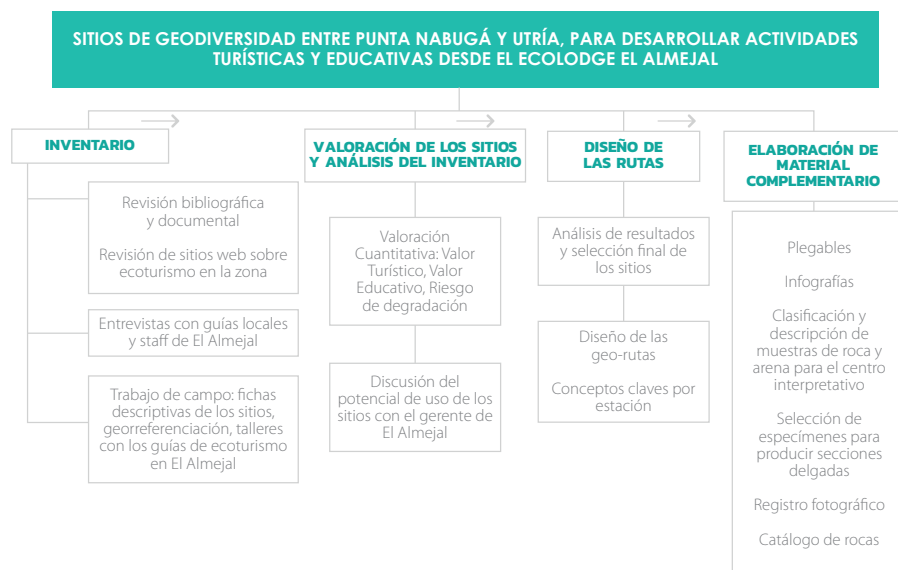


Figura 3. Diagrama metodológico

Fuente: Elaboración propia.

Para este estudio, un sitio de geodiversidad se define como una localidad o conjunto de elementos que presentan una clara exposición de características geológicas a la manera de rocas, minerales, fósiles, accidentes geográficos, sedimentos o suelos, que ilustran la evolución geológica de la región y que constituyen un recurso importante para la educación y el turismo, por lo que representa algún tipo de potencial para las comunidades (Carcavilla et al., 2007; Brilha et al., 2018), no solo

en términos de mejorar los medios de vida de los lugareños sino también como un medio para ganar conocimiento científico sobre la evolución geológica en la región. Esto da como resultado una mejor comprensión del territorio y, por ende, prácticas culturales y socioeconómicas más adecuadas, en línea con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, vitales para esta región vulnerable. Similarmente, el uso de la geología y los paisajes en las prácticas turísticas, ayuda a la conservación de la geodiversidad y mejora la comprensión de las ciencias geológicas tanto por parte de los turistas como de las comunidades locales (Gill, 2017).

Los sitios de geodiversidad fueron descritos en campo a través de formularios. Estos incluían información como código, nombre, descripción, coordenadas, ubicación geográfica, acceso, dimensiones, litología, estructuras, dominio geológico, dominio geomorfológico, interés geológico, interés no geológico, estado del sitio, tipo de administración, uso actual, conocimiento comunitario, asociación con elementos culturales o naturales, susceptibilidad de degradación, interés turístico y educativo, y comentarios. Durante la visita de campo también se realizó un taller con guías turísticos locales en el Ecolodge. Luego del trabajo de campo y la valoración cuantitativa (ver sección 3.3.), se diseñó un material complementario para desarrollar actividades geoturísticas y educativas en el Ecolodge El Almejal, incluyendo folletos, infografías, catálogos digitales de rocas en muestras macro y micro, y algunos diseños como propuesta para la infraestructura interactiva dentro del centro interpretativo de El Almejal. Las muestras de roca y arena recolectadas durante la campaña de campo, fueron cuidadosamente descritas y clasificadas. Algunas de las muestras de roca se prepararon para producir secciones delgadas. Posteriormente, los ejemplares de roca clasificados y con sus correspondientes secciones delgadas, junto con las muestras de arena, fueron entregados al gerente del Ecolodge El Almejal para ser utilizados en actividades didácticas y educativas en el centro interpretativo dentro del Ecolodge.

A partir de la clasificación tipológica propuesta por Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez (2010), los sitios de geodiversidad se clasificaron en tres categorías: Punto, Área y Mirador. Esta clasificación incluye fragilidad, vulnerabilidad y resistencia a la presión para cada tipología. La fragilidad se refiere a las condiciones intrínsecas del sitio, mientras

que la vulnerabilidad se refiere a las amenazas externas que pueden alterar su calidad. Este análisis también se comparó con el riesgo de degradación obtenido para los sitios incluidos en el inventario. Los principales intereses también se definieron para cada uno de los sitios durante la salida de campo. Los intereses considerados en este inventario fueron Recreación (R), Estética (A), Educación (E) y Ciencia (C).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Geodiversidad de la zona litoral de Bahía Solano

Algunos de los elementos de la geodiversidad del litoral de Bahía Solano se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Elementos que representan la geodiversidad del litoral de Bahía Solano. A a F: rocas. A) Jaspe; B) Brecha de chert; C) Basalto; D) Basalto porfídico; E) Microgabro; F) Limolita. G a L: procesos y accidentes geográficos. G) Plataforma de abrasión; H) Cuevas (pseudokarst); I) Islote "Los Vidales"; J) Ondulitas; K) Estuario del río Chadó y stack marino; L) Playa.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Rocas.

Respecto a la litología, el área está compuesta principalmente por rocas ígneas máficas como basaltos toleíticos (Figura 5), diabasas,

gabros, aglomerados volcánicos y tobas de afinidad oceánica (Macia, 1985; Cossio, 1994), pertenecientes a la formación Basaltos del Baudó (Cossio, 2002). Además de estas rocas predominantemente volcánicas presentes en los llamativos afloramientos de la zona litoral, se puede observar una amplia diversidad de rocas sedimentarias en los depósitos fluviales, como brechas, brechas de chert, chert, jaspe, limolitas y areniscas (Figura 6). Estas rocas pertenecen a las formaciones de ambientes terrestres de la Serranía del Baudó, como Clavo y Uva (Cossio, 2002).



Figura 5. Afloramiento de lavas almohadilladas en la playa de El Valle. Izquierda: basaltos muy fracturados con estructura vesicular. Derecha: brecha inter-pillow.

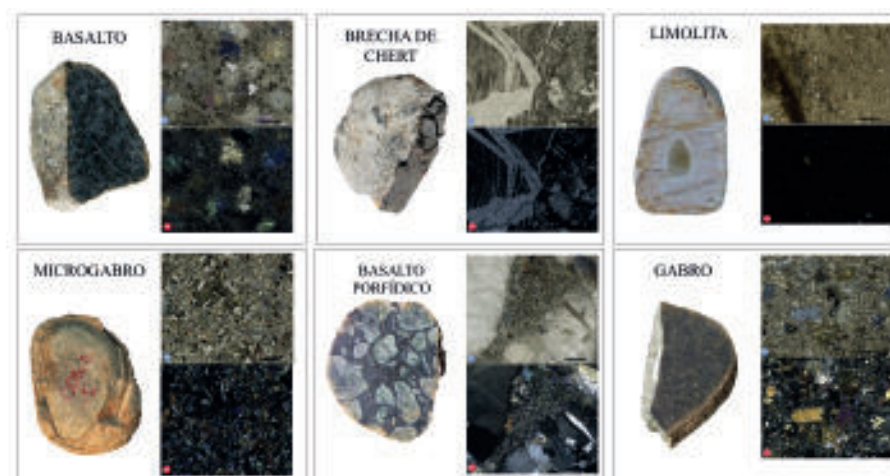


Figura 6. Algunas muestras de roca representando la geodiversidad litológica de la zona litoral de Bahía Solano, con sus respectivas secciones delgadas. Para cada muestra la imagen izquierda representa el espécimen de mano y las dos imágenes de la derecha la microfotografía en NII (arriba) y NX (abajo).

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Minerales y sedimentos.

Los yacimientos minerales en la región de estudio son escasos. Por lo tanto, no existen actividades mineras importantes en el área, y las actividades extractivas no representan por ahora una amenaza para la geodiversidad en la región, aunque la explotación de arena y roca de los cauces de los ríos (por ejemplo, el río El Valle) y canteras se produce de manera esporádica para fines de construcción. Los depósitos fluviales en la desembocadura de los ríos contienen diversos materiales derivados de la Serranía del Baudó, que permiten una aproximación a las formaciones rocosas encontradas in situ en las zonas montañosas cuenca arriba (Figura 7). La meteorización y erosión de las rocas máficas han provocado la acumulación de arenas negras en las zonas costeras donde se expresan bastante bien, y a escala microscópica, varios minerales tales como olivino, magnetita, piroxeno, esfena, apatito y zircón (Figura 8), produciendo las famosas playas negras del Pacífico en Colombia.

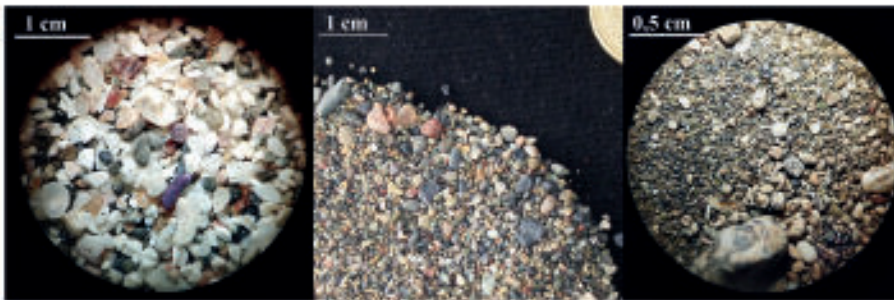


Figura 7. Diversidad de sedimentos en el litoral de Bahía Solano: Izquierda: Playa Punta Diego (Utría), compuesta mayoritariamente por bioclastos como espículas de equinodermos y esponjas, fragmentos y conchas de gasterópodos, bivalvos y corales, junto con fragmentos calcáreos, jaspe, chert, magnetita, olivino, biotita y anfíbol. Centro: Playa Chadó, compuesta por sedimentos heterogéneos de jaspe, chert, cuarzo lechoso, magnetita, fragmentos de rocas sedimentarias y minerales máficos. Derecha: Playa Huaca, compuesta principalmente por minerales máficos y densos correspondientes a olivino, piroxenos, anfíbol, chert y otros líticos oscuros probablemente derivados de rocas gabroides.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Arenas negras intercaladas con material derivado del continente en terrazas fluviales-mareales. Desembocadura del río El Valle.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Accidentes geográficos y procesos activos.

La geomorfología de la Costa Pacífica colombiana es el resultado de la diversidad litológica, las características estructurales, el clima y los procesos costeros como olas, mareas, actividad biológica. Las geoformas costeras predominantes son las penínsulas, las bahías y ensenadas, los acantilados, las llanuras, terrazas y playas, los pilares, tómbolos y arcos costeros, las plataformas de abrasión, las cavernas y las piscinas de marea. El principal rasgo estructural de la zona corresponde a la falla de Utría, actualmente activa y con desplazamientos de unos 5 mm/año y expresiones geomorfológicas claras como la bahía de Bahía Solano y la Ensenada de Utría (Ramírez, 1971; INGEOMINAS, 1998).

Siguiendo la propuesta de Posada et al. (2009), los accidentes geomorfológicos-geográficos de la zona costera se clasificaron de acuerdo a su relación con dos tipos diferentes de materiales: consolidados y no consolidados. La zona costera con material consolidado y competente como rocas volcánicas máficas, da lugar a formas como pilares, arcos, cavernas, penínsulas, acantilados, plataformas de abrasión, y piscinas de marea, entre otros. En el área con materiales no consolidados se generan playas, estuarios, algunas áreas de manglares, llanuras y terrazas aluviales.

3.2. Inventario de sitios de geodiversidad

Se inventariaron un total de 23 sitios de geodiversidad en los alrededores de Bahía Solano (Figuras 9 y 10). La mayoría de los sitios corresponde a formas del paisaje como playas y cascadas con alto valor estético, potencial recreativo, e interés geológico secundario para la educación o la ciencia. La lista completa de sitios de geodiversidad se puede encontrar en la Tabla 1 junto con los principales tópicos de interés para cada sitio.

Los intereses considerados durante el inventario fueron: Recreación (R), Estética (A), Educación (E), Ciencia (C). Se debe tener en cuenta que estos intereses representan solo una descripción cualitativa realizada durante la visita de campo y no son necesariamente el uso final recomendado para los sitios de geodiversidad.

Tabla 1. Lista de Sitio de geodiversidad

Código	Nombre	Coordenadas NW	Interés	Tipología
TG001	Salto El Aeropuerto	6.2012, -77.4000	R, A, C	Punto
TG002	Desembocadura del Río Valle	6.1012, -77.4305	A, C	Área
TG003	Playa El Almejal Sur	6.1066, -77.4335	R, C	Área
TG004	Playas del Río Valle	6.1133, -77.3984	R, E	Área
TG005	Playa La Aguada	6.0134, -77.3451	E	Punto
TG006	Punto de erosión Ensenada de Utría	6.0163, -77.3491	E	Punto

Código	Nombre	Coordenadas NW	Interés	Tipología
TG007	Playa Punta Diego	5.9979, -77.3527	E, C	Área
TG008	Playa Cocalito	6.0171, -77.3658	E	Área
TG009	Desembocadura Río Chadó	6.1590, -77.4665	R, A, E, C	Área
TG010	Salto El Tigre	6.1482, -77.4618	R, A	Área
TG011	Cueva El Tigre	6.1405, -77.4585	A, E	Mirador
TG012	Cascadas de Bahía Solano	6.2370, -77.4161	R, E	Área
TG013	Piscina del Amor	6.2334, -77.4134	R	Punto
TG014	Afloramiento milonitas La Esso	6.2280, -77.4098	E, C	Punto
TG015	Los Vidales	6.3583, -77.4328	C	Punto
TG016	Grutas y arcos costeros	6.3886, -77.4117	A, E	Mirador
TG017	Desembocadura río Nabugá	6.3921, -77.3600	R, E	Área
TG018	Playa rocosa de bloques	6.3911, -77.3743	C	Punto
TG019	Playa Huaca	6.2983, -77.3832	R, A, E	Área
TG020	Playa Mecana	6.2662, -77.3867	R, A, E	Área
TG021	Playa Cueva	6.0964, -77.4258	A, E	Área
TG022	Playa El Almejal Norte	6.1178, -77.4399	R, A, E	Área
TG023	Manglar Ensenada de Utría	6.0177, -77.3469	A, E	Área

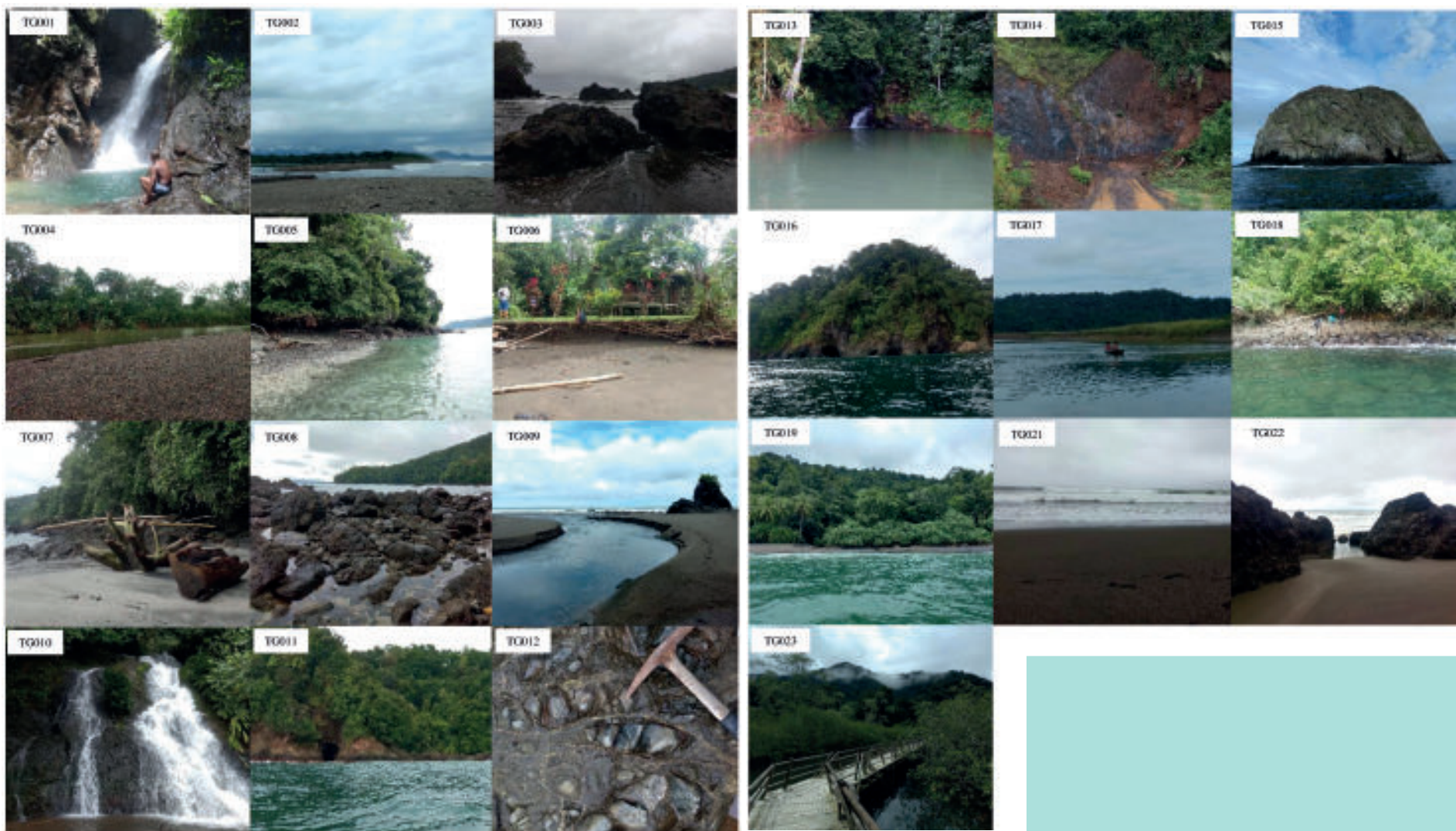


Figura 9. Sitios de geodiversidad en el área de estudio.
Fuente: propia.



Figura 10. Mapa de los sitios de geodiversidad en el área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Valoración de sitios de geodiversidad

Dado que el objetivo del inventario es, en este caso, identificar los mejores sitios de geodiversidad para realizar actividades geoturísticas y educativas con base en el Ecolodge El Almejal, el valor turístico y didáctico de los sitios enlistados en el inventario se determinó cuantitativamente. Lo anterior permite realizar comparaciones entre los sitios y tener una idea sobre cuáles son los más apropiados para incluir en un programa piloto de geoturismo para el Ecolodge. El riesgo de degradación también se calculó y evaluó como una herramienta para determinar el potencial de uso de los sitios con fines turísticos o educativos.

3.3.1. Valor Turístico (VT) y Valor Didáctico (VD).

Su valoración se realizó con base en el documento “Metodología de valoración del patrimonio geológico y paleontológico inmueble” del Servicio Geológico de Colombia, publicada en línea en 2016 (disponible en <https://pre-www2.sgc.gov.co/patrimonio/Documents/Metodologia-de-valoracion-del-Patrimonio-Geologico-y-Paleontologico-inmuble.pdf>). Este formulario se pensó para realizar un inventario y valoración del patrimonio geológico a escala nacional. Por otro lado, en Colombia no existen documentos o publicaciones científicas disponibles que prueben esta metodología en ningún contexto nacional. Por ello, y con el fin de revisar su aplicación en el país, se probó este método oficial. Esta metodología se actualizó en línea alrededor del año 2019-2020 con algunos cambios, y también se encuentra disponible para consulta: <https://www2.sgc.gov.co/Archivos/metodologia-de-valoracion-de-patrimonio-inmuble-gu-geo-mvp-001-noviembre-060.pdf>

En resumen, el método abarca 20 criterios: Representatividad (R), Carácter de la localidad tipo (LT), Estado de conservación (C), Condiciones de observación (O), Rareza (RA), Diversidad geológica (D), Uso didáctico (UD), Infraestructura logística (I), Densidad de población (DP), Accesibilidad (A), Espectacularidad o belleza (B), Tamaño (T), Fragilidad (F), Uso tradicional (UT), Simbolismo (S), Asociación con elementos del patrimonio natural o cultural (PCN), Uso divulgativo (UDV), Potencial para la realización de actividades turísticas o recreativas (RC), Entorno socioeconómico (ES) y Proximidad a áreas recreativas (PAR).

En cuanto al valor turístico (VT), los criterios más importantes son Belleza (15%), y Accesibilidad, Fragilidad, Simbolismo y Uso divulgativo con un 10% cada uno. Para el valor didáctico (VD), los más importantes son la Diversidad geológica (20%), la Infraestructura (15%), la Accesibilidad (15%) y la Diversidad geológica (10%). Así, cada sitio se puntúa con un valor (0, 1, 2, 4) para cada criterio, de acuerdo con la opción que mejor represente las condiciones del sitio (ver Tabla 2). Luego de valorar cada sitio con los 20 criterios y multiplicar las puntuaciones con el peso porcentual de cada criterio, se obtienen valores de VD y VT, con cifras que van de 0,125 a 10. Como se indica en esta metodología, entre 3,3 - 6,4 corresponde a valor medio, entre 6,5 - 7,4 a valor alto y >7,5 a valor muy alto.

Tabla 2. Criterios y pesos para el cálculo del Valor Turístico (VT) y el Valor Didáctico (VD).

Criterio	Peso (VT)	Peso (VF)
R	0	5
LT	0	5
C	0	5
O	5	5
RA	0	5
D	0	10
UD	0	20
I	5	15
DP	5	5
A	10	15

Criterio	Peso (VT)	Peso (VF)
B	15	5
T	5	5
F	10	0
UT	5	0
S	10	0
PCN	5	0
UDV	10	0
RC	5	0
ES	5	0
PAR	5	0
Total	100	100

Los sitios se encuentran ordenados por valor turístico ya que en este caso es el más importante para el objetivo del inventario. Es importante notar que, según esta metodología, ningún sitio posee valores altos o muy altos de VD o VT.

Valoración de sitios de geodiversidad. Dado que el objetivo del inventario es, en este caso, identificar los mejores sitios de geodiversidad para realizar actividades geoturísticas y educativas con base en el Ecolodge El Almejal, el valor turístico y didáctico de los sitios enlistados en el inventario se determinó cuantitativamente (**Tabla 3**).

Tabla 3. Valor Turístico y Valor Didáctico para los Sitios de geodiversidad.

Código	Sitio	Valor Turístico (VT)	Valor Didáctico (VD)
TG001	Salto El Aeropuerto	5,625	4,000
TG009	Desembocadura Río Chadó	4,750	5,875
TG010	Salto El Tigre	4,625	3,750
TG023	Manglar Ensenada de Utría	4,500	4,750
TG008	Playa Cocalito	4,000	3,500
TG022	Playa El Almejal Norte	4,000	4,375
TG012	Cascadas de Bahía Solano	3,875	3,250
TG002	Desembocadura del Río Valle	3,625	4,625
TG003	Playa El Almejal sur	3,625	4,000
TG017	Desembocadura Río Nabugá	3,625	3,250
TG004	Playas del Río Valle	3,500	3,875
TG015	Los Vidales	3,500	3,625
TG019	Playa Huaca	3,500	3,750
TG007	Playa Punta Diego	3,375	3,000
TG013	Piscina del Amor	3,375	3,250
TG020	Playa Mecana	3,375	3,500
TG011	Cueva El Tigre	3,125	3,250
TG018	Playa rocosa de bloques	3,125	2,125
TG021	Playa Cuevita	3,125	4,125
TG005	Playa La Aguada	2,875	2,500

Código	Sitio	Valor Turístico (VT)	Valor Didáctico (VD)
TG016	Grutas y arcos costeros	2,875	3,000
TG014	Afloramiento milonitas La Esso	2,625	3,625
TG006	Punto de erosión Ensenada de Utría	2,500	3,625

3.3.2. Valoración del Riesgo de degradación.

La Tierra es una entidad dinámica. La mayoría de hitos geológicos del planeta están en constante cambio, en diferentes escalas de espacio y tiempo, de modo que los sitios geológicos pueden aparecer y desaparecer, a menudo, incluso en la escala temporal humana de años, décadas o siglos. En cierta medida, tales cambios pueden considerarse degradación y pueden ocurrir ya sea por procesos naturales como la meteorización y la erosión, o por actividades humanas, como la minería, la deforestación, el desarrollo de infraestructura, etc., que pueden aumentar el daño causado por estos procesos naturales o generar un deterioro adicional. Los sitios de geodiversidad, especialmente si son visitados con frecuencia por personas, están en constante riesgo de degradación parcial o total. Por tanto, es responsabilidad de los geocientíficos e instituciones que gestionan la geodiversidad en un territorio, asegurar la conservación de estos sitios (Carcavilla et al., 2007; Brilha, 2016).

Para determinar qué sitios de geodiversidad alrededor del Ecolodge El Almejal tienen mayor riesgo de degradación, se realizó una evaluación mediante la metodología cuantitativa propuesta por Brilha (2016). Esta metodología tiene en cuenta cinco parámetros: Deterioro de elementos geológicos (DT) (35%), Proximidad a áreas/actividades con potencial de causar degradación (PDA) (20%), Protección legal (LP) (20%), Accesibilidad (A) (15%) y Densidad de población (DP) (10%). A partir de los parámetros para cada criterio (ver Brilha, 2016) y su respectivo peso, se calcula un valor ponderado que clasifica el riesgo de degradación en tres categorías: Bajo, Moderado o Alto. Siguiendo esta metodología, los valores por debajo de 200 indican bajo riesgo de degradación, 201-300 riesgo moderado y 301-400 riesgo alto. Los resultados del riesgo de degradación para los 23 sitios de geodiversidad en la zona costera de Bahía Solano se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Valoración del Riesgo de degradación (según el método de Brilha, 2016)

Sitio	DT	PDA	LP	A	PD	Peso total	Clasificación
Salto El Aeropuerto	1	3	4	1	1	200	Bajo
Desembocadura del Río Valle	3	4	4	1	1	290	Moderado
Playa El Almejal Sur	2	3	3	1	1	215	Moderado
Playas del Río Valle	1	1	3	1	1	140	Bajo
Playa La Aguada	2	1	1	0	1	120	Bajo
Punto de erosión Ensenada Utría	4	1	1	0	1	190	Bajo
Playa Punta Diego	2	1	1	0	1	120	Bajo
Playa Cocalito	2	1	1	0	1	120	Bajo
Desembocadura Río Chadó	1	1	4	0	1	145	Bajo
Salto El Tigre	1	1	4	0	1	145	Bajo
Cueva El Tigre	1	1	4	0	1	145	Bajo
Cascadas de Bahía Solano	2	2	4	0	1	200	Bajo
Piscina del Amor	2	4	4	1	1	255	Moderado
Afloramiento milonitas La Esso	3	4	4	2	1	305	Alto
Los Vidales	1	1	4	0	1	145	Bajo
Grutas y arcos costeros	2	1	4	0	1	180	Bajo
Desembocadura Río Nabugá	2	4	3	0	1	220	Moderado
Playa rocosa de bloques	1	4	3	0	1	185	Bajo
Playa Huaca	2	1	4	0	1	215	Moderado
Playa Mecana	3	1	4	0	1	215	Moderado
Playa Cuevita	1	3	4	0	1	185	Bajo
Playa El Almejal Norte	2	4	3	1	1	235	Moderado
Manglar PNN Utría	1	4	1	0	1	145	Bajo

El resumen del riesgo de degradación para los sitios se presenta en la Tabla 5. En esta tabla se busca comparar las diferentes metodologías y clasificaciones del riesgo de degradación de los sitios.

Tabla 5. Comparación del Riesgo de Degradación según el método de Brilha (2016) con la clasificación en tipología, fragilidad y vulnerabilidad de Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez (2010).

Código	Sitio	Riesgo de degradación	Tipología	Fragilidad	Vulnerabilidad
TG001	Salto El Aeropuerto	Bajo	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG002	Desembocadura del Río Valle	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG003	Playa El Almejal Sur	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG004	Playas del Río Valle	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG005	Playa La Aguada	Bajo	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG006	Punto de erosión E. Utría	Bajo	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG007	Playa Punta Diego	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG008	Playa Cocalito	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG009	Desembocadura río Chadó	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG010	Salto El Tigre	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG011	Cueva El Tigre	Bajo	Mirador	Bajo	Alto (la panorámica)
TG012	Cascadas de Bahía Solano	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG013	Piscina del Amor	Moderado	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG014	Los Vidales	Alto	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG015	Piscina del Amor	Bajo	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG016	Grutas y arcos costeros	Bajo	Mirador	Bajo	Alto (la panorámica)
TG017	Desembocadura Río Nabugá	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG018	Playa rocosa de bloques	Bajo	Punto	Bajo a Alto	Alto
TG019	Playa Huaca	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG020	Playa Mecana	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG021	Playa Cuevita	Bajo	Área	Bajo	Bajo
TG022	Playa El Almejal Norte	Moderado	Área	Bajo	Bajo
TG023	Manglar Ensenada de Utría	Bajo	Área	Bajo	Bajo

3.3.3. Análisis del inventario y de la valoración cuantitativa

Como apuntan Vergara et al., (2019), el ejercicio del inventario resulta en una gran cantidad de información que puede ser analizada para identificar tendencias y patrones útiles para tomar decisiones en los pasos futuros de gestión y manejo de la geodiversidad en una región. En este caso, la distribución geográfica, los resultados del valor turístico, el valor didáctico y el riesgo de degradación fueron analizados.

3.3.3.1. Distribución geográfica y tipología de los sitios.

Dos puntos críticos de sitios de geodiversidad pueden observarse en el mapa de distribución (Figura 10). El primero se ubica alrededor de la desembocadura del Río El Valle y la playa de El Almejal, y el segundo en el Parque Nacional Natural Utría. Esta distribución está influenciada por la accesibilidad de los sitios, ya que gran parte del litoral estudiado es inaccesible, al estar conformado por paredes rocosas donde una lancha no puede anclar y desembarcar. La accesibilidad también explica que casi la mitad de los sitios de geodiversidad inventariados estén asociados a playas. Además de las playas, afloramientos rocosos, geoformas como stack marinos y estuarios componen el inventario. Como se explica más adelante, esta distribución de los sitios se aprovechó para diseñar las georutas, ya que tanto la playa El Almejal como el Parque Utría son lugares turísticos de relativo fácil acceso. Es probable que existan más sitios con interés educativo y turístico en el área de estudio, ubicados en áreas terrestres no exploradas durante este proyecto, así como en zonas costeras a las que no se pudo acceder.

3.3.3.2. Valor turístico y educativo.

Los sitios sin interés científico, pero con interés educativo o turístico también pueden ser conservados como parte de la geodiversidad de la que la sociedad puede beneficiarse de manera sostenible. En el caso del Valor Didáctico (VD), los sitios de geodiversidad deben ser fácilmente entendidos por los estudiantes y maestros, así como garantizar un fácil acceso a lugares donde los visitantes puedan disfrutar de estos elementos en condiciones de seguridad (Brilha, 2016). Asimismo, los sitios con alto Valor Turístico (VT), deben tener alta belleza, y para este estudio, la posibilidad de desarrollar actividades de recreación o esparcimiento.

Al clasificar los sitios por VT o VD se evidenció el potencial turístico de algunos. Por ejemplo, la cascada Salto El Aeropuerto (TG001), la desembocadura del Río Chadó (TG009), la cascada Salto El Tigre (TG010) y la Playa Almejal (TG022, TG003) son sitios de excepcional belleza, asociados a otros intereses y con actividades eco-turísticas ya existentes (avistamiento de ballenas, tortugas y aves, senderismo, etc.). Del mismo modo, algunos sitios, en virtud de su fácil acceso, seguridad o potencial didáctico, podrían utilizarse con fines educativos. Por ejemplo, los manglares de Ensenada de Utría (TG023) poseen senderos elevados y servicios logísticos básicos al formar parte de un Parque Nacional. Incluso si su interés principal parece no ser “geológico”, este sitio puede usarse para discutir la interacción entre los dominios continental y oceánico y los servicios ecosistémicos que estos importantes biomas brindan, por ejemplo, hábitat de pesca y otra fauna, captura de CO₂, control de la erosión costera, etc. La desembocadura del Río Chadó (TG009), de fácil acceso en lancha, posee diversidad de rasgos geomorfológicos y litológicos, y amplios espacios para desarrollar actividades educativas relacionadas con sus elementos de geodiversidad. La desembocadura del Río Valle tiene unas condiciones similares y se puede llegar a pie desde El Almejal en un recorrido de menos de 20 minutos. A pesar de estas perspectivas favorables, los resultados del método cuantitativo subestiman el potencial turístico y didáctico de los sitios. Las condiciones de accesibilidad, logística e infraestructura son diferentes en esta parte remota del país donde el acceso a los servicios básicos puede ser difícil y el transporte es principalmente por mar. Así, algunos de los parámetros en el método utilizado no se ajustan a las condiciones de la zona de estudio. Para futuros estudios acerca de la geodiversidad y el patrimonio geológico en el Litoral Pacífico colombiano, se recomienda adaptar algún método cuantitativo ya existente a las condiciones geológicas, socioeconómicas, geográficas, económicas y de infraestructura particulares de esta región.

3.3.3.3. Riesgo de degradación.

Alrededor del 65 % de los sitios presentan bajas posibilidades de degradación según la evaluación realizada. De acuerdo a los criterios de valoración de este método, la situación positiva podría explicarse por dos motivos principales. Primero, el difícil acceso a la mayoría de los sitios, solo accesibles por barco y lejos de cualquier asentamiento urbano. Este aislamiento también reduce la proximidad a actividades que pueden causar degradación como canteras, minas, carreteras o grandes asentamientos humanos. En segundo lugar, la mayoría de los sitios son elementos geomorfológicos de tamaño considerable, no

vulnerables a la extracción de especímenes y no fácilmente afectados por las actividades antrópicas. En este sentido, algunos sitios tienen riesgo moderado de degradación ya que están constituidos por pequeños elementos que podrían deteriorarse, por estar ubicados cerca de los pocos asentamientos humanos de la zona, o por inexistencia de protección legal y falta de control de acceso. El único sitio con alto riesgo de degradación es el sitio de milonitas de La Esso (TG014), ya que se trata de un afloramiento altamente fracturado y alterado con materiales no consolidados, ubicado en el trazo de una falla mayor. Dado que la mayoría de los sitios de geodiversidad en este inventario están ubicados en áreas costeras, obviamente son susceptibles de desaparecer con el tiempo, ya sea por meteorización y erosión costera o por aumentos en el nivel global del mar asociado al cambio climático.

A pesar del panorama favorable, estos elementos son propensos a verse afectados por la actividad turística intensiva, así como los elementos de fauna y flora que están con frecuencia asociados a los sitios. Las actividades de geoturismo deben realizarse de manera responsable, de pequeño flujo, desalentando la extracción de muestras de rocas o arenas, la alteración de las superficies rocosas, y la realización de otras actividades turísticas destructivas. La clasificación de tipología de Fuertes-Gutiérrez & Fernández-Martínez (2010) puede no corresponder con el riesgo real de degradación de los sitios, pero proporciona una idea de la naturaleza de estos lugares y se puede utilizar para explicar fácilmente la relación entre la naturaleza de los sitios y su posibilidad de degradación.

4. PROPUESTAS DE GEOTURISMO PARA LA RESERVA NATURAL ECOLODGE EL ALMEJAL

Luego de evaluar cualitativa y cuantitativamente los valores de los sitios de geodiversidad alrededor del Ecolodge El Almejal, se seleccionaron algunos sitios con el objetivo de establecer un conjunto de georutas para promover las actividades de geoturismo en el Ecolodge. Se diseñó material complementario de información e interpretación, ya que existe la posibilidad de establecer un centro interpretativo sobre la geodiversidad e historia geológica de la región

en la sede de Ecolodge.

4.1. Selección de los sitios

Para el propósito de las actividades de geoturismo y educación en el Ecolodge El Almejal, inicialmente se incluyeron sitios de geodiversidad con alto valor recreativo y educativo. Sin embargo, las actividades turísticas también se consideran una amenaza para la geodiversidad, y el impacto de los visitantes debe ser considerado en una estrategia de geoconservación (Gray, 2004; Lima et al., 2017). Por lo tanto, los sitios frágiles con alto riesgo de degradación no deben considerarse para un uso turístico.

La selección de los sitios de geodiversidad para el Ecolodge El Almejal se realizó siguiendo varios criterios que incluyen: 1) Valor Turístico, 2) proximidad a las instalaciones del hotel, 3) riesgo de degradación, 4) accesibilidad; y 5) seguridad. Se privilegiaron los sitios con alto valor turístico, bajo riesgo de degradación y fácil acceso desde el Ecolodge. Finalmente, solo 9 de los 23 sitios de geodiversidad fueron incluidos en la propuesta geoturística del proyecto (Tabla 6). La propuesta geoturística se materializó en 3 itinerarios o rutas geoturísticas (Figura 8), además de una iniciativa para desarrollar un centro geodidáctico o centro interpretativo ubicado en el Ecolodge.

Tabla 6. Sitios de geodiversidad incluidos en la propuesta geoturística

Código	Nombre	Valor Turístico (VT)	Riesgo de degradación (según el método de Brilha, 2016)	Tipología
TG003	Playa El Almejal Sur	3,625	Moderado	Área
TG002	Desembocadura del Río Valle	3,625	Moderado	Área
TG022	Playa El Almejal Norte	4,000	Moderado	Área
TG010	Salto El Tigre	4,625	Bajo	Punto
TG009	Desembocadura Río Chado	4,750	Bajo	Área
TG021	Playa Cuevita	3,125	Bajo	Área
TG008	Playa Cocalito	4,000	Bajo	Área
TG007	Playa Punta Diego	3,375	Bajo	Punto
TG023	Manglar Ensenada de Utría	4,500	Bajo	Área

Algunos sitios no incluidos en el inventario también fueron considerados para el itinerario geoturístico, ya que eran lugares turísticos para el Ecolodge, como el centro interpretativo y la playa frente al hotel, que se utiliza meramente con fines recreativos.

4.2. Georutas

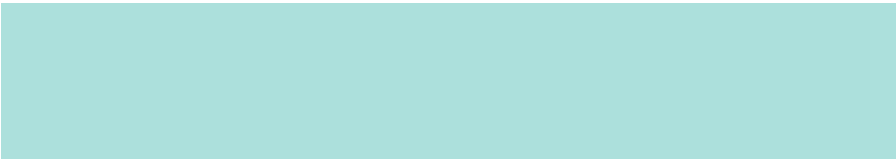
El itinerario geológico se dividió en tres rutas. La lista de estaciones y el mapa de las rutas se muestra en la Tabla 7 y la Figura 11.

4.2.1. Ruta A “El Almejal”.

Se trata de un breve itinerario introductorio que recorre 1,4 km a lo largo de cuatro estaciones en un terreno completamente plano y accesible a lo largo de la playa. Se sugiere hacer la ruta caminando, pero también existe una alternativa para proceder en bicicleta, ya que algunos lugareños lo hacen. También se recomienda recorrer esta ruta con marea baja o descendente, ya que algunos sectores rocosos de la playa incluidos en el itinerario (conocidos localmente como longos) se inundan cuando la marea está alta. Esta ruta se inicia en el centro interpretativo del Ecolodge El Almejal, y continúa por el litoral desde el hotel hasta la desembocadura del Río El Valle. Algunos de los temas abordados en esta ruta son el origen de lavas almohadilladas en la playa, la formación de las arenas negras, el clima de la región biogeográfica del Chocó y la interacción entre el mundo terrestre y oceánico en los estuarios de la zona.

4.2.2. Ruta B “Norte”.

Consta de 5,3 km distribuidos en tres estaciones. Debe realizarse en lancha y en compañía de un guía del Ecolodge. Se trata de un viaje de medio día, comenzando el contenido geológico con las características litológicas de los basaltos y los ecosistemas en las piscinas de marea de la playa El Almejal, para luego continuar por dos lugares altamente turísticos, el Río Chadó y el Salto El Tigre. En estos dos sitios turísticos, con paisajes asombrosos, es posible apreciar y discutir el desarrollo de algunos accidentes geográficos como plataformas de abrasión, cascadas, acantilados rocosos, y ondulitas.



4.2.3. Ruta C “Utría”.

Esta ruta debe su nombre al Parque Nacional Natural Ensenada de Utría, donde se ubican tres de las estaciones de esta ruta. Es el itinerario más largo, con casi 20 km por recorrer en lancha. En esta ruta se aprecia la diferencia entre playas de arena negra y playas blancas (material bioclástico). También es una oportunidad para observar características estructurales como fallas en la ensenada Utría y discutir en medio del manglar la interacción entre los medios bióticos y abióticos.



Figura 11. Izquierda: Ruta A “El Almejal”. Centro: Ruta B “Norte”. Derecha: Ruta C “Utría”. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Tabla 7. Estaciones y conceptos clave en las 3 rutas.

Estación	Concepto clave	Conceptos secundarios
Ruta A “El Almejal”		
A-1 Centro Interpretativo	Introducción a la geología de la región del Chocó	Geomorfología costera, Interacciones océano-atmósfera
A-2 Playa El Almejal	Clima del Chocó: precipitaciones, barreras orográficas	Ciclos mareales; Magnetismo en las arenas
A-3 Playa El Almejal sur	Lavas almohadilladas y cómo ayudan a entender la historia geológica de la región	Deriva litoral
A-4 Desembocadura del río Valle	Dinámica de un estuario	Sedimentos marinos vs continentales

Estación	Concepto clave	Conceptos secundarios
Ruta B “Nore”		
B-1 Playa El Almejal norte	Piscinas mareales como hábitat	<i>Stacks</i> y otras geoformas marinas
B-2 Salto El Tigre	Plataformas de abrasión y erosión costera	Piedras ornamentales; El origen de una cascada
B-3 Río Chadó	Ondulitas y su formación	Dinámica estuarina

Estación	Concepto clave	Conceptos secundarios
Ruta C “Utría”		
C-1 Playa Cuevita	La playa como geoformas	Tortugas marinas y su ovación en las playas; Interacción geología/biología
C-2 Playa Cocalito	Piscinas mareales como hábitat	Lavas almohadilladas
C-3 Playa Punta Diego	Corales y el origen de las arenas blancas	Sedimentos y fauna marina: corales, moluscos, equinodermos, gasterópodos, bivalvos.
C-4 Manglar Ensenada de Utría	Manglares y su importancia	La falla de Utría y la formación de la ensenada

4.3. Material complementario

Se diseñó algún material complementario a las rutas de geoturismo, como un catálogo de rocas (Figura 12), folletos para la promoción de las georutas (Figura 13), y varias infografías para difundir en línea o in situ en el Centro de Interpretación (Figura 14).

Figura 12. Ejemplos del catálogo digital de rocas de El Almejal.

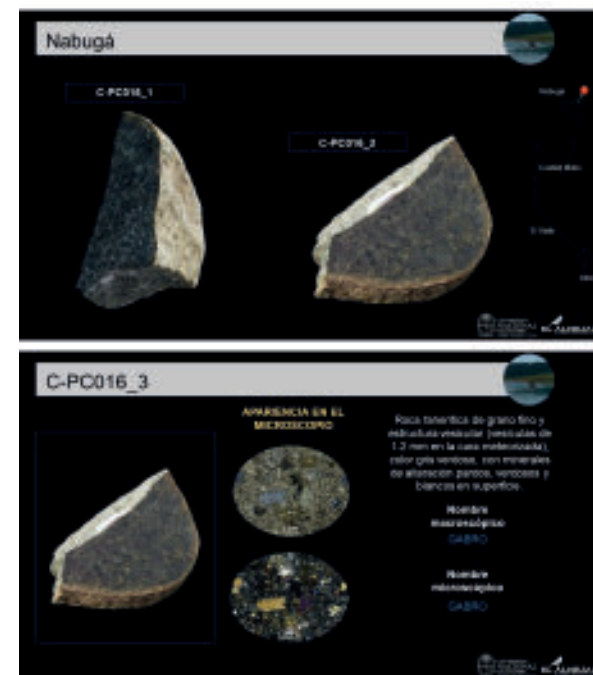
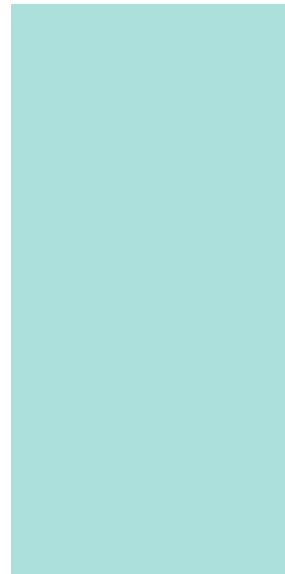


Figura 13. Folleto turístico de la Ruta A “El Almejal”.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Infografía diseñada para exponer en el Centro de Interpretación dentro del Ecolodge El Almejal.

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

El Chocó, una región con gran riqueza cultural y natural, es también una región geodiversa en cuanto a variedad litológica y procesos geológicos. En esta región colombiana, la conexión entre la historia geológica y la evolución de la flora y la fauna puede evidenciarse de manera especial, en la medida en que los eventos geológicos dieron lugar a hitos en la historia del planeta como la separación de los océanos Atlántico y Pacífico y el gran intercambio biótico entre las Américas. Con herramientas de información e interpretación adecuadas, esta historia se puede abordar desde las rocas basálticas de origen oceánico que afloran en el litoral de Bahía Solano y en los alrededores del Ecolodge El Almejal. Esta zona tiene sin duda gran potencial para desarrollar actividades didácticas y educativas. Además, la diversidad de elementos y procesos naturales como rocas volcánicas, rocas sedimentarias, arenas y sedimentos, erosión costera, dinámica de estuarios, ciclos mareales, altas precipitaciones, etc., hacen del área de estudio una localidad clave para estudiar las interacciones entre las distintas esferas terrestres (*lito-, atmos-, hidros-, bios-, tecnos-, etc.*). Este contexto también presenta una oportunidad para reflexionar acerca de la geodiversidad como una parte integral del entorno natural que debe integrarse y protegerse junto con la biodiversidad. Debido a los extraordinarios recursos naturales de la zona, estos se ven amenazados por actividades extractivas a pequeña y gran escala. Estas amenazas afectan tanto la biodiversidad como la geodiversidad de la región.

El inventario de sitios de geodiversidad en los alrededores del Ecolodge El Almejal arrojó un total de 23 lugares con especial interés turístico o didáctico. Los intereses considerados en el inventario fueron Recreación (R), Estética (A), Educación (E) y Ciencia (C). La mayoría de sitios corresponde a formas del paisaje como playas o cascadas, y afloramientos rocosos en los que se conjugan escenarios de alto valor estético con elementos de alto potencial didáctico y áreas con posibilidad de actividades recreativas. Ya que al seleccionar los sitios para el proyecto geoturístico se consideraron factores como proximidad al ecolodge, valor turístico, accesibilidad, seguridad para los visitantes y riesgo de degradación de los elementos geológicos, solo 9 de los 23 sitios de geodiversidad se incluyeron en el proyecto piloto de geoturismo en El Almejal.

Si bien muchos de los sitios poseen alto interés turístico o educativo debido a la espectacularidad del paisaje, a las posibilidades de hacer actividades recreativas, al fácil acceso por bote, a la importancia para las comunidades locales, entre otros, los puntajes numéricos obtenidos no representan el potencial real del uso turístico o educativo de los sitios de geodiversidad. Esto es debido a los criterios y parámetros en la metodología utilizada su valoración. Sin embargo, la clasificación de los sitios usando estos puntajes fue útil para comparar los sitios dentro del área de estudio y tener un panorama general de los sitios con mayor potencial para ser incluidos en las georutas con fines educativos y turísticos en el Ecolodge El Almejal. Es importante señalar que la valoración cuantitativa no es una evaluación precisa y real de los sitios, sino más bien una herramienta para realizar comparaciones entre sitios geológicos dentro de un área definida, y utilizar como base para decisiones de manejo y gestión de la geodiversidad. En este caso, sin embargo, el método cuantitativo utilizado resultó en puntajes que subestiman globalmente el valor turístico y didáctico real de los sitios. Algunas razones pueden ser: 1) la metodología fue diseñada para un inventario a escala nacional, 2) el pequeño tamaño del área de estudio, 3) la metodología no está adaptada a las condiciones particulares de la región del Pacífico colombiano. De manera similar, el estado de rareza o localidad clave de los sitios es difícil de definir en una región prácticamente inexplorada y sin una cartografía geológica detallada. Cualquier proyecto de gestión y manejo de la geodiversidad en el futuro deberá incluir las comunidades locales en todas las etapas, desde el inventario y la valoración hasta la gestión y conservación de los sitios geológicos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Barbosa-Espitia, Á. A., Kamenov, G. D., Foster, D. A., Restrepo-Moreno, S. A., & Pardo-Trujillo, A. (2019). Contemporaneous Paleogene arc-magmatism within continental and accreted oceanic arc complexes in the northwestern Andes and Panama. *Lithos*, 348, 105185. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.105185>

Billups, K., Ravelo, A. C., Zachos, J. C., Norris, R. D. (1999). Link between oceanic heat transport, thermohaline circulation, and the Intertropical Convergence Zone in the early Pliocene Atlantic. *Geology*, 27(4), 319-322. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1999\)027%3C0319:LBOHTT%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1999)027%3C0319:LBOHTT%3E2.3.CO;2)

Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: A Review. *Geoheritage*, 8 (2), 119–134. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

Brilha, J., Gray, M., Pereira, D. I., Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Policy*, 86, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>

Carcavilla, L., López-Martínez, J., Durán, J. J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Serie Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, 7, Madrid

Cediel, F., Shaw R.P., Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartolini, R. T. Buffer, and J. Blickwede (Eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics* (pp. 815- 848). AAPG Memoir 79. <https://doi.org/10.1306/M79877C37>

Coates, A. G., Jackson, J. B., Collins, L. S., Cronin, T. M., Dowsett, H. J., Bybell, L. M., ... Obando, J. A. (1992). Closure of the Isthmus of Panama: the near-shore marine record of Costa Rica and western Panama. *Geological Society of America Bulletin*, 104(7), 814-828. <https://doi.org/10.1130/0016-7606%281992%29104%3C0814%3ACOTIOP%3E2.3.CO%3B2>

Coates, A.G., Collins, L.S., Aury, M. P., Berggren, W.A. (2004). The geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. *GSA Bulletin* 116, 1327-1344. <https://doi.org/10.1130/B25275.1>

Coates, A. G., Stallard, R. F. (2013). How old is the Isthmus of Panama? *Bulletin of Marine Science*, 89 (4), 801-813.
<https://doi.org/10.5343/bms.2012.1076>

Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., & Fan, J. X. (2013). The ICS international chronostratigraphic chart. *Episodes*, 36(3), 199-204.
<https://doi.org/10.18814/epiugs/2013/v36i3/002>

Cossio, U. (1994). Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Chocó. Memoria Explicativa. Instituto de Investigaciones en Geología, Minería y Química INGEOMINAS.

Cossio, U. (2002). Geología de las Planchas 127 Cupica, 128 Murri, 143 Bahía Solano y 144 Río Tagachí. Departamentos del Chocó y Antioquia. INGEOMINAS, 101p. Bogotá.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). Censo general 2005. Recuperado el 22 de marzo de 2019 de:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticaspor-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018. Retrieved from
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-VIHOPE-v2.xls>

Donegan, T., Verhelst, J. C., Ellery, T., Cortés-Herrera, O., Salaman, P. (2016). Revision of the status of bird species occurring or reported in Colombia 2016 and assessment of BirdLife International's new parrot taxonomy. *Conservación Colombiana*, 24(12-36).

Duque-Caro H. (1990a). El Bloque Chocó en el noroccidente suramericano: Implicaciones estructurales, tectonoestratigráficas y paleogeográficas. *INGEOMINAS, Boletín Geológico*, 31 (1), 49-84.

Duque-Caro, H. (1990b). Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77(3-4), 203-234.

Farris, D. W., Jaramillo, C., Bayona, G., Restrepo-Moreno, S. A., Montes, C., Cardona, A., ... & Valencia, V. (2011). Fracturing of the Panamanian Isthmus during initial collision with South America. *Geology*, 39(11), 1007-1010.

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.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12371-010-0012-y>

Gill, J. C. (2017). Geology and the sustainable development goals. *Episodes*, 40(1), 70-76.
<https://doi.org/10.18814/epiugs/2017/v40i1/017010>

Gómez-Tapias, J.; Montes, N.; Nivia, A.; Diederix, H. 2015. Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.000.000. Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Bogotá

Gordon, J. E., & Barron, H. F. (2012). Valuing geodiversity and geoconservation: developing a more strategic ecosystem approach. *Scottish Geographical Journal*, 128(3-4), 278-297.
<https://doi.org/10.1080/14702541.2012.725861>

Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons.

Gray, M. (2011). Other nature: geodiversity and geosystem services. *Environmental Conservation*, 38(3), 271-274.

Gray, M. (2019). Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 226-236.
<https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>

Hoorn, C., Perrigo, A., Antonelli, A. (2018). *Mountains, Climate and Biodiversity*. John Wiley & Sons.

INGEOMINAS. (1998). *Geomorfología y aspectos erosivos del litoral Pacífico colombiano*. Publicación Geológica Especial No. 21. Bogotá, 111p.

Jackson, J.B.C., Jung, P., Coates, A.G., Collins, L.S. (1993). Diversity and extinction of tropical American mollusks and emergence of the Isthmus of Panama: *Science*, v. 260, no. 5114, p. 1624–1626, <https://doi.org/10.1126/science.260.5114.1624>.

Kamikuri, S. I., Motoyama, I., Nishi, H., Iwai, M. (2009). Evolution of Eastern Pacific Warm Pool and upwelling processes since the middle Miocene based on analysis of radiolarian assemblages: Response to Indonesian and Central American Seaways. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(3-4), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.06.034>

Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, A., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F., Sinton, C.W. (1997a). Cretaceous basaltic terranes in Western Colombia: Elemental, chronological and Sr-Nd isotopic constraints on petrogenesis. *Journal of Petrology*, 38, 677–702. <https://doi.org/10.1093/petroj/38.6.677>

Kerr, A.C., Tarney, J., Marriner, G.F., Nivia, A., Saunders, A.D. (1997b). The Caribbean Colombian cretaceous igneous province: The internal anatomy of an oceanic plateau. *Geophysical Monograph Series*, 100, 123–144. <https://doi.org/10.1029/GM100p0123>

Lara-Rodríguez, J. S., Furtado, A. T., & Altimiras-Martin, A. (2020). Minería del platino y el oro en Chocó: pobreza, riqueza natural e informalidad. *Revista de Economía Institucional*, 22(42), 241–268. <https://doi.org/10.18601/01245996.v22n42.10>

Lima, F. F., Brilha, J., Salamuni, E. (2010). Inventory of geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage* 2 (3): 91–99. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-010-0014-9>

Lima, A., Nunes, J. C., Brilha, J. (2017). Monitoring of the Visitors Impact at “Ponta da Ferraria e Pico das Camarinhas” Geosite (São Miguel Island, Azores UNESCO Global Geopark, Portugal). *Geoheritage*, 9(4), 495–503. <http://doi.org/10.1007/s12371-016-0203-2/>

Lunt, D. J., Valdes, P. J., Haywood, A., Rutt, I. C. (2008). Closure of the Panama Seaway during the Pliocene: implications for climate and Northern Hemisphere glaciation. *Climate Dynamics*, 30(1), 1–18. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2008ClDy...30....1L/do
[i:10.1007/s00382-007-0265-6](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2008ClDy...30....1L/doi:10.1007/s00382-007-0265-6)

Macia, C. (1985). Características petrográficas y geoquímicas de rocas basálticas de la Península de Cabo Corrientes (serranía de Baudó), Colombia. *Geología Colombiana*, 14, 25–37.

Marshall, L. G., Webb, S. D., Sepkoski, J. J., Raup, D. M. (1982). Mammalian evolution and the great American interchange. *Science*, 215(4538), 1351–1357. <https://doi.org/10.1126/science.215.4538.1351>

Mittermeier, R.A., Meyer, N., Mittermeier, C.G. (1999). Hotspots: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Conservation International and Agrupacion Sierra Madre, Monterrey, Mexico. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2002\)083%3C0630:%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2002)083%3C0630:%3E2.0.CO;2)

Mittermeier, R.A., Turner, W.R., Larsen, F.W., Brooks, T.M., Gascon, C. (2011). Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots, *Biodiversity hotspots*. Springer, 3–22. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_1

Montes, C., Bayona, G., Cardona, A., Buchs, D. M., Silva, C. A., Morón, S., ... & Valencia, V. (2012). Arc-continent collision and orocline formation: Closing of the Central American seaway. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B4). <https://doi.org/10.1029/2011JB008959>

Moreno, G. R., & Ledezma-Rentería, E. (2007). Efectos de las actividades socio-económicas (minería y explotación maderera) sobre los bosques del departamento del Chocó. *Revista institucional universidad tecnológica del Chocó*, 26(1), 58–65.

Moreno, L. A., Rueda, C., & Andrade, G. (2017). Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (Ed.), *Biodiversidad*, 84.

Municipio de Bahía Solano. (2012). Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias. Bahía Solano-Chocó.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403 (6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

Ortíz, H. L., Pérez, J. F., Velásquez, J., Lemus, T., Giron, E., Liloy, F., Mosquera, H... Ruíz, J. C. (2016). Bahía Solano: Cambiando para mejorar. Plan de desarrollo municipal 2016-2019. Retrieved from: http://bahiasolanochocho.micolombiadigital.gov.co/sites/bahiasolanochocho/content/files/000021/1023_plandedesarrollo-bahia-solano.pdf

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2020). Registro Único Nacional de Áreas Protegidas –RUNAP. Retrieved from <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/sistema-nacional-de-areasprotegidas-sinap/registro-unico-nacional-de-areas-protegidas>

Posada, B.O., Henao, W., Guzmán, G. (2009). Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta, 148 p.

Poveda, G., Mesa, O. J. (1999). La corriente del Chorro Superficial del Oeste ("Del Chocó") y otras dos corrientes de chorro en Colombia: climatología y variabilidad durante las fases del ENSO. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 23 (89), 517-528.

Ramírez, J. E. (1971). El terremoto de Bahía Solano del 26 de septiembre de 1970 (informes técnicos, Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional para el Desarrollo del Chocó), 5-52.

Rawat, U. S., & Agarwal, N. K. (2015). Biodiversity: concept, threats and conservation. Environment Conservation Journal, 16(3), 19-28. <http://dx.doi.org/10.36953/ECJ.2015.16303>

Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (1988). Terranes and continental accretion in the Colombian Andes. Episodes Journal of International Geoscience, 11(3), 189-193. <http://dx.doi.org/10.18814/epiugs/1988/v11i3/006>

Restrepo-Moreno, S. A., Foster, D. A., Bernet, M., Min, K., Noriega, S. (2019). Morphotectonic and orogenic development of the Northern Andes of Colombia: A low- temperature thermochronology perspective. In Geology and Tectonics of Northwestern South America (pp. 749-832). Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_11

Reverte, F. C., Garcia, M. D. G. M., Brilha, J., Pellejero, A. U. (2020). Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanised areas: A case study of the Taubaté Basin, Brazil. Environmental Science & Policy, 112, 91-106. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.015>

Santos, J.O.S., Hartman, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Fletcher, I.R. (2000). A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. Gondwana Research, 3 (4): 453-488. [http://dx.doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70755-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70755-3)

Stehli, F. G., & Webb, S. D. (Eds.) (2013). The great American biotic interchange (Vol. 4). Springer Science & Business Media.

World Wildlife Fund. (2017). A look at the natural world of Colombia. Retrieved from <https://www.worldwildlife.org/magazine/issues/winter-2017/articles/a-look-at-the-natural-world-of-colombia#:~:text=Colombia%20is%20the%20second%20most,anywhere%20else%20in%20the%20world.>

CAPÍTULO 7

VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO Y GEORRECURSOS CULTURALES EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA (COLOMBIA): FASE INICIAL DE RECONOCIMIENTO

Harlison Torres-Herrera^{1*}, Caridad Brito-Ballesteros², Franklin Emir Torres³, Maria Isabel Marín-Cerón⁴

¹DataRock Ingeniería SAS; ²Universidad de la Guajira; ³Universidad de Ibagué

⁴Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo de Geología Ambiental y Tectónica (GAT), Área de territorios y ciudades, Universidad EAFIT

RESUMEN

La valoración cuantitativa de Lugares de Interés Geológico (LIG) y del patrimonio geológico es una temática relativamente reciente en Colombia que se fortalece con la implementación de políticas enfocadas en la unificación de metodologías y conceptos. En la valoración cuantitativa de LIG y georrecursos culturales en el Tolima se obtuvieron un LIG de valor muy alto, uno con valor alto, nueve con valor medio y ocho de valor bajo. En valor didáctico, 17 LIG presentan valor medio y dos con valor bajo y para el valor turístico un LIG tiene valor alto, 17 tienen valor medio y uno tiene valor bajo. Los LIG identificados, se convierten en una importante estrategia para la divulgación científica y turística de la región, mediante la cual se puede navegar sobre el maravilloso proceso formador de la Cordillera Central desde el Precámbrico hasta el Cenozoico, seguido del modelamiento cuaternario, incluyendo procesos glaciares, kársticos y tectónicos. Este estudio hace parte del proyecto de investigación código PSIV-18039 de la Fundación Universitaria del Área Andina.

Palabras clave: *patrimonio geológico, Lugares de Interés Geológico, georrecursos culturales, valoración, Tolima.*

ABSTRACT

The quantitative valuation of Sites of Geological Interest (LIG) and geological heritage is a relatively recent issue in Colombia that is strengthened with the implementation of policies focused on the unification of methodologies and concepts. In the quantitative assessment of LIG and cultural georesources in the Tolima department, a very high value LIG was obtained, one with a high value, nine with a medium value and eight with a low value. For the didactic value, 17 LIG have a medium value and two with a low value and for the tourist value one LIG has a high value, 17 have a medium value and one has a low value. The LIG identified become an important strategy for the scientific and tourist divulgation of the region, through which it is possible to navigate on the wonderful formation process of the Central Cordillera from the Precambrian to the Cenozoic, followed by quaternary modeling, including glacial, karst and tectonic processes. This study is part of the research project (PSIV-18039) at the Area Andina University Foundation.

Keywords: *Geological heritage, Sites of Geological Interest, cultural georesources, assessment, Tolima.*

INTRODUCCIÓN |

El estudio del patrimonio geológico se desarrolla a partir de inventarios y valoración tanto cualitativa como cuantitativa de Lugares de Interés Geológico (LIG), en los que se establece su potencial para ser utilizado en proyectos de desarrollo sostenible como es el caso del geoturismo y la geoconservación. Cuando un LIG presenta un elevado valor científico y/o es susceptible de ser utilizado y gestionado como sitio de interés que incrementa la capacidad de atracción de un territorio, llevando al mejoramiento de la calidad de vida de su comunidad, entonces puede ser tratado bajo el concepto de georrecurso cultural (Carcavilla, et al., 2007).

El patrimonio geológico ha tomado una especial relevancia internacional en los últimos 20 años, en los que se ha avanzado especialmente en metodologías para su estudio, originando una variedad de estudios aplicados a la valoración de LIG (p. e. Carcavilla, et al. 2007; Fassoulas & Mouriki, 2012; Henriques et al. 2013; Brilha, 2016).

En Colombia, se han realizado importantes avances en la construcción y adaptación de metodologías de estudio de LIG, generando también una serie de estudios sobre el patrimonio geológico en diferentes partes de Colombia (ver: Colegial et al., 2002; Betancurth, 2003; Molina & Mercado, 2003; Torres-Herrera & Molina-Escobar, 2012; Rendón-Rivera et al., 2013; Jaramillo-Zapata et al., 2014; Rendón-Rivera et al., 2017; Gelvez-Chaparro et al., 2020). Así mismo, se conocen propuestas de aprovechamiento del patrimonio geológico de Colombia a través del geoturismo (p.e. Tavera Escobar et al., 2017; Gelvez-Chaparro et al., 2018; Sánchez-Botello et al., 2018).

El Gobierno de Colombia, a través del Decreto 1353 de 2018 y la Resolución 732 de 2018, establece definiciones, normativas estatales enfocadas en la identificación, protección, conservación, rehabilitación y difusión del patrimonio geológico y paleontológico por medio del Sistema de Gestión Integral del Patrimonio Geológico y Paleontológico del país, con el Servicio Geológico Colombiano (SGC) como organismo regulador. A partir de estas disposiciones, el SGC con apoyo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) establece una metodología de valoración cuantitativa del patrimonio geológico y paleontológico inmueble para el caso de Colombia (SGC & IGME, 2015).

Para este trabajo se ha aplicado la metodología de inventario propuesta por Carcavilla et al., (2007) y para la valoración cuantitativa de LIG se utilizó la metodología definida por (SGC & IGME, 2015), en una zona de estudio que cubre diez municipios del departamento del Tolima. La delimitación del área de estudio tuvo en cuenta los municipios que tienen como eje central la vía Panamericana que comunica a la ciudad de Ibagué con las tres ciudades más grandes de Colombia (Bogotá, Medellín y Cali).

Fueron identificados y valorados diecinueve (19) LIG entre los que se encuentran algunos que por su importancia en la historia y la cultura local y nacional se han definido como georrecursos culturales. A partir de los resultados obtenidos y de la información recolectada, se proponen alternativas para la integración de los LIG en iniciativas de desarrollo sostenible que posibiliten la divulgación del patrimonio geológico y permitan establecer estrategias para su geoconservación con el soporte de la comunidad en la que se encuentran.

2. HISTORIA GEOLÓGICA REGIONAL

El área definida para el inventario de LIG en el departamento del Tolima, se encuentra ubicada en el borde oriental de la Cordillera Central, en la Región Andina de Colombia. Esta zona contiene una importante geodiversidad representada en diferentes tipos de rocas y estructuras tectónicas que son el resultado de la evolución geológica del norte de los Andes. La Figura 1 muestra la evolución geológica de la zona de estudio y la Figura 2 muestra su configuración geológica actual.

Estratigráficamente, se encuentran diferentes macizos metamórficos que van desde el Precámbrico hasta el Jurásico, como los son: Anfibolita de Tierradentro posible relictos del supercontinente Rodinia (Ordóñez-Carmona et al., 2006; Kroonenberg, 2019); Complejo Cajamarca (p.e. Maya & González, 1995; Blanco-Quintero et al., 2014; Cediél, 2019), afectados por varios ciclos orogénicos hasta el Pérmico-Triásico asociado a la conformación del Supercontinente Pangea (e.g. Núñez-Tello & Murillo-Rodríguez, 1982; Maya & González, 1995; Blanco-Quintero et al., 2014; Cediél, 2019).

Los procesos anteriormente mencionados, podrían involucrar el cierre de una cuenca tras-arco (Complejo Cajamarca) cuyo origen se interpreta a partir de dos modelos: i) un contexto de margen tipo Andino y ii) un contexto de colisión continental (Cediél, 2019). El protolito del cinturón metamórfico del Paleozoico, se pudo originar a partir de una intercalación de sedimentos y rocas volcánicas en contextos de margen continental y/o arco de isla intraoceánico (p.e. Blanco-Quintero et al., 2014; Cediél, 2019). Los procesos orogénicos del Paleozoico indujeron el levantamiento de la Proto-Cordillera Central, con subsecuentes procesos erosivos, que se consideran la fuente de los sedimentos de la Formación Luisa (Núñez-Tello & Murillo-Rodríguez, 1982), en ambientes continentales en llanuras aluviales bajas, afectadas por periodos de inundación y desecación (Cediél et al., 1980).

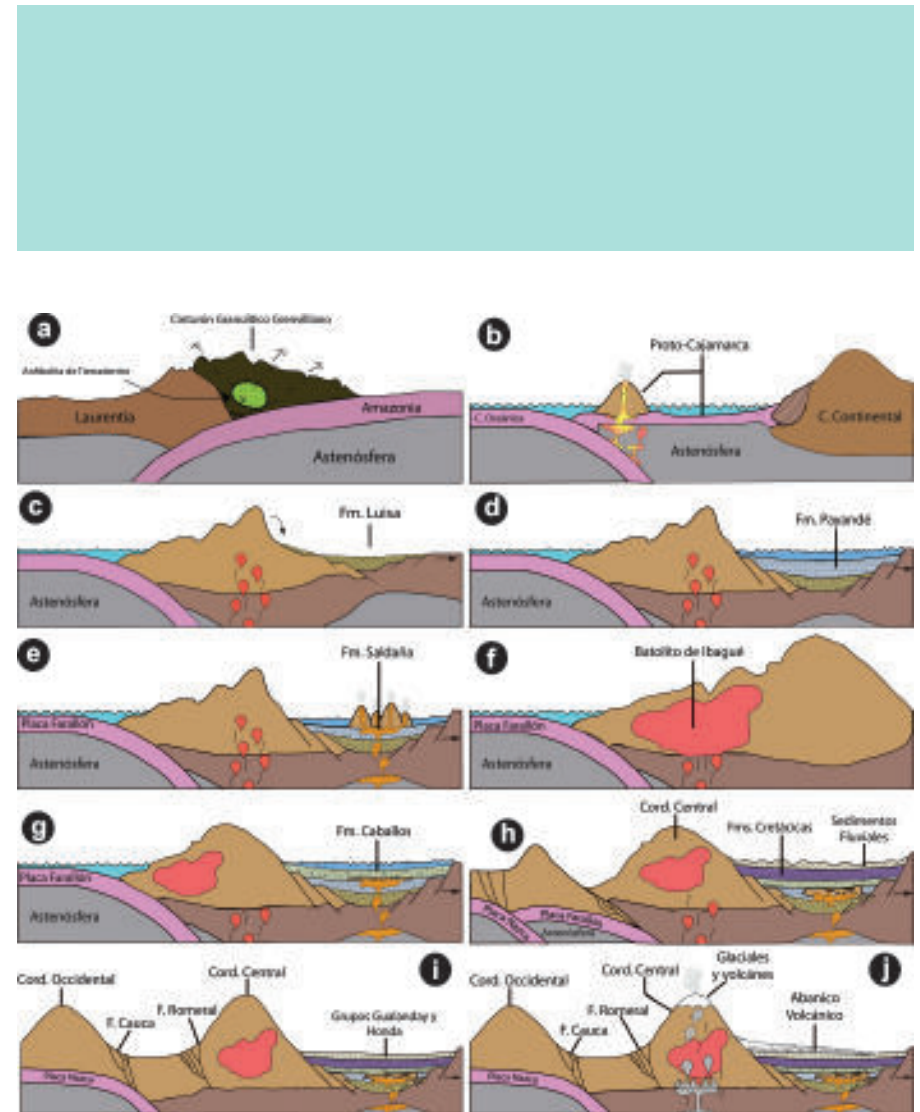


Figura 1. Evolución geológica de la zona de estudio desde el Precámbrico a la actualidad: a. Precámbrico, b. Cámbrico-Ordovícico, c. Triásico Temprano, d. Triásico Superior, e. Jurásico Inferior, f. Jurásico Superior, g. Cretácico Temprano, h. Cretácico Superior, i. Paleógeno-Neógeno, j. Cuaternario (Actualidad). Elaboración propia a partir de Núñez-Tello & Murillo-Rodríguez, (1982); Toussaint, (1996); Ordóñez-Carmona et al., (2006); Clavijo et al., (2008); Blanco-Quintero et al., (2014); Spikings et al., (2016); Rodríguez et al., (2018); Cediél, (2019); Kroonenberg, (2019); Leal-Mejía et al., 2019; Sarmiento-Rojas, (2019); Shaw et al., (2019).

La disgregación del Supercontinente Pangea y la apertura de los océanos Proto-Caribe y Centro-Atlántico (p.e. Spikings et al., 2016), dominan los procesos extensionales del Triásico (p.e. Formación Payandé), permitiendo la depositación de secuencias marinas (Triásico Superior) que finaliza con las rocas volcánicas de la Formación Saldaña del Jurásico Inferior (Toussaint, 1996), asociadas a un volcanismo en un ambiente extensional o de trasarco (?) relacionada al desarrollo de un arco magmático incipiente durante el Jurásico Inferior a Medio (Toussaint, 1996; Rodríguez et al., 2018; Leal-Mejía et al., 2019), que hacia el Jurásico Medio y Tardío, dio origen al magmatismo del Batolito de Ibagué (158 y 138 Ma; Rodríguez et al., 2018; Bustamante et al., 2010).

A inicios del Cretácico existía un régimen extensional (p.e. grabens y en general cuencas distensionales), se asocian al registro de una trasgresión marina que fue avanzando hacia el sur de Colombia durante el Cretácico Temprano (Toussaint, 1996), la cual avanzó hasta el Valle Alto del Magdalena en el Aptiano (p.e. Formación Caballos; Sarmiento-Rojas, 2019). En la región del Tolima autores como Terraza Melo et al. (2002), describen formaciones similares como lo son: Caliza de Tetuán (Albiano), Shale de Bambuca (Cenomaniano-Turoniano), Hondita y Loma Gorda en el (Turoniano-Coniaciano), Grupo Olini (Coniaciano-Campaniano Temprano), Nivel de Lutitas y Arenas (Campaniano Medio-Tardío), La Tabla y Seca (Maastrichtiano). La regresión marina (Maastrichtiano) se relaciona con la inversión tectónica generalizada en el Norte de los Andes, que causó el levantamiento de la Cordillera Central (e.g. Acosta et al., 2002; Cediél, 2019), la cual continúa a lo largo del Cenozoico (p.e. Grupo Gualanday y Honda, depositados entre el Paleógeno y el Neógeno, Acosta et al., 2002).

Finalmente, hacia el Plioceno-Pleistoceno se estableció el complejo volcánico Ruiz, Santa Isabel, Tolima y Cerro Machín (p.e. Marín-Cerón et al., 2019; Leal-Mejía et al., 2019), a cuya actividad se le asigna la generación de depósitos laháricos entre los que se encuentran los abanicos de Ibagué y Armero. En este último se registra el evento volcánico más importante, ocurrido recientemente en Colombia y uno de los más importantes en el mundo debido al número de víctimas mortales (REF). Este volcanismo activo reciente hace parte del arco volcánico relacionado con la subducción de la Placa de Nazca que continúa en el occidente de Colombia (e.g. Marín-Cerón et al., 2019).

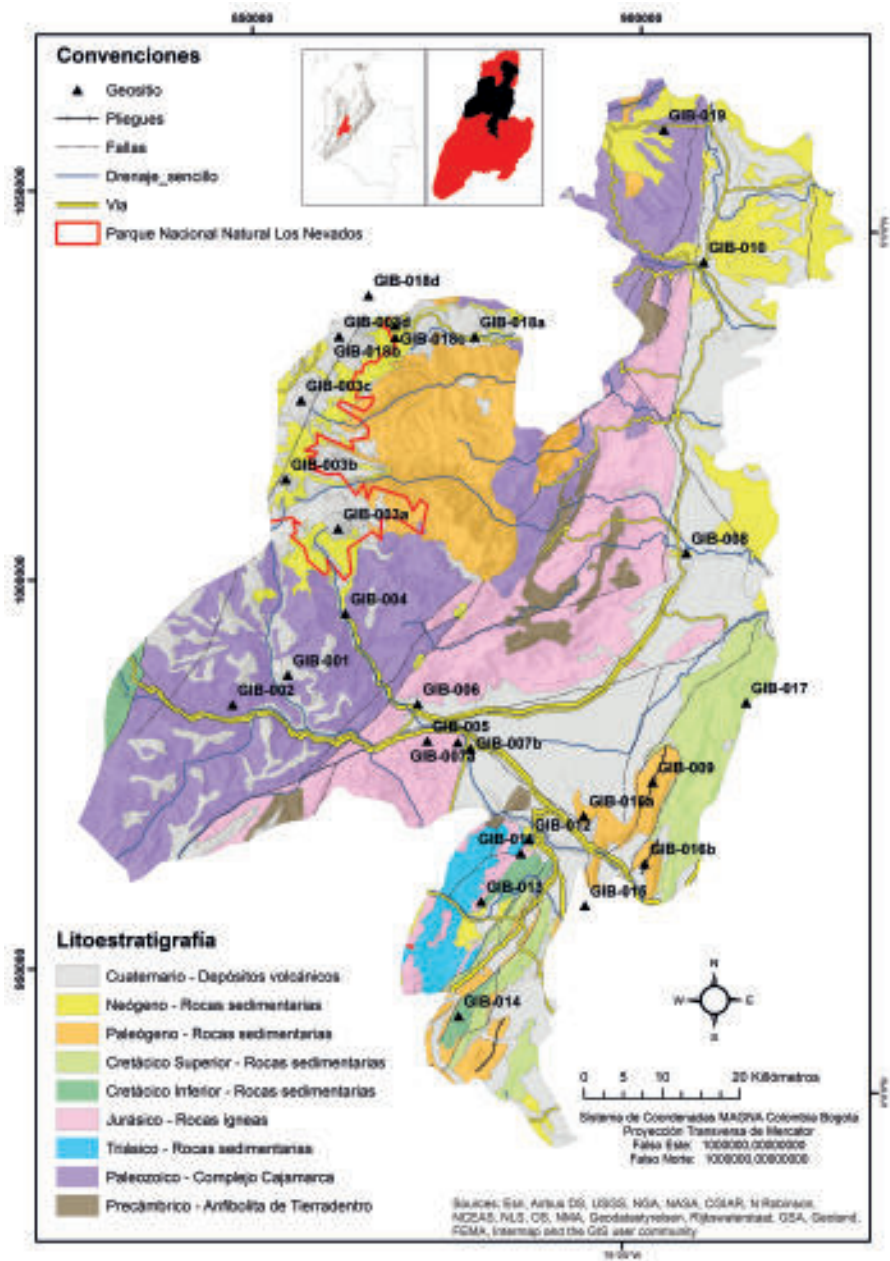


Figura 2. Configuración geológica actual de la zona de estudio y ubicación de LIG's. Elaboración propia a partir de la cartografía geológica escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano.

3. METODOLOGÍA

3.1. Delimitación del área de estudio

La delimitación de áreas de estudio del patrimonio geológico a partir de límites administrativos, puede hacer que se excluyan sitios de interés o incluso, que algún punto quede dividido por estas fronteras (Carcavilla et al., 2007). Sin embargo, para la realización del inventario y valoración de LIG en el departamento del Tolima se han tenido en cuenta precisamente límites administrativos municipales tomando como eje central la vía Panamericana. De esta manera, se elaboró un inventario de sitios de interés que actualmente están siendo utilizados para turismo o tienen un alto potencial para este fin, debido al impacto directo o indirecto de esta importante vía en Colombia. Se espera que este sea un inventario inicial como base para un inventario general del patrimonio geológico de todo el departamento del Tolima.

3.2. Definición de marcos geológicos de referencia

Los marcos geológicos de referencia se consideran componentes fundamentales dentro de un inventario de patrimonio geológico, que en conjunto representan la historia geológica del territorio estudiado, es decir, que son el registro de los eventos geológicos que han incidido en la zona de estudio (Motta Garcia et al., 2018). Para este trabajo se definieron ocho marcos geológicos de referencia con base en las características litoestratigráficas, tectónicas, geomorfológicas y se incluyó un marco minero-industrial teniendo en cuenta que las explotaciones mineras están directamente relacionadas con las características geológicas e inciden directamente en el desarrollo sociocultural de las comunidades. En los marcos geológicos definidos, se relacionan los LIG's incluidos en cada uno de ellos y se describen sus características geológicas más representativas.

3.3. Construcción del inventario

En la elección de la metodología para la construcción del inventario de LIG, se deben tener en cuenta cuatro aspectos fundamentales como el objetivo, el valor, el alcance y la utilidad (Lima et al., 2010; Motta Garcia et al., 2018). En este sentido, se tiene como objetivo la valoración de los LIG del Tolima que se encuentran en municipios por los que

pasa la vía Panamericana, que, por el alto tráfico turístico en temporadas vacacionales, puede permitir la integración de los LIG en iniciativas económicas de turismo sostenible.

Se identificaron lugares geológicos con alto valor turístico, escénico y cultural que puedan, a través de la valoración cuantitativa como LIG, lograr su protección y divulgación como alcance de la investigación. Para la integración de cada elemento del inventario se tuvo en cuenta principalmente su ubicación y potencial atractivo turístico, para definir su utilidad dentro de una propuesta geoturística.

El inventario de LIG es gestionado por medio de una ficha descriptiva propuesta por (Carcavilla et al., 2007), donde se consigna información como la ubicación exacta, el tipo de interés científico, turístico y cultural, y protección legal. Además, cada ficha contiene una valoración cualitativa de la importancia científica, turística, de vulnerabilidad y marco geológico de referencia de cada LIG (Tabla 1).

Tabla 1. Inventario de LIG's en el área de estudio

Código	Nombre del LIG	Sector	Este	Norte	Interés principal	Marco geológico de referencia	Relevancia	Grado de conservación	Vulnerabilidad	Protección legal
GIB-001	Volcán Cerro Machín	Cajamarca	854.572	987.825	Volcánico, geomorfológico	Rocas, estructuras y paisajes volcánicos	Alta	Bueno	Media	No
GIB-002	Quebrada Chorros Blancos		847.458	984.037	Petrológico, hidrológico	Rocas metamórficas	Si	Bueno	Media	Si
GIB-003	PNN	Ibagué	861.033	1.006.649	Volcánico, glaciar	Glaciares tropicales	Alta	Bueno	Alta	Si
GIB-004	Cañón del Combeima		861.962	995.736	Geomorfológico	Rocas metamórficas	Media	Bueno	Baja	Si
GIB-005	Parque La Martinica		872.475	979.373	Geomorfológico	Rocas graníticas	Baja	Bueno	Baja	Si
GIB-006	Cerro Pan de Azúcar		871.252	984.117	Geomorfológico	Rocas graníticas	Baja	Bueno	Media	No
GIB-007	Volcanes monogenéticos		876.411	979.184	Volcánico	Rocas, estructuras y paisajes volcánicos	Media	Bueno	Alta	No
GIB-008	Cerro La Picota	Alvarado	905.794	1.003.507	Geomorfológico	Rocas, estructuras y paisajes volcánicos	Baja	Bueno	Baja	No
GIB-009	Tetas de Doima	Piedras	901.455	974.080	Geomorfológico	Sedimentación Cretácica-Cenozoica	Baja	Bueno	Baja	No
GIB-010	Lahar de Armero	Armero	908.045	1.040.913	Volcánico	Rocas, estructuras y paisajes volcánicos	Alta	Bueno	Alta	No
GIB-011	Cascadas de Chicalá	San Luis	884.528	964.920	Geomorfológico, hidrológico	Sistemas kársticos	Baja	Bueno	Media	No
GIB-012	Mina de calcáreos		885.604	966.707	Minero-industrial	Sistemas kársticos	Alta	Bueno	Alta	No
GIB-013	Real Minas del Sapo	Valle de San Juan	879.420	958.737	Minero-industrial, histórico	Minero-industrial	Alta	Deteriorado	Alta	No
GIB-014	Mirador de Tomogó		876.523	944.026	Geomorfológico	Geomorfológico	Baja	Bueno	Baja	No
GIB-015	Indio Acostado	Coello	892.758	958.193	Geomorfológico	Estructuras tectónicas	Baja	Bueno	Baja	No
GIB-016	Anticlinales y Sinclinales		892.600	969.747	Estructural	Estructuras tectónicas	Media	Bueno	Baja	No
GIB-017	Quebrada El Cajón		913.504	984.283	Paleontológico, estratigráfico	Sedimentación Cretácica-Cenozoica	Media	Bueno	Alta	No
GIB-018	Paisajes volcánicos	Murillo	878.612	1.031.302	Volcánico, geomorfológico	Rocas, estructuras y paisajes volcánicos	Baja	Bueno	Media	No
GIB-019	Real de Minas de Falan	Falan	902.897	1.057.908	Minero-industrial	Minero-industrial	Alta	Deteriorado	Alta	No

3.4. Valoración cuantitativa

Con base en diferentes criterios, el Servicio Geológico Colombiano ha establecido una metodología de valoración cuantitativa del patrimonio geológico aplicable a todo tipo de sitios geológicos, permitiendo obtener los valores científico, didáctico, turístico y de susceptibilidad a la degradación tanto natural como antrópica. Los parámetros de valoración cuantitativa se encuentran de manera detallada (SGC & IGME, 2015), en la que se especifican los coeficientes de ponderación (peso). El valor de estos criterios varía entre 0 y 4 y el valor final científico, didáctico y turístico puede ser $V \geq 7,5$ muy alto, $6,5 \leq V < 7,4$ valor alto, $3,3 \leq V < 6,4$ valor medio y $V < 3,3$ valor bajo. El cálculo de los valores científico (VC), didáctico (VD) y turístico (VT) se realiza por medio de las ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente.

$$(VC) = \frac{(Rep*0,3)+(CLT*0,1)+(GC*0,15)+(EC*0,1)+(CO*0,1)+(Rar*0,15)+(DiG*0,1)}{40} \quad (Eq. 1)$$

$$(VD) = \frac{(Rep*0,05)+(CLT*0,05)+(EC*0,05)+(CO*0,05)+(Rar*0,05)+(DG*0,1)+(CD*0,2)+(IL*0,15)+(DP*0,05)+(Acc*0,15)+Esp(0,05)+(Tam*0,05)}{40} \quad (Eq. 2)$$

$$(VT) = \frac{(CO*0,05)+(IL*0,05)+(DP*0,05)+(Acc*0,1)+(Esp*0,15)+(Tam*0,05)+(Fra*0,1)+(Usot*0,05)+(Simb*0,1)+(APNC*0,05)+(CDiv*0,1)+(PTR*0,05)}{40} \quad (Eq. 3)$$

El SGC & IGME (2015) presentan los parámetros y coeficientes de ponderación requeridos para calcular los valores correspondientes a la susceptibilidad de degradación natural y de susceptibilidad a la degradación antrópica que se obtienen de las ecuaciones 4 y 5 respectivamente. La susceptibilidad a la degradación se puede calcular por medio de la ecuación 6.

$$SDN = EF * VN = EF * F * AN \quad (Eq. 4)$$

$$SDA = EF * [(MH + Ex) * 25 + (Urb * 15) + (Acc * 10) + ((Ti + RP + PF + DP + PZR) * 5)] \quad (Eq. 5)$$

$$SD = \frac{1}{2} (SDN + SDA) \quad (Eq. 6)$$

4. RESULTADOS

4.1. Inventario de LIG's y contexto geológico-geomorfológico

El territorio estudiado contiene una importante geodiversidad representada en sus variados tipos de relieve, que a su vez son la respuesta de las rocas y estructuras que se encuentran como sustrato de la región. En algunos lugares geográficos puntuales, estos elementos geológicos descubren sus rasgos más importantes, mostrando evidencias de los procesos geológicos que les dieron origen. A continuación, se describen los LIG inventariados acorde al marco geológico de referencia definido.

4.1.1 Rocas Metamórficas

En el área de estudio afloran rocas del Complejo Cajamarca. Se pueden apreciar en diferentes afloramientos a lo largo de la vía Panamericana entre Ibagué y Cajamarca y entre Ibagué y el Nevado del Tolima. Las mejores exposiciones se encuentran en la quebrada Chorros Blancos (GIB-002), el Cañón del Combeima (GIB-004) y los cortes de la vía que conduce desde la ciudad de Ibagué hacia el Nevado del Tolima. A lo largo de este cañón se han realizado estudios de geología estructural y de zonificación por remoción en masa (INGEOMINAS, 2008). El Cañón del río Combeima, es el canal principal de las erupciones volcánicas del Volcán Nevado del Tolima. Este sector es posiblemente el más turístico de Ibagué, debido a que cuenta con diferencia de climas, zonas recreativas, actividades de turismo convencional y temático como avistamiento de aves, escalada en roca, ciclomontañismo, ecoturismo, etc. (Figura 3b y c).

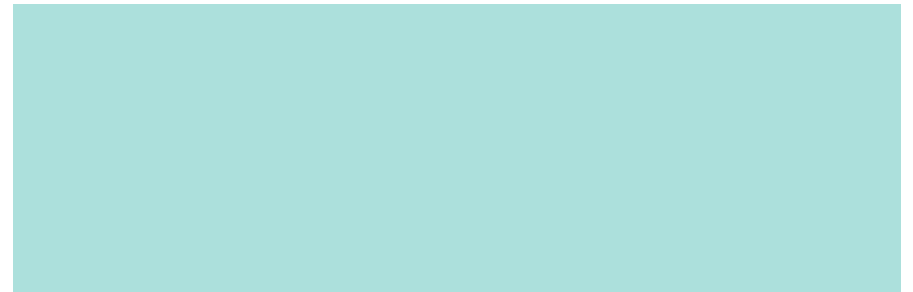




Figura 3. Complejo Cajamarca, a) Cascada Chorros Blancos donde afloran las rocas metamórficas, b) Escalada en rocas volcánicas depositadas sobre las rocas del Complejo Cajamarca en el Cañón del Combeima, c) Vista del Nevado del Tolima desde el Cañón del Combeima.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Rocas graníticas

Los macizos cristalinos metamórficos (precámbricos y paleozoicos) fueron instruidos por el Batolito de Ibagué (de edad jurásica), compuesto por cuarzo dioritas, granodioritas, cuarzo monzonitas y dioritas (Nuñez-Tello & Murillo-Rodríguez, 1982). Esta unidad geológica, hace parte del extensivo cinturón magmático Jurásico con tendencia N-S característico de la margen Este de la Cordillera Central (Altenberger & Concha, 2005; Blanco-Quintero et al., 2014), siendo este el batolito Jurásico más grande de Colombia (Altenberger & Concha, 2005).

Una de las mejores exposiciones de esta unidad geológica, son los LIG La Martinica (GIB-005) y el Cerro Pan de Azúcar (GIB-006). Están ubicados en la zona rural del sector centro-sur de la ciudad de Ibagué y como cerro tutelar de la ciudad respectivamente.

En La Martinica se encuentran varios miradores (Figuras 4a y b) desde los que se puede apreciar y explicar la geología de los alrededores y quebradas donde además de realizar actividades recreativas se puede explicar la geología con las rocas aflorantes. Cuenta con diferentes actividades recreativas como senderismo, ciclomontañismo, rappel, camping, avistamiento de aves, entre otras. Se considera uno de los corredores ecoturísticos más importantes de Ibagué.

El Cerro de Pan de Azúcar (Figura 4c y d), tiene en su cima una virgen, por lo que este ha sido históricamente utilizado por los ibaguereños como sitio de peregrinación, principalmente en épocas religiosas como Semana Santa. Es reconocido, por medio de una disposición normativa municipal, como sitio de interés turístico de Ibagué.

4.1.3 Rocas, estructuras y paisajes volcánicos

El Volcán Cerro Machín, que corresponde al GIB-001 (Figura 5a), se considera un complejo anillo de tobas activo, que se encuentra situado en el basamento metamórfico del Complejo Cajamarca, originado por estructuras compresivas-extensivas tipo pull-apart, caracterizado por generar depósitos plinianos, flujos y depósitos piroclásticos de caída alcanzando distancias superiores a 10 kilómetros (Inguaggiato et al., 2017; Gómez Díaz & Mariño Arias, 2020). El Machín es uno de los volcanes activos más peligrosos de Colombia (Murcia et al., 2010; Inguaggiato et al., 2017), debido a su alto grado de explosividad y la distancia que han cubierto sus depósitos. Actualmente se realizan actividades de ecoturismo en sus alrededores.

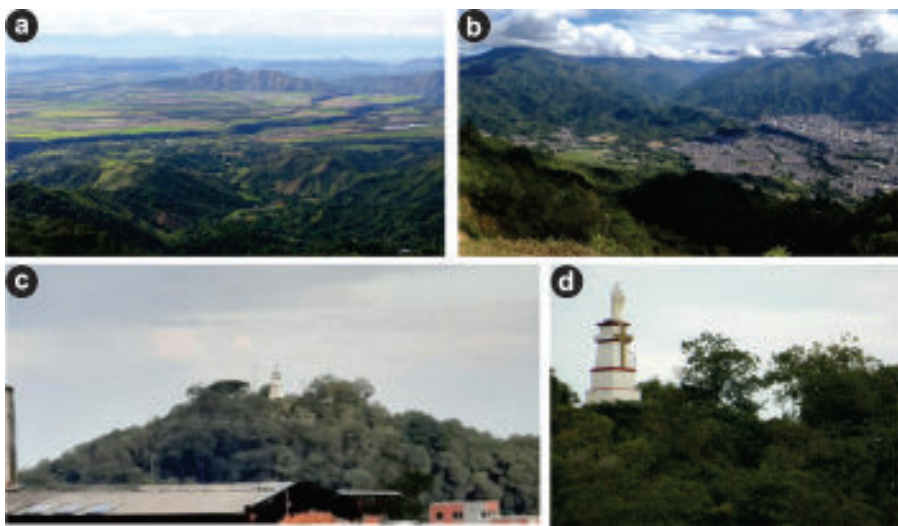


Figura 4. LIG's asociados con rocas graníticas, a) y b) miradores de La Martinica, c) y d) Cerro de Pan de Azúcar.

Fuente: Elaboración propia.

Algunos conos volcánicos como Guacharacos y El Tabor, que corresponden a LIG's asociados a volcanes Monogenéticos (GIB-007), fueron descubiertos en los alrededores de Ibagué durante la construcción de la variante de la vía panamericana, siendo descritos como volcanes monogenéticos, compuestos por basaltos andesíticos de afinidad calcoalcalina (Nuñez et al., 2001; Gómez Tapias et al., 2016; CORTOLIMA, 2018). Los productos piroclásticos de estos volcanes se consideran uno de los eventos geológicos más recientes ocurridos en la zona de estudio (Nuñez et al., 2001). Para Gómez Tapias et al. (2016), estos volcanes son de especial relevancia para el entendimiento de la historia geológica de los Andes colombianos en los alrededores de Ibagué. La estructura volcánica del Tabor (Figura 5b) está en riesgo de ser destruida por su proximidad a la vía Panamericana y a la expansión urbana de Ibagué.

Depósitos del Cuaternario cubren una amplia área de la zona de estudio y corresponden a los abanicos de Ibagué y del Espinal (Figura 5c). El Abanico de Ibagué es un depósito de material volcanoclástico en intercalación entre lahares y flujos piroclásticos provenientes de la actividad del Volcán Nevado del Tolima (Acosta et al., 2002). En este contexto, se encuentra ubicado el Cerro La Picota (GIB-008) en el municipio de Alvarado, sobre el cual se tejen mitos de seres sobrenaturales que habitaron la cima, además de haber sido utilizado por los indígenas que habitaron la región.

El Lahar de Armero (GIB-010), es un LIG utilizado como lugar de peregrinación religiosa y puede ser gestionado con fines geoturísticos, enfocados en riesgos volcánicos por ser un referente en el mundo. Teniendo en cuenta que la Tragedia de Armero se considera el cuarto desastre volcánico más mortífero de la historia de la humanidad y, el segundo desastre volcánico más importante del siglo XX desde la erupción del Monte Pelée en 1902 (Villegas, 2003; Gudmundsson, 2015). La Figura 5d muestra el municipio de Armero y canal del río Lagunilla por el que bajó el Lahar de Armero en 1985.

En 1985 oleadas piroclásticas relacionadas con el Lahar de Armero, fueron arrojadas por el Volcán-Nevado del Ruiz entrando en contacto con el hielo de su casquete glaciar. De esta manera, se originaron una serie de flujos volcánicos mezclados con escombros (lahares) que descendieron por los ríos Gualí, Azufrado, Lagunillas y Nereidas, ocasionando la muerte de aproximadamente 23.080 personas (Villegas, 2003). Algunas estructuras y Paisajes Volcánicos (GIB-018) asociados con estos eventos volcánicos recientes del Ruiz, se pueden observar en el municipio de Murillo (Figura 5e y f). "Las consecuencias trágicas de la erupción ocurrida el 13 de noviembre de 1985 marcaron el inicio de los estudios vulcanológicos sistemáticos en Colombia y se constituyó en una lección a nivel mundial" (Gómez-Tapias et al., 2016, p. 30).

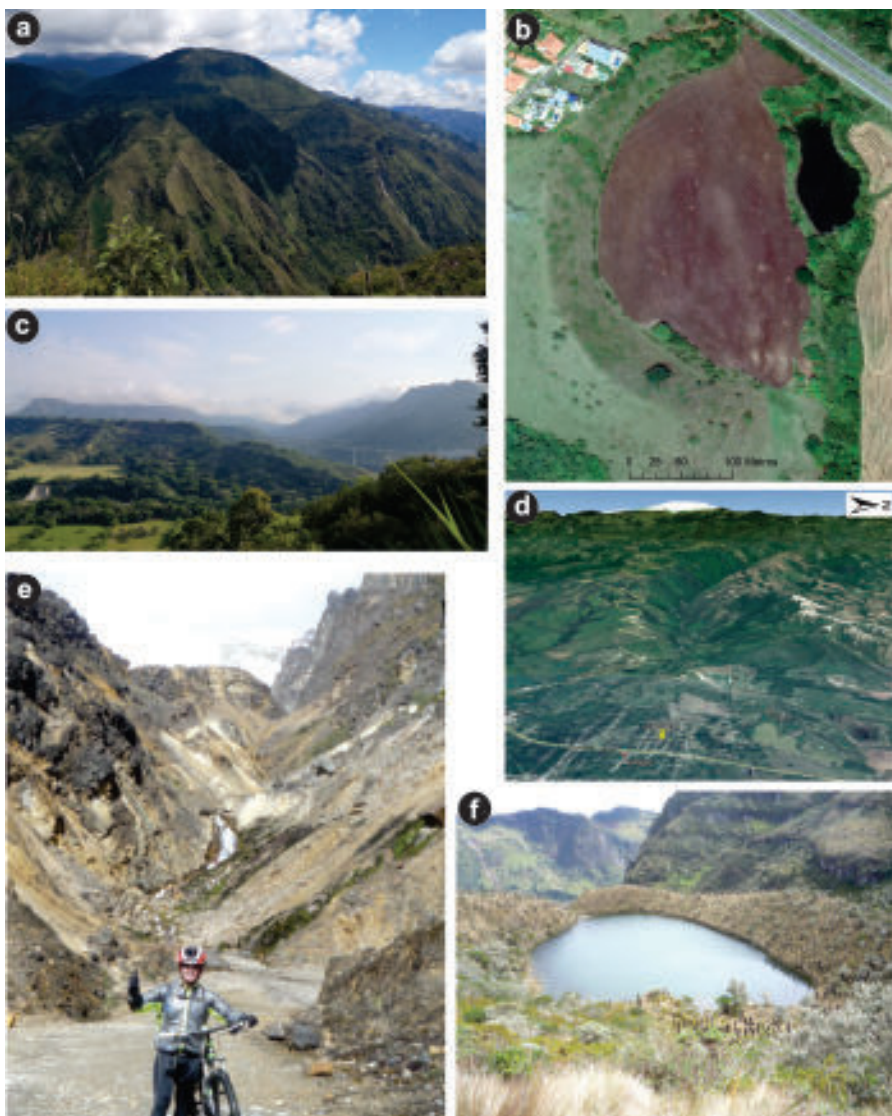


Figura 5. Estructuras y paisajes volcánicos: a. Volcán Cerro Machín, b. Cono volcánico del Tabor, c. Meseta volcánica del abanico de Ibagué, sector Alto de Gualanday, d. Canal del río Lagunilla y municipio de Armero (Imagen tomada de Google Earth, 2020), e. Canal del río Lagunilla cerca al glaciar del Nevado del Ruiz en Murillo, f. Laguna en el páramo del Nevado del Ruiz en Murillo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Sistemas kársticos

En la Formación Luisa (Triásico) se encuentran rocas conglomeráticas basales y capas rojas o red beds originadas en un ambiente continental (Cediel et al., 1980). Superpuesta a esta formación, se encuentra la Formación Payandé (jurásica), compuesta por calizas marinas, ambas formaciones originadas en un contexto de rifting ocurrido durante el Triásico que se extendió hasta el Jurásico Temprano y Medio (Cediel et al., 1980; Cediel, 2019; Shaw et al., 2019). En este contexto, el paisaje kárstico se ha desarrollado en esta última formación, a lo largo de los municipios de Valle de San Juan y San Luis.

Los principales LIG inventariados se ubican en las Cascadas de Chicalá (GIB-011), ubicadas en el corregimiento de Payandé, a 40 minutos de Ibagué (Figura 6a), que consta de siete cascadas continuas con pozos que se utilizan para turismo recreativo. El afloramiento asociado expone las rocas sedimentarias químicas de la Formación Payandé. En este sitio se encuentran servicios turísticos de alimentación, guianza y en cercanías se pueden visitar otros sitios como la Cueva del Mohan en la que se puede practicar escalada (Figura 6b). Adicionalmente, estos LIG's, permiten reconocer aspectos importantes de la sedimentación Triásica-Jurásica en el Tolima.

4.1.5 Sedimentación Cretácica-Cenozoica

Un conjunto de rocas sedimentarias cretácicas aflora en la zona de estudio asociado a las formaciones Caballos, Caliza del Tetuán, Shale de Bambuca, Hondita, Loma Gorda y el Grupo Olini, las cuales representan la sedimentación iniciada en el Aptiano en una cuenca extensional originada en el Jurásico Tardío (Sarmiento-Rojas, 2019). Uno de los más representativos LIG que permiten visualizar esta sedimentación, es el Mirador de Tomogó (GIB-014) (Figura 7a). Estas secuencias sedimentarias Cretácicas, en general, están compuestas por intercalaciones de areniscas propias de ambientes fluviales, lodolitas, calizas y chert (Nuñez-Tello & Murillo-Rodríguez, 1982; Caicedo et al., 2000), depositadas en ambientes continentales a transicionales que corresponden a procesos de subsidencia y transgresión marina (Duarte et al., 2018). En cercanías al corregimiento de Coello, se destaca la Formación Nivel de Lutitas y Arenas (Cretácico Superior) afloran rocas que albergan el fósil de monosaurio (Figura 7b) considerado una nueva especie del género Eonatator, E. Coellensis en la quebrada El Cajón (GIB-017) (Páramo-Fonseca, 2013).



Figura 6. Estructuras kársticas: a. Cascadas de Chicalá y b. Cueva del Mohán.

Fuente: a. Elaboración propia, b. Colombian Summit

(<https://colombiansummit.com/cueva-el-mohan-y-manantial-el-cobre/>)

El paso del Cretácico al Cenozoico (Formación Seca), está compuesta por una sucesión de lutitas con intercalaciones de limolitas y arenitas líticas que representa los cambios ambientales que se dieron en la cuenca de sedimentación del Valle Superior del Magdalena, pasando de un régimen marino a uno continental, al finalizar el Cretácico (Terraza-Melo et al. 2002).

El Cenozoico en la zona de estudio está representado por los Grupos Gualanday y Honda. El Grupo Gualanday se compone de arenitas, arcillolitas y conglomerados, originadas en ambientes de abanicos aluviales, transiciones con llanuras de inundación y ríos trenzados, entre el Eoceno Temprano y el Oligoceno Tardío (Caicedo & Roncancio, 1994; Acosta et al., 2002; Terraza Melo et al., 2002). El Grupo Honda, compuesto por litoarenitas, lodolitas y arcillolitas del Neógeno, depositadas en un ambiente continental lagunar, con aportes de sedimentación fluvial (Acosta et al., 2002). El LIG más relevantes que permiten visualizar la sedimentación cenozoica, es el lugar conocido como Las Tetras de Doima (GIB-009) asociado a geoformas que, según el imaginario popular de la región, se asemejan a los senos de una mujer (Figura 7c).



Figura 7. LIG asociados a la sedimentación cretácica-cenozoica. a. Mirador de Tomogó, b. Fósil de Eotator, E. Coellensis encontrado en la quebrada El Cajón, c. Tetras de Doima.

Fuente: a. Imagen tomada de Google Earth, (2020), b) El Mundo

(https://www.elmundo.com/portal/vida/ciencia/encuentran_fosil_de_un_reptil_marino_de_casi_80_millones_de_anios_en_tolima.php#.X4eUdNBKHPZ), c. Soy Tolimense (<https://www.facebook.com/SoyTolimense13/photos/a.2334173833495960/2392538994326110/?type=3>)

4.1.6 Glaciares tropicales

En la Cordillera Central de Colombia se localiza el Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNN); al interior del parque, se tomó como Lugar de Interés un mirador donde es posible visualizar los diferentes picos nevados que lo conforman (GIB-003). Parte del PNNN se encuentra en el departamento del Tolima con los nevados del Tolima, del Ruiz, del Cisne y de Santa Isabel (Figura 8), que cuentan con glaciares en los que se realizan actividades de montañismo y escalada por parte de visitantes nacionales y extranjeros, siendo uno de los sitios turísticos más importante del país. Los glaciares tropicales son importantes indicadores del cambio climático debido a su rápida respuesta en el tiempo, sensibilidad ante los cambios climáticos, proximidad a condiciones de deshielo, y posibilidad de observación de los cambios a través de la pérdida o ganancia de masa glaciar (Veettil et al, 2017). Los glaciares tropicales del PNNN, están experimentando un proceso de deshielo a causa del cambio climático y podrían desaparecer en los próximos años.



Figura 8. Glaciares tropicales: a. Parque Nacional Natural de Los Nevados, b. Glaciar del Nevado del Ruiz en Murillo.

Fuente: a. Andrés Restrepo, b. Elaboración propia.

4.1.7 Estructuras tectónicas

Las estructuras tectónicas más importantes que se encuentran en la zona son la Falla Ibagué y la Falla Buenos Aires. Según Vergara (1989), estas estructuras son fallas activas que afectan los depósitos recientes del Abanico de Ibagué, en el cual se presentan evidencias de actividad neotectónica como desplazamiento de capas, escarpes de falla, lomos de presión, facetas triangulares, entre otros. Algunas estructuras que aparecen como respuesta a la tectónica de la zona son observables y a partir de estas se han realizado estudios sobre los eventos tectónicos ocurridos en la región, principalmente, los relacionados con el levantamiento de Los Andes en el norte de Suramérica (ver: Butler & Schamel, 1988; Montes et al., 2005).

En cercanías a los municipios de Coello y Chicoral se encuentra una de las expresiones geomorfológicas más representativas (LIG: GIB-015-16). Estos lugares son conocidos como el Indio Acostado (GIB-015), conformado por los anticlinales de Gualanday y El Sapo (Figura 9a), compuesto por rocas sedimentarias cenozoicas del Grupo Gualanday afectadas por la Falla El Sapo. A lo largo de la vía panamericana y visualizados mediante imágenes aéreas (GIB-016), se observan otros anticlinales y sinclinales de gran tamaño representativos de este paisaje estructural (Figura 9b).

4.1.8 Lugares de interés Minero-Industrial

Algunos de los sitios históricos más importantes del Tolima son los que tienen relación con la "Ruta de Mutis" y las actividades realizadas por José Celestino Mutis "El Sabio", durante la Expedición Botánica. Se encuentran algunos vestigios de lugares utilizados por el Sabio Mutis para la investigación en mineralogía con fines mineros, como el Real de

Minas Nuestra Señora del Rosario o El Sapo (GIB-013) en el Valle de San Juan y el Real de Minas de Falan, conocido actualmente como Ciudad Perdida, en el municipio de Falan (GIB-019) (Figura 10a y b).

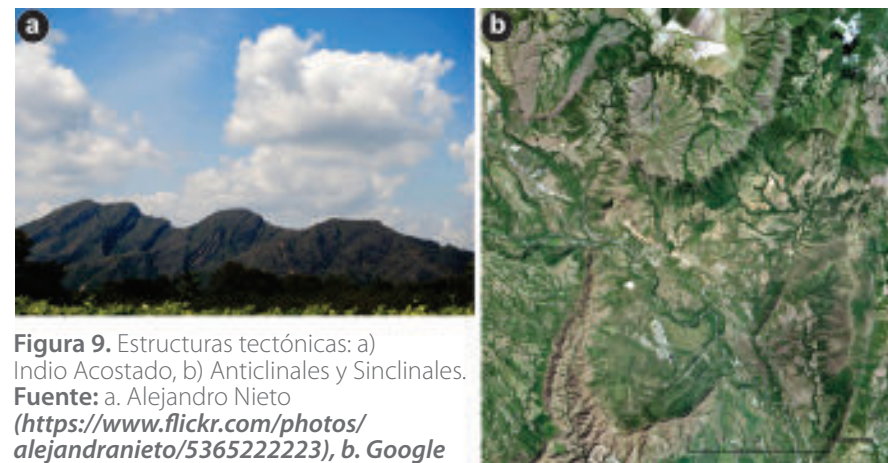


Figura 9. Estructuras tectónicas: a) Indio Acostado, b) Anticlinales y Sinclinales.

Fuente: a. Alejandro Nieto (<https://www.flickr.com/photos/alejandranieto/5365222223>), b. Google Earth (2020).

La Mina de calcáreos (GIB-012), es una explotación a cielo abierto propiedad de la empresa Cemex y se presenta como un LIG que representa el patrimonio minero-industrial, donde se puede observar y explicar las características estratigráficas de la Formación Payandé (Figura 10c). Además, una vez la explotación entre en la fase de cierre de minas, puede ser gestionada como un sitio turístico por medio de alternativas como los open pit lakes (ver: Blanchette & Lund, 2016) o como parque minero (ver: AlRayyan et al., 2019; Beretić et al., 2019).

4.2. Valoración de LIG's

Los resultados obtenidos para los valores científico, educativo y turístico-simbólico de los LIG se encuentran en la Tabla 2. Se obtuvieron para el valor científico 1 LIG de valor muy alto (Volcán Cerro Machín), 1 LIG con valor alto (Parque Nacional Natural de Los Nevados), 9 LIG con valor medio y 8 LIG's de valor bajo. Para el valor didáctico 17 LIG con valor medio y 2 con valor bajo y para el valor turístico 1 LIG con valor alto (Cañón del Combeima), 17 LIG con valor medio y 1 LIG con valor bajo (Quebrada El Cajón).





Figura 10. Actividades mineras en la zona de estudio: a y b. Ciudad Perdida de Falán, c. Mina de Calcareos propiedad de CEMEX.
Fuente: Elaboración propia.

Los valores científicos más altos los tienen el Volcán Cerro Machín y el Parque Nacional Natural de Los Nevados con 7,9 y 7,1 respectivamente, debido principalmente a su alta representatividad, a la cantidad de información científica relacionada y diversidad geológica representada en la variedad de tipos de interés geológico que contienen. El valor científico más bajo corresponde al Cerro Pan de Azúcar, cerro tutelar de la ciudad de Ibagué, el cual con una adecuada gestión podría aumentar este valor.

El Cañón del Combeima presenta los valores educativo y turístico-simbólico más altos, 6,5 y 7,4 respectivamente que, por estar en la ciudad de Ibagué, cuenta con toda la infraestructura de alojamiento y de servicios turísticos en general. También tiene una alta densidad de población (≥600.000 habitantes) y vías asfaltadas con acceso para

vehículos grandes. El LIG con menores valores didáctico y turístico-simbólico corresponde a las Tetras de Doima, con 4,4 y 4,1 respectivamente, debido a que solo presenta valores altos en los parámetros de estado de conservación, por encontrarse prácticamente íntegro y en densidad de población por encontrarse más de 200.000 habitantes en un radio de 30 Km en los municipios de Girardot, Flandes y Ricaurte y en la ciudad de Ibagué.

En general los LIG presentan una baja susceptibilidad a la degradación natural, pero para algunos se debe tener especial atención con respecto a la susceptibilidad de degradación antrópica. El caso más llamativo es el GIB-007 correspondiente a los volcanes monogenéticos del Tabor y Guacharacos, que se ven seriamente amenazados por el avance de la expansión urbana de la ciudad de Ibagué y de la vía Panamericana.

Tabla 2. Valoración de LIG's

Código	Nombre del LIG	Vc	Vd	Vt	Sd
GIB-001	Volcán Cerro Machín	7,9	6,0	6,0	0,5
GIB-002	Quebrada Chorros Blancos	2,5	5,4	6,4	0,8
GIB-003	PNN	7,1	5,0	5,9	1,1
GIB-004	Cañón del Combeima	3,6	6,5	7,4	0,9
GIB-005	Parque La Martínica	2,5	5,6	6,4	0,7
GIB-006	Cerro Pan de Azúcar	1,5	5,5	5,8	1,0
GIB-007	Volcanes monogenéticos	3,8	5,6	4,4	1,7
GIB-008	Cerro La Picota	3,4	5,0	4,9	0,9
GIB-009	Tetas de Doima	3,6	4,4	4,1	0,6
GIB-010	Lahar de Armero	4,9	5,4	5,3	0,9
GIB-011	Cascadas de Chicalá	3,4	4,4	5,0	1,1
GIB-012	Mina de calcáreos	2,6	5,9	5,1	1,1
GIB-013	Real Minas del Sapo	2,0	3,1	3,5	0,7
GIB-014	Mirador de Tomogo	2,5	3,5	3,4	0,5
GIB-015	Indio Acostado	3,8	4,3	3,9	0,7
GIB-016	Anticlinales y Sinclinales	3,5	4,4	3,8	0,8
GIB-017	Quebrada El Cajón	4,3	2,6	2,5	1,2
GIB-018	Paisajes volcánicos	2,1	5,3	5,0	1,2
GIB-019	Real de Minas de Falán	2,3	5,1	5,0	0,9

Vc = Valor científico, **Vd** = Valor didáctico, **Vt** = Valor turístico, **Sd** = Susceptibilidad a la degradación.

5. DISCUSIÓN

En la valoración cuantitativa de los LIG, se evalúan algunos parámetros para los que el valor asignado no puede ser aumentado ni disminuido, aunque cambien las características intrínsecas del LIG, por lo que se consideran parámetros estáticos. También se evalúan parámetros que son susceptibles de ser incrementados o disminuidos, si se varían las condiciones que inciden directamente en ellos, por lo que se consideran dinámicos.

Por supuesto, al contrario de disminuir el valor, siempre se tratará de incrementarlo con el fin de hacer de cada LIG un lugar de interés creciente en el que se pueda explicar la historia geológica de una región y de ser posible, que sea utilizado para procurar el bienestar socioeconómico de la comunidad en la que se encuentra.

Por ejemplo, uno de los parámetros dentro del valor científico es el grado de conocimiento científico del lugar que, para el caso de la metodología propuesta por (SGC & IGME, 2015), se basa en el número de trabajos publicados en revistas científicas nacionales e internacionales indexadas y tesis de pregrado, maestría y doctorado. Para nuestro caso, la mayoría de los LIG no cuenta con estudios científicos realizados directamente sobre ellos, aunque pueden tener importancia académica y científica tanto en el ámbito de la geología como en otras áreas del conocimiento, y con la realización de estudios relacionados se incrementa su valor científico.

Para los valores didácticos y turístico-simbólico, la metodología evalúa parámetros como la infraestructura logística, dándose algunos LIG con poca oferta de alojamiento y restaurantes dificultando el desarrollo de actividades turísticas que requieren estos servicios. La falta de estos servicios en zonas rurales, actualmente se viene solucionando con el denominado turismo rural, que además de proveer los servicios, contribuye al desarrollo de la economía y al mejoramiento de la calidad de vida de los residentes rurales (Dinis et al., 2019; Lewis & D'Alessandro, 2019; Kaptan Ayhan et al., 2020; Liu et al., 2020).

La accesibilidad también incide en estos dos parámetros, existiendo LIG que no cuentan con vías de acceso y, en consecuencia, se ven disminuidos sus valores didácticos y turísticos simbólicos. Tal vez construir una vía de acceso sea una solución que implique grandes inversiones y dependa del Gobierno Central y, por lo tanto, esta solución tenga mayor dificultad en ser implementada. Precisamente, la

presencia de un LIG con alto flujo de turistas puede hacer ver la necesidad de la construcción de vías de acceso a territorios de comunidades apartadas, lo cual impactaría directamente en su bienestar socioeconómico, como fue el caso del funicular de Bulnes (Asturias), que con su construcción atrajo el turismo y benefició a una comunidad de aproximadamente 20 personas (Carcavilla et al., 2007).

6. CONCLUSIONES

Se identificaron Lugares de Interés Geológico (LIG) con alto valor turístico, escénico y cultural que puedan, a través de la valoración cuantitativa, lograr su protección y divulgación como alcance de la investigación. Para la integración de cada elemento del inventario se tuvo en cuenta principalmente su ubicación y potencial atractivo turístico, para definir su utilidad dentro de una propuesta geoturística futura.

Fueron valorados 19 LIG y georrecursos culturales en cercanías a la vía Panamericana en el departamento del Tolima, de los cuales sobresalen por su alto valor científico el Volcán Cerro Machín (GIB-001) y el Parque Nacional Natural Los Nevados (GIB-003). Por su valor didáctico sobresalen el Volcán Cerro Machín y el Cañón del Combeima (GIB-004). Finalmente, el valor turístico más alto lo obtiene el Cañón del Combeima. Los volcanes monogenéticos GIB (007) componen el LIG con mayor valor correspondiente a la susceptibilidad en la degradación, y se ven amenazados con desaparecer debido a la expansión urbana y vial de la ciudad de Ibagué.

Algunos de los LIG y georrecursos culturales evaluados obtienen valores de medios a bajos, aunque tienen gran relevancia dentro de la historia geológica y cultural de Colombia. Es posible aumentar el valor teniendo en cuenta los parámetros dinámicos considerados en las metodologías de valoración, por medio del aumento en investigaciones científicas relacionadas con estos y la construcción de vías de acceso e infraestructura turística que permita su integración en proyectos de turismo rural y geoturismo.

7. BIBLIOGRAFÍA

Acosta G., J. E., Guatame, R., Caicedo A., J. C., & Cárdenas, J. I. (2002). Geología de la plancha 245 Girardot escala 1:100.000 Memoria explicativa.

AlRayyan, K., Hamarneh, C., Sukkar, H., Ghaith, A., & Abu-Jaber, N. (2019). From Abandoned Mines to a Labyrinth of Knowledge: a Conceptual Design for a Geoheritage Park Museum in Jordan. *Geoheritage*, 11(2), 257–270.

<https://doi.org/10.1007/s12371-017-0266-8>

Altenberger, U., & Concha, A. E. (2005). Late Lower to early Middle Jurassic arc magmatism in the northern Ibagué-Batholith/Colombia. *Geología Colombiana*, 30, 87–97.

Beretić, N., Đukanović, Z., & Cecchini, A. (2019). Geotourism as a Development Tool of the Geo-mining Park in Sardinia. *Geoheritage*, 11, 1689–1704. **<https://doi.org/10.1007/s12371-019-00379-w>**

Betancurth, L. (2003). El patrimonio geológico minero del eje cafetero, cuenca del río Chinchiná– Colombia. En R. C. Villas-Bôas, A. González Martínez, G. de A. Sá y C. de Albuquerque (Eds.). *Patrimonio geológico y minero en el contexto del cierre de minas*. Río de Janeiro.

https://www.academia.edu/17531000/Patrimonio_Geologico_y_Minero_en_el_Contexto_del_Cierre_de_Minas

Blanchette, M. L., & Lund, M. A. (2016). Pit lakes are a global legacy of mining: an integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities. *Environmental Sustainability*, 23, 28–34.

Blanco-Quintero, I. F., García-Casco, A., Toro, L. M., Moreno, M., Ruiz, E. C., Vinasco, C. J., Cardona, A., Lázaro, C., & Morata, D. (2014). Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca Complex, eastern flank of the Central Cordillera, Colombia). *International Geology Review*, 56(15), 37–41.

<https://doi.org/10.1080/00206814.2014.963710>

Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134.

<https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>

Bustamante, C., Cardona, A., Bayona, G., Mora, A., Valencia, V., Gehrels, G., & Vervoort, J. (2010). U-Pb LA-ICP-MS geochronology and regional correlation of Middle Jurassic intrusive rocks from the garzon massif, upper Magdalena Valley and Central Cordillera, Southern Colombia. *Boletín de Geología*, 32, 93–109.

Butler, K., & Schamel, S. (1988). Structure along the eastern margin of the central Cordillera, upper Magdalena Valley, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 1(1), 109–120.

Caicedo, J. C., & Roncancio, J. H. (1994). El Grupo Gualanday como ejemplo de acumulación sintectónica, en el Valle Superior del Magdalena, durante el Paleógeno. In F. Etayo Serna (Ed.), *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena* (pp. X1–X19). Universidad Nacional de Colombia.

Caicedo, J. C., Terraza, R., & Acosta, J. (2000). Plancha 264 Espinal. INGEOMINAS.

Carcavilla Urquí, L., López Martínez, J., & Durán Valsero, J. J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España.

Cediel, F. (2019). Phanerozoic Orogens of Northwestern South America: Cordilleran-Type Orogens. Taphrogenic Tectonics. The Maracaibo Orogenic Float. The Chocó-Panamá Indenter. In Fabio Cediel & R. P. Shaw (Eds.), *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 3–96). Springer.

Cediel, F., Mojica, J., & Macía, C. (1980). Definición estratigráfica del Triásico en Colombia, Suramérica - Formaciones Luisa, Payandé y Saldaña. *Newsletters on Stratigraphy*, 9(2), 73–104.

<https://doi.org/10.1127/nos/9/1980/73>

Clavijo, J., Mantilla, L., Pinto, J., Bernal, L., & Pérez, A. (2008). Evolución Geológica De La Serranía De San Lucas, Norte Del Valle Medio Del Magdalena Y Noroeste De La Cordillera Oriental. *Boletín de Geología*, 30(1), 45–62.

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).

CORTOLIMA. (2018). Documento técnico volcán guacharacos.

Dinis, I., Simões, O., Cruz, C., & Teodoro, A. (2019). Understanding the impact of intentions in the adoption of local development practices by rural tourism hosts in Portugal. *Journal of Rural Studies*, 72(September), 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.10.002>

Duarte, E., Cardona, A., Lopera, S., Valencia, V., Estupiñan, H., Duarte, E., Cardona, A., Lopera, S., Valencia, V., & Estupiñan, H. (2018). Provenance and diagenesis from two stratigraphic sections of the lower cretaceous Caballos formation in the upper Magdalena valley: Geological and reservoir quality implications. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 8(1), 5–29. <https://doi.org/10.29047/01225383.88>

Fassoulas, C., & Mouriki, D. (2012). Quantitative Assessment of Geotopes as an Effective Tool for Geoheritage Management. *Geoheritage*, 4, 177–193. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0046-9>

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>.

Gómez Díaz, E., & Mariño Arias, O. M. (2020). Structural assessment and geochemistry of thermal waters at the Cerro Machin Volcano (Colombia): An approach to understanding the geothermal system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 400, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106910>

Gómez Tapias, J., Monsalve Bustamente, M. L., Montes Ramírez, N. E., & Ortiz Blanco, L. S. (2016). Excursión de campo. Historia geológica de los Andes colombianos en los alrededores de Ibagué.

Gudmundsson, M. T. (2015). Hazards from Lahars and Jökulhlaups. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (pp. 971–984). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00056-0>

Henriques, M. H., Tavares, A. O., & Bala, A. L. M. (2013). The geological heritage of Tundavala (Angola): An integrated approach to its characterisation. *Journal of African Earth Sciences*, 88, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.09.003>

INGEOMINAS. (2008). Prevención de desastres glacio-volcánicos e hidro-meteorológicos en las cuencas de los ríos Combeima y Páez, Cordillera Central, Colombia (Departamentos de Tolima, Cauca y Huila).

Inguaggiato, S., Londoño, J. M., Chacón, Z., Liotta, M., Gil, E., & Alzate, D. (2017). The hydrothermal system of Cerro Machín volcano (Colombia): New magmatic signals observed during 2011–2013. *Chemical Geology*, 469, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.12.020>

Jaramillo-Zapata, J. E., Caballero-Acosta, J. H., & Molina-Escobar, J. M. (2014). Patrimonio geológico y geodiversidad: bases para su definición en la zona andina de Colombia: caso Santa Fé de Antioquia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 35, 53–66.

Kaptan Ayhan, Ç., Cengiz Taşlı, T., Özkök, F., & Tatlı, H. (2020). Land use suitability analysis of rural tourism activities: Yenice, Turkey. *Tourism Management*, 76(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.07.003>

Kroonenberg, S. B. (2019). The Proterozoic Basement of the Western Guiana Shield and the Northern Andes. In Fabio Cedié & R. P. Shaw (Eds.), *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 115–194). Springer.

Leal-Mejía, H., Shaw, R. P., & Melgarejo i Draper, J. C. (2019). Spatial-temporal migration of granitoid magmatism and the Phanerozoic tectono-magmatic evolution of the Colombian Andes. In *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 253–410). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_5

Lewis, C., & D'Alessandro, S. (2019). Understanding why: Push-factors that drive rural tourism amongst senior travellers. *Tourism Management Perspectives*, 32(May). <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.100574>

Lima, F. F., Brilha, J. B., & Salamuni, E. (2010). Inventorying Geological Heritage in Large Territories: A Methodological Proposal Applied to Brazil. *Geoheritage*, 2(3), 91–99.

<https://doi.org/10.1007/s12371-010-0014-9>

Liu, C., Dou, X., Li, J., & Cai, L. A. (2020). Analyzing government role in rural tourism development: An empirical investigation from China. *Journal of Rural Studies*, 79(October 2019), 177–188.

<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.08.046>

Maya, M., & González, H. (1995). Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. *Boletín Geológico*, 35(2–3), 43–57.

Marín–Cerón, M.I., Leal–Mejía, H., Bernet, M. & Mesa–García J. 2019. Late Cenozoic to modern–day volcanism in the northern Andes: A geochronological, petrographical, and geochemical review. In: Cediell, F. & Shaw R.P. (editors), *Geology and tectonics of northwestern South America: The Pacific–Caribbean–Andean junction*. *Frontiers in Earth Sciences*. Springer, p. 603–648. Cham, Germany.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_8

Molina, J. M., & Mercado, M. (2003). Patrimonio geológico, minero y geoturístico. Enfoque conceptual y de casos en Colombia. In Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS).

Montes, C., Hatcher, R. D., & Restrepo-Pace, P. A. (2005). Tectonic reconstruction of the northern Andean blocks: Oblique convergence and rotations derived from the kinematics of the Piedras-Girardot area, Colombia. *Tectonophysics*, 399(1–4 SPEC. ISS.), 221–250.

<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.024>

Motta Garcia, M. da G., Brilha, J., Lima, F. F., Vargas, J. C., Pérez-Aguilar, A., Alves, A., Cruz Campanha, G. A. da, Duleba, W., Faleiros, F. M., Fernandes, L. A., Matos Fierz, M. de S., Garcia, M. J., Janasi, V. de A., Martins, L., Raposo, M. I. B., Ricardi-Branco, F., Sanches Ross, J. L., Filho, W. S., Souza, C. R. de G., ... Shimada, H. (2018). The Inventory of Geological Heritage of the State of São Paulo, Brazil: Methodological Basis, Results and Perspectives. *Geoheritage*, 10(2), 239–258.

<https://doi.org/10.1007/s12371-016-0215-y>

Murcia, H. F., Sheridan, M. F., Macías, J. L., & Cortés, G. P. (2010). TITAN2D simulations of pyroclastic flows at Cerro Machín Volcano, Colombia: Hazard implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 161–170. **<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.09.005>**

Nuñez-Tello, A., & Murillo-Rodríguez, Á. (1982). Geología y prospección geoquímica de las planchas 244 Ibagué y 263 Ortega departamento del Tolima Colombia. Escala 1:100.000 Memoria Explicativa. Ibagué: Instituto colombiano de geología y minería ingeominas.

Nuñez, A., Gómez, J., & Rodriguez, G. I. (2001). Vulcanismo básico al sureste de la ciudad de Ibagué, departamento del Tolima– Colombia. VIII Congreso Colombiano de Geología, 12.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2156.0409>

Ordóñez-Carmona, O., Restrepo Álvarez, J. J., & Pimentel, M. M. (2006). Geochronological and isotopic review of pre-Devonian crustal basement of the Colombian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 21(4), 372–382. **<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.07.005>**

Páramo-Fonseca, M. E. (2013). *Eonatator Coellensis* Nov. Sp. (Squamata: Mosasauridae), Nueva Especie del Cretácico Superior De Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 37(145), 499–518.

Rendón-Rivera, A., Henao-Arroyave, Á. M., & Osorio-Cachaya, J. G. (2017). Inventario de sitios de interés geológico en el suroeste antioqueño - Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 41, 66–72.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/rbct.n41.54841>

Rendón Rivera, A. de J., Henao Arroyave, A. M., & Osorio Cachaya, J. G. (2013). Propuesta metodológica para la valoración del patrimonio geológico, como base para su gestión en el departamento de Antioquia - Colombia. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 33, 85–92.

Rodríguez, G., Arango, M. I., Zapata, G., & Bermúdez, J. G. (2018). Petrotectonic characteristics, geochemistry, and U-Pb geochronology of Jurassic plutons in the Upper Magdalena Valley-Colombia: Implications on the evolution of magmatic arcs in the NW Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 81, 10–30.

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.10.012>

Sánchez-Botello, C. R., Jiménez-Velandia, G., Ríos-Reyes, C. A., Manco-Jaraba, D. C., Rojas-Martínez, E. E., & Castellanos-Alarcón, O. M. (2018). Geological occurrence of the ecce homo hill's cave, chimichagua (cesar), Colombia: an alternative for socio-economic development based on geotourism. *International Journal of Hydrology*, 2(5), 618–628.

<https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00134>

Sarmiento-Rojas, L. F. (2019). Cretaceous Stratigraphy and Paleo-Facies Maps of Northwestern South America. In Fabio Cediel & R. P. Shaw (Eds.), *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 673–648). Springer.

SGC, & IGME. (2015). Valoración del patrimonio geológico solicitudes y formatos. www.igme.es

Shaw, R. P., Leal-Mejía, H., & Melgarejo i Draper, J. C. (2019). Phanerozoic Metallogeny in the Colombian Andes: A Tectono-magmatic Analysis in Space and Time. In Fabio Cediel & R. P. Shaw (Eds.), *Geology and Tectonics of Northwestern South America* (pp. 411–550). Springer.

Spikings, R., Reitsma, M. J., Boekhout, F., Mišković, A., Ulianov, A., Chiaradia, M., Gerdes, A., & Schaltegger, U. (2016). Characterisation of Triassic rifting in Peru and implications for the early disassembly of western Pangaea. *Gondwana Research*, 35, 124–143.

<https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.02.008>

Terraza Melo, R., Caicedo, J. C., Jiménez, D. M., & Morales, C. J. (2002). *Geología de la Plancha 264 Espinal, Escala 1:100.000, Memoria Explicativa*.

Torres-Herrera, H., & Molina-Escobar, J. M. (2012). Aproximación al patrimonio geológico y geodiversidad en Santafé de Antioquia, Olaya y Sopetrán, departamento de Antioquia, Colombia. *Revista Boletín Ciencias de La Tierra*, 32, 23–34.

Toussaint, J. F. (1996). *Evolución Geológica de Colombia, Cretácico*. Universidad Nacional de Colombia.

Veettil, B. K., Wang, S., Florêncio de Souza, S., Bremer, U. F., & Simões, J. C. (2017). Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 77, 218–246. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.04.009>

Vergara, H. (1989). Actividad neotectónica de la Falla de Ibagué, Colombia. V Congreso Colombiano de Geología, 147–167.

Villegas, H. (2003). Entendiendo amenazas volcánicas con imágenes Landsat TM 5 y visualización de bases de datos : el caso de los lahares del Volcán Nevado Del Ruiz (Colombia). XI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Anais XI S(Abril), 525–532.

Páginas web:

Google Earth, (2020):

<https://www.google.com/intl/es/earth/>

Periódico El Mundo:

https://www.elmundo.com/portal/vida/ciencia/encuentran_fosil_de_un_reptil_marino_de_casi_80_millones_de_anios_en_tolima.php#.X4eUdNBKhPZ

Soy Tolimense:

<https://www.facebook.com/SoyTolimense13/photos/a.2334173833495960/2392538994326110/?type=3>

Fotos de Alejandro Nieto

<https://www.flickr.com/photos/alejandranieto/5365222223>

CAPÍTULO 8.

AL CAMPUS GEORUTA- EAFIT, UNA RUTA DE MEDIACIÓN CIENTÍFICA PARA LA COMPRENSIÓN DE LA EVOLUCIÓN GEOARQUEOLÓGICA DE COLOMBIA.

Maria Isabel Marín-Cerón, Catalina González Tejada
Grupo de Investigación en Geología Ambiental y Tectónica (GAT), Área de territorios y ciudades, Universidad EAFIT
mmarince@eafit.edu.co; cgonza16@eafit.edu.co

RESUMEN

Al Campus Georuta, es un proyecto liderado por el Departamento de Ciencias de la Tierra con el apoyo del Centro de Excelencia en el Aprendizaje (EXA) de EAFIT, que busca promover el aprendizaje activo experiencial, basado en el reconocimiento y exploración del campus universitario EAFIT. A través de la observación de cinco sitios geo-arqueológicos, hemos construido un camino de aprendizaje que permite la identificación de materiales geológicos de origen natural, formas paisajísticas y ruinas arqueológicas, como soporte para la conceptualización básica en Ciencias de la Tierra (p.e. tiempo geológico, formación del paisaje). Nuestra contribución es parte de una estrategia de divulgación científica, que permite a todas las generaciones convergentes en nuestro campus (p.e. niños, jóvenes estudiantes, profesores y personas adultas) navegar en el campo de las ciencias de la tierra a través de dinámicas típicas del trabajo de campo.

Palabras clave: *Campus universitario EAFIT, Georuta, aprendizaje activo experiencial, Patrimonio Geo-arqueológico.*

ABSTRACT

Al Campus Georuta, is a project led by the Department of Earth Sciences with the support of the EAFIT's Center of Excellence in Learning (EXA), looking to activate experiential active learning, based on the recognition and exploration of the EAFIT university campus. Through five geo-archaeological sites observation, we have built a learning path that allow the identification of geological materials of natural origin, landscape forms, and archaeological ruins, as support for the basic conceptualization in Earth Sciences (e.g., rock types and cycles, stratigraphy, geological time, landscape formation). Our contribution is part of a dissemination science-strategy, which allows all converging generations on our campus (e.g., children, young students, professors and adult people) to navigate into the earth sciences field through typical fieldwork dynamics.

Keywords: *University Campus, Georuta, experiential and active learning, Geo-archeological Heritage*

INTRODUCCIÓN |

Al Campus Georuta, es un proyecto que busca incentivar el aprendizaje activo experiencial, a partir del reconocimiento y la exploración del campus universitario, mediante la observación de cinco geo-arqueo sitios, ubicados en el campus de la universidad EAFIT. Estos geositios permiten la identificación de materiales geológicos de origen natural (minerales y rocas), formas del paisaje (Valle de Aburrá) vestigios arqueológicos (parque de los Guayabos), con el fin de entender los conceptos básicos de las Ciencias de la Tierra. De la misma manera, correlacionar lo observado espacio-temporalmente con la evolución geológica de Colombia, como una estrategia de divulgación científica multinivel, que permita a todas las generaciones convergentes en el campus, navegar en el campo de las ciencias naturales y de la tierra de forma didáctica mediante una dinámica típica del trabajo de campo.

El proceso de aprendizaje experiencial promueve la actuación, exploración, obtención de información y ordenación de la información en los públicos (estudiantes u otros), donde el mediador acompaña en el recorrido, generando espacios de interacción y reflexión entorno a lo que la naturaleza o los espacios por fuera del aula ofrecen. El objetivo de la mediación finalmente es servir de intermediario entre las personas y su entorno. La mediación es uno de los conceptos fundamentales de la psicología sociohistórica, es decir, de un proceso en el cual existe un agente que funciona de intermediario en una relación. La mediación tiene como fundamento un principio antropológico y es la creencia de la potencialización y perfectibilidad de todo ser humano. Por tanto, esta mediación se debe entender desde una posición humanizadora, constructiva y positiva enmarcada en el campo educativo, que forma parte de la capacidad de potenciar competencias críticas y analíticas de los públicos. La mediación desde un contexto educativo involucra al educador o toda persona que facilita el desarrollo, quien se convierte en un intermediario entre el público, el saber, su entorno, y lo que los otros pares construyen.

La experiencia que el estudiante inicia a partir de la mediación realizada por el docente, le permite facilitar la adquisición de ciertas conductas y de los aprendizajes, operaciones mentales, estrategias, significados, etc., que modificarán de una u otra forma su estructura cognitiva. Esto permitirá dar respuesta adecuada a los diferentes estímulos intencionados que el mediador les proporciona, de ahí que toma gran relevancia la relación que se establece entre los públicos y el mediador. Cuando la mediación se relaciona con la interpretación, que a su vez se vincula con el acercamiento al patrimonio y la naturaleza, se puede entender dos aproximaciones principales, in situ (en el lugar) y ex situ (fuera del lugar).

2. GEORUTAS COMO UNA HERRAMIENTA DE MEDIACIÓN IN SITU – EX SITU

Entendamos en este texto la georuta como el enlazar diversos lugares de interés geológico, o geomorfológicos (Carcavilla Urquí et al., 2008; Tavera Escobar et al., 2017), a veces en interacción con la apropiación cultural del paisaje y las condiciones geológicas del territorio (Palacio Prieto et al., 2019), y casi siempre con un interés educativo, de acuerdo con la conceptualización del geoturismo (González Tejada et al., 2017, pp. 9-12), y el interés de darle al patrimonio geológico un lugar en las políticas de conservación de la naturaleza como lo defiende la Declaración de Digne sobre los derechos de la memoria de la Tierra (La Société géologique de France, 1994).

Los orígenes de las georutas podrían asimilarse a los “trail school”, creados por Ennos Mills mediante la visitas escolares a los Parques Nacionales, “la naturaleza esta dispuesta a formar a los niños y niñas” (Mills 1920, 254). Sin embargo, estos no eran netamente geológicos, como gran parte de las georutas actuales pueden serlo, y cuyo concepto parece venir de las salidas de campo universitarias, como los “geotrails” (palabra en ingles para las georutas). Aunque posiblemente las visitas universitarias en relación con la geología existían desde siglos anteriores, la utilización del “geotrails” parece haber aparecido a finales de los años ochenta en el territorio del Gerolstein en Alemania, mediante un acuerdo entre los alcaldes y un profesor universitario que frecuentaba la región con sus estudiantes de geología desde hace mucho tiempo, y que dieron luego pie a la creación del Geopark Gerolstein¹. Cabe resaltar que se trataría de igual manera de la primera utilización del termino “Geopark”, que habría estableciendo unos fundamentos para su conceptualización mundial (Henriques & Brilha, 2017, pp. 350-351).

Teniendo en cuenta que las georutas van siempre acompañadas de unos soportes interpretativos, sean materiales, orales o virtuales, están íntimamente relacionadas con la interpretación. Interpretar la naturaleza ha tenido, históricamente, un rol fundamental en las evoluciones de relación que las personas establecen con ella. En este sentido naturalistas como John Muir, por medio de sus escritos quería hacer cambiar la relación con la naturaleza como un camino de acercamiento a Dios, “el elixir espiritual de la naturaleza” (Johnson, 2009, p. 159), y que influyeron en la creación de políticas de protección en Estados Unidos, especialmente para la creación de Parques Nacionales (Philippon, 2005; Van Dyke, 2008), al haber logrado tener una influencia en las percepciones del presidente Theodore Roosevelt frente a la naturaleza². La geología era parte fundamental de la interpretación de la naturaleza, entendiendo inclusive la geología como eje principal de la creación de los Parques Nacionales como “paraísos para geólogos” (Albright, 1983, p. 39). Sin embargo, la interpretación de la naturaleza empieza a teorizarse a partir de la publicación de Freeman Tilden en 1957, titulada “interpretando nuestro patrimonio”.

Según Tilden, existen seis principios básicos para la interpretación del patrimonio³ mediante una aproximación in situ de la naturaleza, que permiten “revelar el alma” (Tilden, 1957, p. 59) de un sitio, de un paisaje, que otros llamarían “el sentido del lugar” (Carter, 2001), o el “espíritu del lugar” (Viel, 2008). Los preceptos de Tilden han sido reinterpretados y apropiados por diferentes autores, dándoles sentidos más o menos educativos o recreativos. En el marco de las Ciencias de la Tierra, en paralelo con la emergencia del concepto de geoturismo, surge una conceptualización de la interpretación dirigida a dar espacio a su divulgación, llamada “interpretación ambiental”:

“Interpretar es el arte de explicar el significado de los lugares de importancia natural o histórica a las personas que lo visitan [...] es la manera más potente y efectiva de crear conciencia y apoyo para la conservación de las ciencias de la Tierra” (Badman, 1994, 429 citado por Hose 2006, 224).

¹Entrevista telefónica con la Dr. Marie-Luise Frey el 19 de junio de 2018.

²John Muir: An Appreciation" by Theodore Roosevelt, Outlook, vol. 109, pp. 27-28, January 16, 1915 in http://vault.sierraclub.org/john_muir_exhibit/life/appreciation_by_roosevelt.aspx

³(1) Cualquier interpretación que de alguna forma no relacione lo que se muestra o describe con algo que se halle en la personalidad o en la experiencia del/de la visitante, será estéril. (2)

La información, tal cual, no es interpretación. La interpretación es revelación basada en información, aunque son cosas completamente diferentes. Sin embargo, toda interpretación incluye información. (3) La interpretación es un arte, que combina otras muchas artes, sin importar que los materiales que se presentan sean científicos, históricos o arquitectónicos. Cualquier arte se puede enseñar en cierta forma. (4) El objetivo principal de la interpretación no es la instrucción, sino la provocación. (5) La interpretación debe intentar presentar un todo en lugar de una parte, y debe estar dirigida al ser humano en su conjunto, no a un aspecto concreto. (6) La interpretación dirigida a niños y niñas (digamos, hasta los doce años) no debe ser una dilución de la presentación a las personas adultas, sino que debe seguir un enfoque básicamente diferente. Para obtener el máximo provecho, necesitará un programa específico. (Version en ingles: Tilden 1957, 9; Version en Español recuperado de <https://www.interpretaciondelpatrimonio.com>)

Esta definición, más que hablar del “arte de revelar” como lo indica Tilden, envía al “arte de explicar”, dos sentidos de la interpretación que estarían en oposición (Durand 2015, 35), pero que parecen cohabitar en las acciones interpretativas de la geología. Esto puede visibilizarse en el caso de los Geoparques Mundiales de la UNESCO, cuyos objetivos educativos hablan de “concientizar sobre la historia del planeta, paisajes y procesos geológicos activos [...] Incrementar el conocimiento y la comprensión de los geoprocesos, geohazards, cambio climático” (Unesco Global Geoparks, 2015). Objetivos que se asimila a la “interpretación ambiental” según Badman y a la corriente de la “popularización de las ciencias” que define la interpretación de los Geoparques en China (Du & Girault, 2019), lo cual parece contradictoria al concepto de geoturismo promovido dentro de esta figura, de acuerdo con la Declaración de Arouca (2011), que se refiere expresamente a los preceptos de “la interpretación del patrimonio” según Tilden (Global Geoparks Network et al., 2011).

En esa interacción, o quizás búsqueda de articulación, entre la “revelación”, vinculada a la emoción y los sentidos, y la “explicación”, vinculada a los intereses de obtener conocimiento y adoptar comportamientos, se crea Al Campus Georuta, como una ruta interactiva para la gestión del conocimiento geocientífico desde la mirada de lo cotidiano. El recorrido ofrece una aproximación ex situ de la naturaleza, con una tonalidad de salida de campo al salir del salón de clase, donde el Campus Universitario se vuelve una especie de museo al aire libre, al incluir la visita de la colección universitaria y al utilizar monumentos y edificios del campus, hechos a partir de materiales geológicos, que permiten complementar las explicaciones y la contextualización de la geología de Colombia. Al tratarse de elementos geológicos extraídos de su contexto original e incorporados en un nuevo mundo, como dice Van Geert, (2019, p. 135), pueden adquirir múltiples sentidos de acuerdo con la narrativa que se desee crear alrededor de estos.

Aunque existen recorridos geológicos que interpretan y explican la geología desde lo cotidiano, como la “colección de paseos geológicos” del Museo Nacional de Historia Natural⁴, por París, otras ciudades de Francia e inclusive dentro de los edificios de la UNESCO⁵, no tenemos conocimiento de georutas dentro de un campus universitario. Esta propuesta de georuta es innovadora por introducir dentro de un Campus Universitario un nuevo soporte pedagógico de mediación científica, para estudiantes y visitantes, que busca articular lo virtual con lo físico y la revelación con la explicación. ¿Permitirá al Al Campus Georuta abrir nuevas aproximaciones al aprendizaje de la geología y del entendimiento del paisaje?

⁴Recuperado de <https://www.mnhn.fr/fr/explorez/editions-museum/guides-naturalistes-amateurs-confirmez/collection-balades-geologiques>

⁵Recuperado de <http://www.biotopie-editions.com/index.php?article176/promenade-geologique-a-l-unesco>

3. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico propuesto, se base en el papel del profesor como facilitador del proceso de observación de los Lugares de Interés Geo-arqueológico (LIG-As), la conceptualización de palabras claves, toma de datos en campo y el desarrollo de una bitácora de campo con su respectiva georeferenciación de los sitios observados en el campus. Todo lo anterior intencionalmente a lo largo del tiempo geológico, con el fin de contribuir a la construcción colectiva de un modelo simplificado de evolución de la tierra en el marco del bloque Norte de Suramérica. Para ello se llevó a cabo el siguiente flujograma metodológico (ver figura 1) al Interior del Campus de la Universidad EAFIT con el apoyo del EXA.



Figura 1 Flujograma metodológico de Al Campus Georuta.

La actividad Al Campus Georuta, fue realizada en primera instancia con los pares académicos de las diferentes escuelas de la universidad, en el evento Momento Docente (2019), luego en el curso de Introducción a la Geoquímica de manera presencial (2020) y de formal virtual en el material del núcleo de formación institucional: Hombre y Medio ambiente, Geología de Colombia y Comunidad Geocoolute, durante el periodo de pandemia asociada al COVID-19 (2020-2).

Para el análisis de la implementación de Al Campus Georuta, se realizaron una serie de encuestas de percepción, una vez terminada la actividad y otros formularios seis meses después de realizada la actividad (Ver anexo electrónico 5.1); con el fin de evaluar el poder de recordación logrado con el proceso presencial y virtual, y valorar los procesos de aprendizaje experiencial, a partir del trabajo campo, observación científica y la síntesis de información.

4. RESULTADOS

El campus de la Universidad EAFIT se ha convertido en un referente a nivel de la ciudad, el verde del campus, embellecido por las orquídeas, guayacanes de colores y otros árboles que atraen a colibríes, mariposas, polillas y ardillas, conviven con otros animales ya conocidos y nuevos como el gecko, el zorro perro y la falsa coral. Se le ha denominado las Universidad Parque, un lugar que desde hace cerca de 15 años invita a los seres humanos que la habitan y la transitan a deleitarse con la biodiversidad, y a convivir y respetar las diferentes especies que le aportan belleza y vitalidad⁶. Adicionalmente, el territorio universitario ha identificado rutas multi-propósitos que incluyen: Al Campus académico, Al Campus reencuentro, Al Campus gastronómico, Al Campus Cultural, Al Campus recorridos y con esta Al Campus Georuta.

En el presente trabajo se pretende documentar el proceso de conformación e implementación de Al Campus Georuta, como una iniciativa de aprendizaje centrada en el estudiante o mediador, mediante el diseño de una estrategia novedosa para promover los procesos de aprendizaje en las diferentes estrategias que promueve la universidad: Universidad de los niños, Saberes de vida, Cursos básicos de Geología, Cursos del núcleo de Formación Institucional (p.e. Hombre y Medio Ambiente) y comunidad universitaria en general.

⁶<https://www.eafit.edu.co/noticias/estudiantes/2019/universidad-parque-la-casa-de-muchas-especies-de-todos-los-colores-y-tamano>

4.1 Inventario de sitios de interés

Partiendo del objetivo anteriormente citado de “concientizar sobre la historia del planeta, paisajes y procesos geológicos activos [...] Incrementar el conocimiento y la comprensión de los geoprocesos, geohazards, cambio climático” (Unesco Global Geoparks, 2015), se escogieron los LIG’s en el campus, que permitieron contar la historia de la ocupación del territorio del Valle de Aburrá (Estación 1, Parque de los Guayabos); hasta los relictos del Cratón Amazónico en Colombia (Escudo de Guyana), ubicado hacia las regiones de la Amazonía y la Orinoquía (Estación 2, Biblioteca Luis Echavarría) y la evolución de Colombia (Estación 3, 4, 5), como se observa en la Figura 2.



Figura 2 Esquema de Localización de las estaciones de Al Campus Georuta.

Estación 1. Parque de Los Guayabos, Un sitio arqueológico multicomponente

La estación 1, se encuentra en el sector Los Guayabos, allí durante el proceso de excavación para la construcción del actual edificio de Idiomas, se encontraron diversos hallazgos arqueológicos, que pueden ser agrupados en la denominación de un sitio arqueológico multicomponente (Secretaría de Cultura, 2015).

De acuerdo con la legislación colombiana, todo proyecto de infraestructura debe realizar un proceso de levantamiento arqueológico conocido como arqueología de rescate (ver figura 4), que permita documentar la información que de una u otra forma esta siendo intervenida durante el proceso de excavaciones de la obra (documento los Aburraes, Secretaría de Cultura, 2015). El material encontrado, fue debidamente organizado y estudiado por arqueólogos y geólogos, con el fin de determinar una línea de tiempo o estratigrafía (ver figura 3) de la ocupación de esta zona y su correlación con los vestigios reportados en las zonas aledañas. Métodos de datación como C14 en la materia orgánica y carbones encontrados con los yacimientos arqueológicos, y el estilo de la cerámica, han permitido aún mas refinar este marco cronológico (entre 10.000 años hasta el reciente).

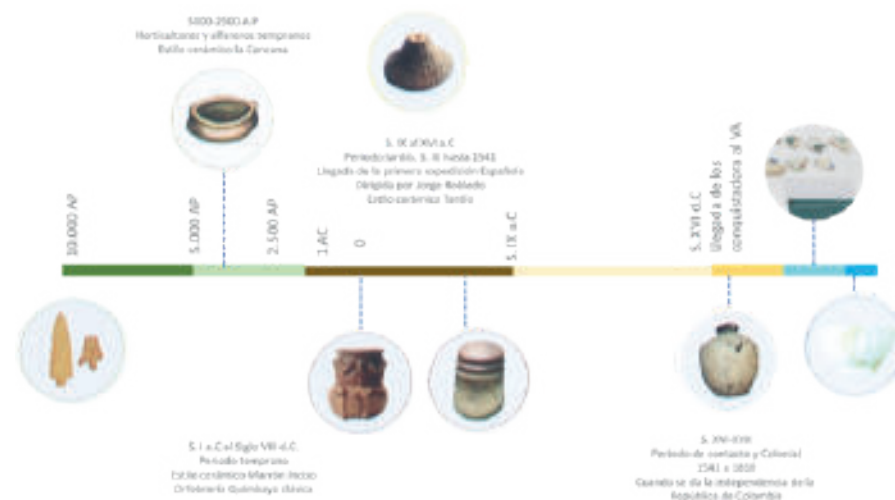


Figura 3. Línea de tiempo del sitio arqueológico Los Guayabos, modificado y adaptado del documento los Aburraés (Secretaría de Cultura 2015).

La documentación existente (Secretaría de Cultura, 2015), indica varios periodos sucesivos de ocupación (1) cazadores-recolectores, (2) horticultores y alfareros tempranos, (3) periodo Republicano, (4) cuellos y fragmentos de contenedores de origen español utilizados para transportar vino, aceite y otros líquidos. Adicionalmente, seis yacimientos arqueológicos recuperados en el Parque Los Guayabos, han sido asociados a cementerios precolombinos que compartían una misma técnica alfarera y una misma cosmovisión y ritual del periodo temprano.



Figura 4 Fotografía del proceso arqueológico de rescate y Modelado 3D sitio arqueológico Los Guayabos y zonas aledañas, se observa la ubicación de la urnas funerarias y estructuras de piedras (foto tomada del Museo itinerante, bloque Los Guayabos, Universidad EAFIT).

Estación 2. Luis Echavarría, Un piso con mas de 1400 Ma de historia

El piso de la biblioteca Luis Echavarría, está conformado por una piedra ornamental llamada Granito Rapakivi. El término “rapakivi” se traduce literalmente como piedra podrida, fue un término usado por Volbort (1962), para los granitos finlandeses altamente meteorizados. Diversos autores han usado este término para describir tanto las características físicas como petrográficas de ciertas rocas graníticas con alto contenido de feldespato potásico (p.e. Volbort, 1962). En el caso colombiano, Gonzáles y Pinto (1990), utilizaron el término rapakivi para la descripción textural de grandes cristales redondeados de feldespato potásico de tamaño centimétrico, en una matriz usualmente compuesta por cuarzo, plagioclasa, biotita y hornblenda (Figura 5).



Figura 5. Fotografía de detalle del granito con textura Rapakivi expuesto en el piso de la biblioteca Luis Echavarría.

En la región colombiana la procedencia de este tipo de granitos se encuentra asociada a afloramientos en la Orinoquía, como parte del llamado Granito Parguaza (Peg), el cual constituye el borde mas occidental del Escudo de Guyana y que hace parte del Cratón⁷ Amazónico, mejor expuesto en Venezuela (Bellizzia, 1976). En el departamento del Vichada, a lo largo del Parque Nacional Natural Tuparro, se observan cerros residuales y lechos del río Orinoco en roca, conformando los conocidos raudales del Maypures⁸. Dataciones recientes en esta unidad, reportan edades de la cristalización de la roca del Precámbrico (1392 +/- 5 Ma y 1401 +/- 2 M en U/Pb en circón, Bonilla-Pérez et al, 2013).

En ese sentido, el piso de la biblioteca corresponde a una muestra de rocas que representa uno de los eventos magmáticos mas antiguos registrados en el Oriente Colombiano, los cuales fueron formados en el periodo Precámbrico, al menos 1000 Ma antes de la formación de las rocas que observamos en las cordilleras de los Andes Colombianos. Este lugar ha sido descrito por Humboldt como una de las siete maravillas del mundo en su viaje de 1799 y que hoy hace parte de una zona protegida como Parque Natural Nacional Tuparro, donde se observan geoformas de cerros aislados, conocidos como Inselberg⁹. Estas geoformas también pueden ser encontradas en el Oriente Antioqueño (p.e. la Piedra del Peñol), asociado a rocas mucho mas jóvenes (65-95 Ma, Restrepo-Moreno et al 2009 y referencias allí citadas) del Batolito Antioqueño, en la Cordillera Central.

Estación 3. El parque de los Pimientos, bloques de rocas calcáreas que cuenta la historia de las invasiones marinas del Cenozoico

Saliendo hacia el parque de los Pimientos, se observa un cambio en el piso ha una roca sedimentaria, la cual es ampliamente utilizada como material de enchape de pisos y paredes en Colombia, y en esta ocasión a lo largo y ancho del campus universitario. Este material esta asociado a rocas sedimentarias calcáreas, donde es posible identificar restos de fósiles de orden centimétrico, que contrasta al interior de la matriz de color crema. Los bloques de orden métrico del Ágora, invitan al transeúnte a tomar un descanso y a disfrutar de la sombra de los pimientos que allí existen. La invitación con esta estación es además de disfrutar de este fabuloso lugar, interactuar con bloques de roca expuestos, los cuales fueron traídos de las minas que se encuentran en

⁷Definición de Cratón: Sector extenso de un continente constituido por corteza continental potente y antigua, que ha permanecido estable durante un prolongado intervalo de tiempo y que no suele verse afectado por actividad orogénica.

⁹Del alemán Insel, “isla,” y Berg, “montaña”, montaña aislada. <https://www.britannica.com/science/inselberg>

la región Caribe, asociado a la Formación Calizas de Toluviejo (De Porta, 1963 y referencias allí citadas). Estas rocas corresponden a invasiones marinas que se encuentran registradas durante el Cenozoico en Colombia, ampliamente reportadas en la Cordillera Oriental y la región Caribe, donde mares someros permiten que los iones de calcio y CO₂ disueltos en el mar se unen, para precipitar en forma de carbonatos de calcio de manera simultánea con restos de esqueletos de animales marinos. Estas rocas se conocen como rocas sedimentarias bioquímicas.

En la naturaleza, las rocas calcáreas son altamente susceptibles a los procesos de disolución, generando los conocidos paisajes kársticos, donde el agua meteórica y/o superficial ligeramente ácida, infiltran las rocas a través de fracturas en el macizo rocoso, generando procesos de disolución y cavernas con estructuras de redeposición llamadas estalactitas y estalagmitas. Si se observa de forma detallada, se visualizan en los bloques expuestos, estructuras de disolución de orden centimétrico (Figura 6).



Figura 6. Parque de los pimientos, bloques de rocas calizas traídas de las minas asociadas a la Formación Tolú Viejo.

¹⁰Paisaje Kárstico. karst. (karst) Terreno calizo o evaporítico en el que la disolución por las aguas origina formas exokársticas y endokársticas. https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm#K

Estación 4. Terraza del Bloque 31, panorámica hacia el Valle de Aburrá

El Valle de Aburrá (VA) es una depresión topográfica alargada de más de 1000 m (Figura 7). Desde el nacimiento del Río Medellín hasta Barbosa es un valle estrecho que se amplía en el municipio de Medellín y se cierra en los Ancones Sur y Norte. Está limitado por superficies de erosión y se encuentra cubierto por numerosos depósitos de vertiente de edades variables (Aristizábal et al. 2005 y referencias allí citadas). Las geoformas que se observan en el valle son un relato de la una depresión tectónica-erosiva, asociada a la evolución de tres cuencas tectónicas desde hace al menos 3.5 millones de años (Rendón, 2003), dándole una forma asimétrica y segmentada al valle, rodeada a ambos lados por altiplanos.

Adicionalmente, las rocas que afloran en el VA, nos cuentan una historia que empezó durante el proceso de formación del supercontinente Pangea (aprox 250 M.a) y posterior ruptura. Estas rocas forman parte de lo que se conoce como el núcleo de la Cordillera Central, de edad Paleozoica-Triásica, posteriormente afectadas por eventos magmáticos en el Cretácico tardío (Stock de Altavista, cuyos suelos son hoy utilizados para la fabricación de ladrillos, en el sector de Belén Altavista). Afloramiento de las rocas mencionadas se encuentran documentadas en el I-book Georutas de los Alrededores de Medellín, hacia la vía las Palmas, Boquerón, Santafé de Antioquia y Medellín Bogotá y Santa Elena. Relictos de estas rocas, se encuentran adicionalmente dispersas en los cerros tutelares Nutibara y el Volador, donde adicionalmente se han reportados vestigios arqueológicos correlacionables con los vestigios encontrados en la estación 1, utilizados por los Aburraes en sus rituales sagrados (Secretaría de Cultura Ciudadana, 2015).

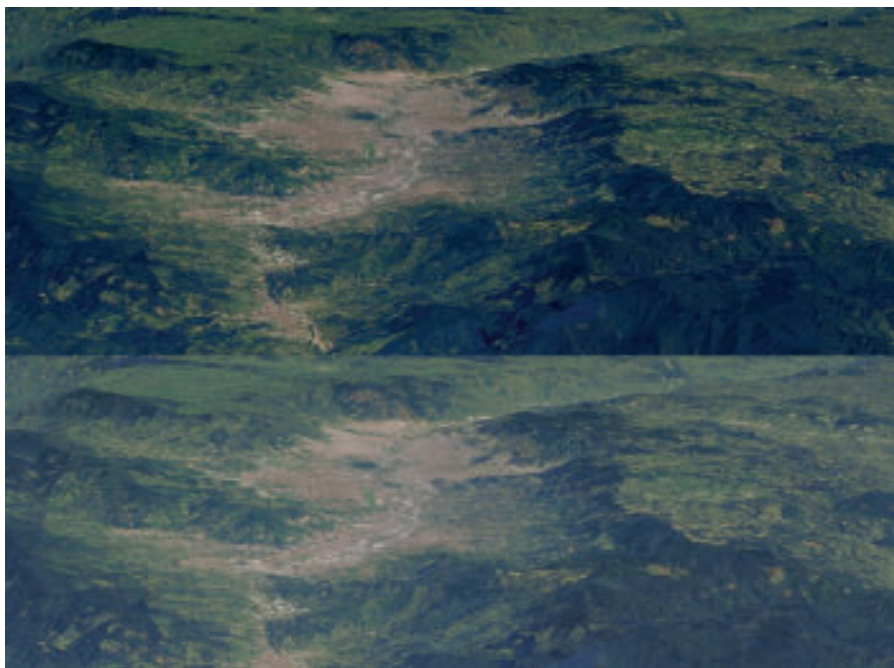


Figura 7. Vista panorámica del Valle de Aburrá en Google Earth

Estación 5. Parque de la geología, bloque 14. Tres tipos de rocas que cuentan la historia de los Andes Colombianos

El parque de la geología ha nacido como un espacio donde se adorna con el material que tanto profesores como estudiantes, han colectado a lo largo de sus salidas de campo, proyectos de investigación y trabajos de grado. Los bloques de rocas que se encuentran allí expuestos corresponden a rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de una gran variedad temporal y espacial, como un registro de la geología colombiana.

Este lugar, se convierte en una excusa perfecta para tomar un descanso y dialogar con rocas que tienen millones de años, tan antiguas como del Paleozoico-Triásico (Cordillera Central, relictos del súper continente Pangea, propuestos por Vinasco et la., 2006); rocas sedimentarias y fósiles del Cretácico (Cordillera Oriental) y rocas volcánicas y plutónicas Cretácicas y Cenozoicas (Cordillera Occidental y Central). Juntas, permiten contar la historia de formación del territorio colombiano (Figura 8).



Figura 8. Rocas ígneas con textura rapakivi (Cratón amazónico), rocas metamórficas (basamento de la Cordillera Central); fósil de amonita cretácica (Cordillera Oriental); minerales nativos en Colombia. fotos e información tomada del museo itinerante bloque 14, Universidad EAFIT.

4.2 Implementación de Al Campus Georuta

Etapas 1. Momento docente

Se conoce momento docente, como una estrategia de la Vicerrectoría de Aprendizaje de la Universidad EAFIT, que durante los últimos años ha trazado una ruta de aprendizaje y descubrimiento, para brindar a todos sus profesores conocimientos, experiencias y herramientas que les permitieran enfrentarse a los nuevos retos de la enseñanza y el aprendizaje. En el año 2019, se centró en la investigación formativa, razón por la cual se hizo un llamado a varios de los profesores que han venido trabajando con Proyecto 50 hoy EXA¹¹, en el desarrollo de estrategias innovadoras fuera y dentro de la clase. Dentro de los talleres dictados durante esta versión de Momento docente se encuentran: juegos para diseñar juegos; aprendizaje basado en videojuegos; aproximación a la etnografía; dale la vuelta a la clase; el juego como fuente de aprendizaje investigación y financiación; proyectos para aprender y la experiencia como detonante del proceso de aprendizaje y Al Campus Georuta.

Para el caso específico de Al Campus Georuta, se diseñó en primera instancia un taller participativo con ocho docentes del área de mercadeo, economía, humanidades y psicología. La meta de aprendizaje para este público conformado por pares docentes fue comprender cómo el hecho de interactuar con el entorno (Campus universitario) facilita la experiencia de aprendizaje fuera del aula de clase. Los profesores participantes, realizaron bajo la dirección de la profesora María Isabel Marín (Departamento de ciencias de la Tierra), un trabajo de campo a lo largo de los sitios diseñados de la georuta (Ver Figura 9). De forma paralela, tuvieron la oportunidad de elaborar su bitácora de campo y hacer un acercamiento al uso de los implementos geológicos: mapas, brújulas, lupas, uso de ácido clorhídrico y GPS. Al finalizar el recorrido, se hizo un cierre de la actividad que finalizó con un mapa conceptual, para hacer la validación respectiva del proceso, el cual tuvo como intención pedagógica: la observación, georeferenciación, esquematización y la generación de un banco de preguntas.

De acuerdo con lo propuesto en la taxonomía de Bloom (Armstrong, P., 2010), el taller realizado no solo permitió que el grupo participante recordara conceptos, sino que también los comprendiera y analizara a partir de las diferentes estaciones visitadas, como el registro geológico y arqueológico que se encuentra en el campus universitario, lo cual permitió analizar de manera esquemática, la evolución geológica de Colombia, desde hace 1400 M.a. hasta el presente.



¹¹EXA antes Proyecto 50, hoy Centro para la Excelencia en el Aprendizaje, EAFIT.

¹²Todos los participantes (8 en total) realizaron la evaluación mediante la técnica de anagnograma.



Figura 9. Participación de pares académicos en el Momento Docente de diciembre de 2019 (estación 2 y 3 de la georuta).

Al finalizar la actividad, los pares docentes¹² calificaron la experiencia general, como Excepcional. Calificaron los aspectos metodológicos del taller, uso adecuado del tiempo; pertinencia de los contenidos, cumplimiento de los objetivos propuestos, aplicabilidad en su actividad docente, respuesta a sus expectativas, dominio de la temática de parte del facilitador y uso adecuado de los recursos dentro del rango de Excepcional a Excelente.

Etapas 2. Cursos modalidad presencial

En el curso de Introducción a la Geoquímica, perteneciente al primer semestre del pregrado de Geología, se llevó la actividad de Al Campus Georuta, de manera presencial. Un total de 60 estudiantes divididos en dos grupos, exploraron con ayuda de la profesora María Isabel Marín, las cinco estaciones diseñadas. En esta ocasión, el itinerario científico se centró en la conceptualización de los temas que iban a ser abordados en el curso: decaimiento isotópico y dataciones (estación 1); cristalización magmática y desequilibrio mineral (estación 2); Procesos de disolución, precipitación y ciclo biogeoquímico del

Carbono (estación 3); evolución del paisaje (estación 4) y equilibrio mineral (estación 5). En cada estación se utilizó de manera interactiva el acceso a códigos QR que les permitiera consultar videos cortos sobre los temas anteriormente mencionados. Durante toda la actividad, se reforzó el manejo de los diferentes instrumentos geológicos (GPS, brújula, mapas, lupas y ácidos) y la toma de datos en campo para la conformación de su bitácora de campo.

En la clase siguiente en el aula, se pudo validar mediante un mapa conceptual participativo los objetivos de la actividad, que fueron afianzar en los estudiantes, según la taxonomía de Bloom (Armstrong, P., 2010), las competencias básicas de conceptualización, análisis y síntesis de la información a la luz de los objetivos de un curso introductorio de geoquímica. El 95% de los estudiantes consideraron la actividad como muy didáctica y pertinente para el curso¹³.

Etapas 3. Cursos modalidad Virtual e iniciativa Geocoolture

Durante el periodo de cuarentena obligatoria por el COVID 19, impuesta en Medellín desde el mes de marzo-agosto del 2020, se diseñó una nueva estrategia de Al Campus Georuta, mediante un recorrido virtual de las cinco estaciones anteriormente analizadas. En esta ocasión 50 estudiantes procedentes de diferentes carreras y semestres (Economía, Administración de empresas, Negocios Internacionales, Psicología, Biología, Ingenierías, entre otros), pertenecientes al curso Hombre y Medio Ambiente (Núcleo de Formación institucional) participaron de forma virtual en la actividad guiada por la docente María Isabel Marín. Al finalizar los estudiantes realizaron un taller en grupos de cinco personas con el fin de hacer un ejercicio evaluativo a partir de la experiencia.

El objetivo de aprendizaje en este curso se centró en la relación del componente geológico y el ser humano, haciendo especial énfasis en los conceptos de sostenibilidad ambiental, para lo cual se hacía necesario, que los grupos involucrados, pudieran percibir los servicios prestados por la tierra para suplir las diferentes necesidades de la sociedad. Adicionalmente, se hizo especial énfasis en los ciclos de la tierra, el tiempo que se tardan los procesos geológicos (millones de años) para formar los diferentes tipos de rocas y el paisaje, y cómo los procesos antrópicos han acelerado de cierta forma la degradación de nuestro hogar llamado tierra. Al finalizar la actividad, el 100% de los grupos que se conformaron, contestaron Sí a las preguntas: (1) ¿Creé que se logró el objetivo de identificar elementos geológicos en el

campus? y (2) ¿Recomendaría esta actividad a otros estudiantes? Finalmente, en una puesta en común de lo observado en la actividad, los estudiantes que intervinieron de forma verbal anotaron que se sentían impresionados de lo que el campus universitario les ofrecía para entender la historia de la tierra, y que anhelaban la realización de la actividad de forma presencial una vez terminada la cuarentena obligatoria.

Finalmente, la más reciente implementación, se hizo con la comunidad Geocoolture (septiembre, 2020). Esta es una comunidad que nació también durante el periodo de cuarentena obligatoria al interior del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad, con el fin de construir una asociación académica y de la sociedad civil al interior del campus universitario, que promueva el uso racional de los recursos naturales y la preservación de la vida a través de la aplicación del conocimiento de las Ciencias de la Tierra y sus aplicaciones tecnológicas. Adicionalmente, Geocoolture se ha encargado en difundir el conocimiento geocientífico en programas tipo seminario web y entrevistas a expertos. Con esta iniciativa, se busca hacer la mediación de los casos de éxito de nuestros miembros (Estudiantes y profesores de la Universidad EAFIT) donde se hayan realizado acciones de protección del medio ambiente, de gestión del patrimonio geológico y de los recursos naturales. En este orden de ideas, una de las primeras iniciativas de la comunidad, fue la experimentación virtual de Al Campus Georuta, ejercicio que permitió otro tipo de validación del proceso, ya que no implicaba ningún tipo de evaluación numérica, sino que fue un proceso voluntario. Los resultados colectados a partir de este evento arrojaron los siguientes resultados: el 100% de los encuestados¹⁴ que participaron, recuerdan con alto grado de precisión cada una de las cinco estaciones visitadas, indicando las palabras claves de cada una y los tipos de rocas observados. El 100% consideró que el objetivo de identificar elementos geológicos en el campus les llamó la atención y recomendarían la actividad para ser realizada por todo tipo de público. En el ítem de comentarios adicionales, se resaltan:



¹³Análisis de percepción a partir de la dinámica en clase y la construcción del mapa conceptual. Población involucrada 55 estudiantes.

¹⁴Diez participantes de la comunidad Geocoolture.

“La interacción con el campus universitario la hace genial, permite apropiarnos de la geología de una manera muy cercana y fácil de entender”.

“Es bastante didáctica, y ayuda a los nuevos estudiantes a entender que la geología se encuentra en todas partes”.

“Es una actividad que la creo necesaria para los estudiantes de geología del primer semestre porque incentiva la pasión por la geología mostrando como las cosas que tenemos a nuestro alrededor están relacionadas con la carrera que estudiamos”.

“El recorrido y su estructuración. Genial manera de conocer el campus y aprender sobre la geología que tenemos cerca día a día”.

“Fue una actividad muy interesante ya que descubrimos que el campus tiene mucha variedad de rocas de diferentes lugares que a primera vista parecen normales y aprender sobre ello es muy interesante y emocionante”.

5. DISCUSIÓN

Tomar conciencia de las problemáticas y responsabilidades frente al medio ambiente, de acuerdo con estudios realizados, “requiere la construcción e interacción entre diferentes tipos de saberes: el saber, el saber ser, el saber hacer, el saber actuar, el saber vivir juntos en el mundo, [...] concentrarse solamente en la acumulación de conocimientos no es suficiente, ya que no es garante de una toma de conciencia crítica, ni de solidaridad, ni de compromiso auténtico y honesto” (Marleau 2010, 266-67). En este sentido, para sensibilizar los públicos sobre la importancia de la geodiversidad colombiana, se requiere la utilización de los diferentes sentidos y hacer a los diferentes públicos partícipes de la construcción del conocimiento a partir de su mundo cotidiano, revelando nuevas relaciones con la naturaleza, especialmente abiótica, y con el paisaje que los rodea, sea este a nivel de país, departamentos, ciudad, comuna, barrio, colegio y/o campus universitario.

Al Campus Georuta, apoya uno de los objetivos estratégicos del itinerario 2030 de la Universidad EAFIT, considerando el campus como un epicentro físico y digital de la cultura y la creación artística, con el objetivo de aportar al aprendizaje, descubrimiento, creación y cultura con sentido humano, en su propósito superior: “Inspiramos vidas e

irradiamos conocimiento para forjar humanidad y sociedad”. En este sentido, la mediación, hasta el momento implementada únicamente en la comunidad universitaria, ha permitido transformar el modelo educativo tradicional, hacia el desarrollo de competencias en estudiantes y docentes con sentido crítico y analítico sobre su entorno, entendiendo la relación simbiótica hombre-naturaleza, para promover la consolidación de habilidades para el siglo XXI y nuevas pedagogías centradas en el aprendizaje. Es importante resaltar que Al Campus Georuta, es una iniciativa en construcción, que requiere seguir mejorándose, por lo tanto, se hace de vital relevancia, llevar a cabo el estudio de públicos, para analizar su pertinencia y continuar en su adecuación y así lograr, en el futuro cercano, la conformación de una georuta turístico-educativa universitaria abierta al mundo, y quizás ser un referente para la creación de otras georutas universitarias a nivel de la región.

6. CONCLUSIONES

Al Campus Georuta es una apuesta pedagógica diferencial, que busca no solamente llegar a públicos académicos, sino también a la sociedad en general que frecuentan el campus universitario (niños, familias, visitantes extranjeros), con la intención de revelar una nueva mirada sobre la geodiversidad y el patrimonio geológico de Colombia y la región.

A partir de la experimentación ex situ, que usa material proveniente de la naturaleza, y que le dan un valor agregado a los edificios, parques y lugares de la universidad, mediante una mediación didáctica, interactiva y adaptable, en la que los pisos, paredes, bloques de rocas, nos cuentan la historia geológica de Colombia desde hace aproximadamente 1400 Ma, la conformación de Pangea, las invasiones marinas, la formación del Valle de Aburrá y la ocupación de nuestro territorio desde hace más de 10.000 AP hasta el presente. La creación de Al Campus Georuta, da visibilidad a las Ciencias de la Tierra y su papel en la sociedad, en cumplimiento al reto de desarrollo humano y sostenible dentro del itinerario 2030 de la Universidad EAFIT.

7. BIBLIOGRAFÍA

Armstrong, P. (2010). Bloom's Taxonomy. Vanderbilt University Center for Teaching. Retrieved [today's date] from <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>.
Albright, H. M. (1983). Research in the National Parks. The George Wright Forum, Autumn, 39-47.

Aristizábal, E., Rosser, B., Yokota, S. (2005). Tropical chemical weathering of hillslope deposits and bedrock source in the Aburra Valley, northern Colombian Andes. *Engineering Geology* 81 (2005) 389-406

Bellizzia (1976). Mapa Geológico Estructural de Venezuela. ESC. 1:500.000. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología. Venezuela.

Bonilla-Pérez, Amed, Frantz, José Carlos, Charão-Marques, Juliana, Cramer, Thomas, Franco-Victoria, José A., Mulocher, Elise, & Amaya-Perea, Zeze. (2013). PETROGRAFÍA, GEOQUÍMICA Y GEOCRONOLOGÍA DEL GRANITO DE PARGUAZA EN COLOMBIA. *Boletín de Geología*, 35(2), 83-104.
Carcavilla Urquí, L., Ruiz, R., & Rodríguez, E. (2008). Guía geológica del parque Natural del Alto Tajo. https://www.researchgate.net/publication/259011497_Guia_Geologica_del_Parque_Natural_del_Alto_Tajo

Carter, J. (2001). A sense of place: An interpretive planning handbook. Scottish Interpretation Network.

De Porta (1963). Observaciones sobre las calizas de Toluviejo. Informe 1408. *Boletín Geológico*. Vol XI, pp. 119-132.

Du, Y., & Girault, Y. (2019). Pratiques géotouristiques et interprétation de la nature dans les géoparcs chinois: Entre tensions et hybridation des cultures1. *Éducation relative à l'environnement*, Volume 15-1. <https://doi.org/10.4000/ere.3393>

Durand, H. (2015). Interpretation du patrimoine et développement territorial. En quoi l'interprétation du patrimoine est-elle un outil de développement territorial? Sous la direction de Philippe Bourdeau et Pascal Mao [Mémoire de M2 Innovation et Territoire, parcours Tourisme, Université Joseph Fourier, Grenoble Institut de Géographie Alpine]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01275564/document>

Global Geoparks Network, European Geoparks Network, & Arouca Geopark. (2011). Déclaration d'Arouca.

Gonzalez Tejada, C., Du, Y., Read, M., & Girault, Y. (2017). From nature conservation to geotourism development: Examining ambivalent attitudes towards UNESCO directives with the Global Geopark Network. *International Journal of Geoheritage*, Darswin Publishing House, 5(2), 1-20. <https://doi.org/10.17149/ijg.J.Issn>

Gonzalez, C.F., & Pinto, H. (1990). Petrografía del granito de Parguaza y otras rocas Precámbricas en el Oriente de Colombia. *Geología Colombiana* 17, pp. 107-121. Bogotá.
Henriques, M., & Brilha, J. (2017). UNESCO Global Geoparks: A strategy towards global understanding and sustainability. *Episodes*, 40(4), 346-355. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2017/v40i4/017036>

Hose, T. A. (2006). Geotourism and interpretation. En *Geotourism* (pp. 221-241). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6215-4.50020-8>

Johnson, R. (2009). A Passion for Nature: The Life of John Muir; (review). *American Studies*, 50(3-4), 159-160. <https://doi.org/10.1353/ams.2009.0018>

La Société géologique de France (Ed.). (1994). Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique. Digne-les-Bains, 11-16 juin 1991. La Société géologique de France.

Marleau, M. È. (2010). Les processus de prise de conscience et d'action environnementales: le cas d'un groupe d'enseignants en formation en éducation relative à l'environnement (Doctoral dissertation, Université du Québec à Montréal).

Mills, E. A. (1920). *The Adventures of a Nature Guide*. Doubleday, Page & Company.

Palacio Prieto, J. L., Fernandez de Castro Martínez, G., & Rosado González, E. M. (2019). Geosenderos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México. Cuadernos Geográficos, 58(2), 111-125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055>

Philippon, D. J. (2005). Conserving words: How American nature writers shaped the environmental movement. University of Georgia Press.
<https://books.google.fr/books?id=EMB7Sr0UGxUC&printsec=copyrigh&hl=fr#v=onepage&q&f=false>

Rendón, D.A. (2003). Tectonic and sedimentary evolution of the upper Aburrá Valley, northern Colombian Andes, Unpublished MS thesis, Shimane University, 135 pp.

Restrepo-Moreno, R.S., Foster, D., Stockli, D., Parra-Sánchez, L.N. (2009). Long-term erosion and exhumation of the "Altiplano Antioqueño", Northern Andes (Colombia) from apatite (U-Th)/He thermochronology, Earth and Planetary Science Letters, Volume 278, Issues 1-2.

Secretaría de Cultura Ciudadana (2015). Los Aburráes: Tras los rastros de nuestros ancestros. Una aproximación desde la arqueología. Colección Memoria y Patrimonio. Impreso por Maquillas S.A.

Tavera Escobar, M. A., Estrada Sierra, N., Errázuriz Henao, C., & Hermelin, M. (2017). Georutas o itinerarios geológicos: Un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 26(2), 219-240. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n2.59277>

Tilden, F. (1957). Interpreting our heritage (3d ed). University of North Carolina Press.
Unesco Global Geoparks. (2015). Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme.
http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/IGGP_EN_Statutes_and_Guidelines.pdf

Van Dyke, F. (2008). Conservation biology: Foundations, concepts, applications (2nd ed). Springer.

Van Geert, F. (2019). In situ interpretation and ex situ museum display of geology. New opportunities for a geoheritage based dialogue? International Journal of Geoheritage and Parks, 7(3), 129-144.
<https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.05.001>

Viel, A. (2008). Quand souffle l'«esprit des lieux». Recuperado de <https://diagnosiscultural.com/wp-content/uploads/2020/05/annet-e-viel-lesperit-del-lloc.pdf>

Vinasco, C.J., Cordani, U.G., González, H., Weber, M., Pelaez, C. (2006). Geochronological, isotopic, and geochemical data from Permo-Triassic granitic gneisses and granitoids of the Colombian Central Andes, Journal of South American Earth Sciences, Volume 21, Issue 4.

Volvort, A. (1962). Rapakivi-type granites in the Precambrian Complex of Gold Butte, Clark, Country Nevada. Geol. Soc. Am. Voll. 73, pp 813-832.

CAPÍTULO 9

DE LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA A LA CONSTRUCCIÓN GEOPATRIMONIAL, UNA APROXIMACIÓN PARTICIPATIVA EN LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL ORIENTE ANTIOQUEÑO

María Isabel Marín-Cerón¹, Catalina González-Tejada¹, Mateo Arboleda¹, Aida Aristizábal-Giraldo², Francisco Restrepo², Miguel Tavera-Escobar¹

¹Departamento de Ciencias de la Tierra, Grupo de Investigación en Geología Ambiental y Tectónica, Área de territorios y ciudades, Universidad EAFIT, ²Sanawa-San Rafael

Esas georutas fueron diseñadas, con el fin de sobrepasar los límites académicos y de la empresa, para volverse herramientas de construcción del conocimiento geocientífico, apropiación y entendimiento del entorno. De este modo, aportar a la geoconservación y la consolidación de programas de geoturismo en los diferentes territorios de influencia de ISAGEN en el país. Convencidos que las Ciencias de la Tierra pueden aportar y apoyar a los retos de Colombia en la etapa del post-acuerdo, este trabajo permitió la conformación del start-up Geografía de la Guerra al interior de la Maestría en Ciencias de la Tierra liderado por el Geólogo Miguel Tavera (Q.E.P.D).

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es basado en un proyecto de colaboración, que tuvo lugar en los años 2016 - 2018, entre ISAGEN y la Universidad EAFIT, para aunar esfuerzos en la conformación de un proceso de intercambio de conocimientos en relación con la Educación Ambiental, las aproximaciones participativas y los principios básicos de las Ciencias de la Tierra, en primera instancia con los trabajadores y contratistas pertenecientes a las centrales hidroeléctricas generadoras de energía: San Carlos Jaguas, Calderas, Amoyá, Miel I, Termocentro y Sogamoso, y en segunda instancia con la comunidad académica de básica primaria de la vereda los Medios, municipio de Granada.

Un proyecto innovador, ya que pocos esfuerzos se han realizado para fortalecer desde las universidades, la construcción del conocimiento científico a una escala multinivel (ciencia-industria-sociedad). En el caso específico de las Ciencias de la Tierra, existe además un vacío de conocimiento en todos los niveles socioculturales, lo cual hace que tanto ciudadanos del común, como técnicos de empresas, no estén familiarizados con los principios básicos que fundamentan la construcción de los paisajes. En el caso específico de las centrales hidroeléctricas, que dependen directamente de los recursos de la Tierra y participan en modificar los paisajes dentro de los cuales trabajan, se convierte en un diálogo de saberes de gran utilidad para identificar la existencia de lugares de interés geológico y/o geomorfológico (LIG), que a su vez, permiten articular los saberes científicos (universitarios) y los saberes prácticos – técnicos de los empleados de las hidroeléctricas en la conformación de georutas del conocimiento del paisaje antioqueño.

2. UN DIÁLOGO DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA CON LA MUSEOLOGÍA PARTICIPATIVA

La geología, como fundamento de las Ciencias de la Tierra, es un campo de estudio que se desarrolló en el siglo XIX para comprender la estructura de la Tierra. El contexto de la industrialización favoreció el desarrollo de una relación antinómica con la parte abiótica de la Naturaleza. Por un lado, se puede identificar una concepción utilitarista (López-Ocón Cabrera in Rábano, 2015, p. vii), en cuanto a la utilización de suelos y explotación de los recursos naturales con objetivos económicos y por el otro lado la concepción naturalista que permitía la interpretación y comprensión de los paisajes y la búsqueda de la protección de la naturaleza (Muir, 2018; Wolfe, 2003; Brinkley, 2009; Langford, 1905). Esta última concepción sirvió a la creación de los primeros Parques Nacionales en el mundo, “el Yosemite, paraíso de belleza, es también un paraíso para geólogos” (Albright, 1983, p. 39), e invitaba al contacto directo (in-situ) con la Naturaleza para vivir una experiencia en el “wilderness” (Johnson, 2009; Philippon, 2005; Wolfe, 2003), o para el aprendizaje, como escuela al aire libre (Mills, 1920). Sin embargo, desde mediados del siglo XX, aproximadamente, se manifiesta un “excesivo sesgo biologicista [...] en muchas de las iniciativas para la conservación de la naturaleza” (Casado, 2014, p. 19), y aunque este autor habla del caso español, es una situación generalizada dentro de la gobernanza mundial (Gray, 2008; Badman et al., 2005).

En 1991 se hace el primer simposio internacional sobre el patrimonio geológico en Francia, dando como resultado la primera definición del patrimonio geológico¹ y el llamado a la gobernanza mundial y de cada uno de los países a reconocer este patrimonio (La Société géologique de France, 1994). En el caso específico de Colombia Jaramillo Zapata et al. (2016, pp. 122-125) señalan que en los años 80 emergen las primeras iniciativas en el tema, con un mayor auge a partir del año 2002. Sin embargo, la definición oficial del patrimonio geológico en el país aparece con el Decreto 1353 de 2018²:

Conjunto de lugares geológicos que poseen valores propios de naturaleza patrimonial con características científicas, culturales y/o educativas, y que permiten conocer, estudiar e interpretar: el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, el origen y evolución de la vida. Se trata de una definición dentro de la cual el carácter educativo **“conocer, estudiar, interpretar”** juega un rol principal, que se fundamenta en la ausencia casi generalizada de los conocimientos de la geología y las Ciencias de la Tierra en la sociedad, donde la esperanza es que el contexto actual del mundo en búsqueda **“del respeto y la atención del planeta como un todo va a garantizar el espacio para la diseminación del conocimiento de las Ciencias de la Tierra a toda la población”** (Mansur & da Silva, 2011, pp. 27-28). En este sentido, se hace necesario dialogar con otros campos de estudio que puedan contribuir a la comunicación de las Geociencias o Ciencias de la Tierra.

La museología, de acuerdo con Desvallées y Mairesse (2010, pp. 57-60) tiene cuatro acepciones específicas y una transversal, dentro de las cuales la Nueva Museología es una de ellas. Esta acentúa el rol social y el carácter interdisciplinario del museo, entendido desde un sentido amplio, renovando las formas de comunicación e irrumpiendo con los modelos preexistentes de museo. Nos interesamos principalmente a los aportes de los ecomuseos, o **“museología del territorio”** (De Varine, 2017, p. 194), como uno de los máximos exponentes de la Nueva Museología, teniendo en cuenta sus tres pilares fundamentales: territorio, patrimonio y comunidades, bajo un concepto que invita a los científicos a ponerse al servicio de las comunidades para que estas sean quienes identifiquen los elementos patrimoniales y construyan la narrativa territorial (De Varine, 2003, pp. 1-3, 2017, pp. 194-196; De Varine-Bohan, 1973, p. 246). Se trata entonces de una aproximación de la museología participativa en la que las comunidades se vuelven actores de la construcción patrimonial y del conocimiento científico, a partir de una “simbiosis” con los científicos o expertos (De Varine-Bohan, 1973, p. 246), quienes a partir de un proyecto pedagógico de mediación científica impulsan la reapropiación del territorio a partir del “conocerse mejor” (Mayrand & Mairesse, 2000, p. 226).

¹A través de la Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra estructurada en 10 artículos en la versión en francés: <https://www.ermina.fr/commun/pdf/MemoireTerre.pdf>, y que se reduce a 9 artículos en la versión en inglés: http://www.progeo.ngo/downloads/DIGNE_DECLARATION.pdf y en español: <https://www.igmees.patrimonio/links/declaracionDignehtm> consultadas el 2 de septiembre del 2020.

La mediación en el campo de la museología significa **“una estrategia de comunicación de carácter educativo”** (Desvallées & Mairesse, 2010, p. 47), que como indican estos autores concierne principalmente la interpretación, entendida como una “revelación” (Tilden 1957, p.19), de las colecciones expuestas, o elementos Geopatrimoniales, dentro de los territorios de las hidroeléctricas en nuestro caso, para comprender mejor las dimensiones relacionadas con estos elementos y participar a su apropiación por parte de los actores en juego (empleados, contratistas y comunidades). Esto llevado a la participación, se aproxima al paradigma educativo liberador y problematizador defendido por Freire (1970, 2012), en el que educadores y educandos están en un dialogo constante hacia la construcción del conocimiento. Este paradigma se opone a la concepción **“bancaria de la educación en la que saber, el conocimiento, es una donación de aquellos que se juzgan sabios a los que juzgan ignorantes”** (Freire, 2012, p. 62), y se asimila al “modelo deficitario” de John Miller (1983), comúnmente movilizado en vínculo con el geoturismo, desde su acepción geológica (Gonzalez Tejada et al., 2017, p. 9).

El geoturismo puede en efecto tomar significaciones diferentes según el sentido que se de al prefijo “Geo = geografía, Geo= geología, Geo= Madre Tierra” (Gonzalez Tejada et al., 2017, p. 12) y sus finalidades pueden variar entre los intereses puramente educativos, de conservación y de desarrollo. Mediante este proyecto de colaboración lo que se pretendía era establecer un intercambio de conocimiento, principalmente geológico, para “revelar” una nueva visión del territorio y servir de base para emprender proyectos geoturísticos, desde las comunidades, acompañándolos en un proceso de sensibilización, selección y justificación (Geo) patrimonial, que, en el marco de la museología, hace referencia al estado patrimonial de creación de un ecomuseo (Mayrand, 2004, p. 138). En el presente trabajo, se tomará como caso de estudio el paisaje granítico del Oriente Antioqueño (Unidad Geológica Batolito Antioqueño), en el cual se encuentran albergadas cinco centrales hidroeléctricas (Guatapé, Playas, Jaguas, Calderas y San Carlos) con una capacidad total de 2.397 Megavatios (MW), aportando el 29% del recurso para el país y el 73% del total para Antioquia.

3. METODOLOGÍA

A partir de la propuesta de incorporar en los procesos de educación ambiental el conocimiento de los principios básicos de las Ciencias de la Tierra, en las actividades de las semanas ambientales de ISAGEN en los años 2016-2018, se desarrolló un proyecto con enfoque participativo, en primera instancia entre científicos/universitarios y empleados de ISAGEN, mediante el desarrollo de talleres teórico-prácticos intercambiando conocimientos de la Tierra y sus procesos, en las centrales hidroeléctricas San Carlos, Jaguas, Calderas, Miel I, Amoyá y Termocentro. Posteriormente se generaron 4 libros de georutas que fueron socializados y validados en las centrales, para terminar con un proyecto piloto a nivel de básica primaria y secundaria en la escuela de la vereda los Medios del municipio de Granada (Antioquia). La conformación de las georutas, ha servido a su vez como un proceso de mediación a partir del podcast Geografía de la Guerra en sus episodios: Guadualito Orgánico I y II, impulsando procesos sanadores de desarrollo y sostenibilidad en paz, dando pie a nuevos emprendimientos como EcoSanawa, donde la componente de bio-geodiversidad en conjunción con el bienestar humano se convierten en una nueva alternativas de destino bio-geo-humano turístico.

4. RESULTADOS

4.1. Talleres centrales hidroeléctricas y georutas participativas

Las temáticas comprendieron talleres distribuidos en tres módulos: Geodiversidad y Patrimonio geológico, ciclo de las rocas, en las instalaciones de las centrales hidroeléctricas San Carlos, Jaguas, Calderas, Miel I y Amoyá durante las Semanas Ambientales de ISAGEN años 2016-2017. Los talleres fueron diseñados para un total de 20-25 personas, asociados al personal de las centrales y contratistas.

²<https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/decreto-1353-2018/Documents/DECRETO-1353-DEL-31-DE-JULIO-DE-2018.pdf> consultada el 2 de septiembre del 2020.

4.1.1. Módulo I. Geodiversidad y Patrimonio Geológico:

En este módulo, se hizo énfasis en el concepto de geodiversidad, como eje principal en la conceptualización del término de patrimonio geológico. Adicionalmente, se trabajó en la identificación de Lugares de interés geológico y/o geomorfológico (LIG), para generar una versión inicial de la georuta en el área de influencia directa de las centrales hidroeléctricas del Oriente antioqueño. Para la recolección de la información se hizo uso del concepto de cartografía social, en el cual mediante un proceso de co-creación se listaron los LIG potenciales. Si hizo especial énfasis, en el diálogo de saberes comunitarios sobre aquellos lugares de singular atractivo turístico por sus características escénicas (geomorfología), tipos de rocas y procesos (geología), para determinar lugares atractivos por su singularidad geológica en la zona. (ej.: cascadas, cuevas, peñoles, entre otros).

4.1.2. Módulo II. Ciclo de las rocas

Este módulo comprendió la explicación de forma dinámica sobre los diferentes tipos de roca (p.e. ígneas, metamórficas y sedimentarias), el ciclo general de las rocas, y los procesos formadores (endógenos y exógenos), que finalmente modelan la superficie de nuestra tierra.

4.1.3. Modulo III. Taller práctico:

Este módulo final, consistió en un taller práctico, dentro del cual cada uno de los asistentes puso en práctica los conocimientos adquiridos en los módulos previos, en relación con la identificación de rocas en muestra de mano, lectura de mapas, localización mediante brújula y GPS.

Finalizado el taller se retomó lo visto en el primer módulo acerca de geodiversidad y patrimonio geológica, con el fin de discutir nuevamente los LIG propuestos en el área de influencia, para la conformación preliminar de la georuta, incluyendo el mapa de localización y forma de acceso, explicación de procesos, geoformas y/o tipos de rocas y vocabulario clave (Ver figura 1).



Figura 1. Taller de usos de Implementos geológicos, reconocimiento de rocas, manejo de mapas y equipo de campo e Inventario participativo de LIG. (1. Guatape- Piedra el Peñol, 2. Cerro Pan de Azúcar, 3. Vereda el Bizcocho, San Rafael; 4. Charcos la Cazuela, 5. Escondido, 6. Vereda el Bizcocho, San Rafael. 7. Organales, Puente Tierra, Vereda Los Centros, cercanías al pueblo. 8. Marmitas San Rafael, vereda la aguada. 9. Cascadas rio la viejita, San Carlos, 10. Piedra del tabor, San Carlos, 11. Cascada los anillos – El Chispero, San Carlos).

4.2. E-book de georutas

Luego de los talleres realizados en el 2016, se procedió a la verificación en campo de cada uno de los lugares sugeridos por la comunidad. Se hizo el proceso de georreferenciación, mapeo, descripción y documentación, con el fin de compilar los datos en un e-book interactivo consultable en cualquier dispositivo móvil. La campaña de campo alrededor de cada central se hizo en compañía de líderes comunitarios, que de igual forma compartieron su saber ancestral sobre los sitios visitados. La versión final de cada libro se socializó en las semanas ambientales del año 2017, con el fin de hacer entrega de los libros, el acompañamiento en el uso de la herramienta digital y la entrega de infográficos para cada uno de los sitios priorizados en el sector del Oriente Antioqueño. Las carátulas de los e-book generados se presentan en la figura 2, la forma de navegación en los e-books se resumen en la figura 3 y en la figura 4 se presentan los infográficos explicativos de los LIG dentro de las georutas planteadas.



Figura 2. Carátulas de los e-books producidos centrales Jaguas, Calderas, San Carlos, Amoyá, Miel I.



Figura 3. Infográficos explicativos para el manejo de los e-books producidos, infográfico elaborado por EXA-EAFIT.



Figura 4. Infográficos explicativos de los LIG en el área de influencia de las Centrales Jaguas, Calderas, San Carlos.

4.3 Talleres Escuela vereda los Medios

Para la etapa de trabajo con la comunidad educativa en la vereda los Medios (Granada), se firmó un convenio nuevo (No. 47/856) entre ISAGEN y EAFIT. Durante esta etapa se hizo un acompañamiento (2018), a partir de la realización de diez talleres mensuales, con los estudiantes de la institución educativa Jorge Alberto Gómez Gómez - Sede Rural Jesús María Arias. Mediante los talleres y las salidas experienciales realizadas, se logró vincular a 22 estudiantes, integrantes de la institución educativa de los grados 4to, 5to de primaria, con un promedio de edad de 10 años. Los talleres incluyeron charlas y talleres desde el universo hasta la formación geológica y geomorfológica de su territorio, el manejo de la brújula, la ubicación cardinal y en mapas topográficos. Todo esto con el fin de reconocer las particularidades del territorio y plantear escenarios donde todos podrían aportar una solución frente a diversas situaciones socio-ambientales, como lo son los eventos naturales (p.e. deslizamientos, avenidas torrenciales, inundaciones) y también amenazas de origen antrópico (p.e. incendios). (Figura 5).

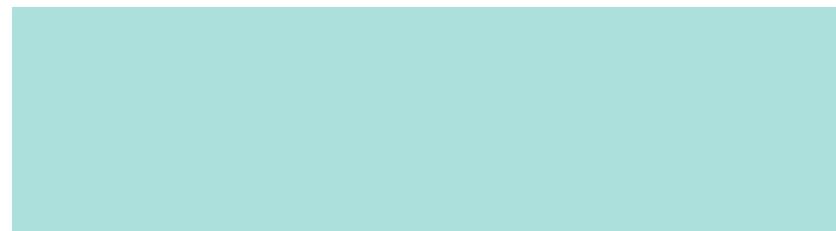




Figura 5. Talleres con la comunidad educativa de la vereda los Medios (Granada).

Durante este proceso se utilizó el e-book de la georuta de las centrales hidroeléctricas San Carlos- Jaguas-Calderas, con el fin de incentivar en los niños el manejo de la plataforma, y la identificación de los LIG en el territorio adyacente a su vereda; mediante este proceso de socialización, los niños lograron apropiarse del conocimiento que dio origen a la conformación de cada uno de estos lugares de la figura 4, trabajo que fue complementado con una actividad de campo. Mediante esta experiencia, se logró comprobar el poder de recordación de los niños, la identificación del tipo de rocas predominante en la región (granito asociado al Batolito Antioqueño), los procesos formadores del paisaje y finalmente la conformación de la hidroeléctrica de Calderas. Como ejercicio de cierre, los estudiantes generaron un cartel participativo donde lograron no solo plasmar sus ideas sobre el proceso de formación del paisaje, sino también el mapeo social, como una herramienta para la identificación de sitios críticos ambientales e identificación de amenazas de origen natural y antrópico (Figura 6 y 7).



Figura 6. Cartelera de divulgación del proceso, proyecto ISAGEN-EAFIT (2017).



Figura 7. Cartilla ambiental interactiva: Descubre e investiga tu territorio.

4.4 Programa piloto en la Vereda Arenal San Rafael

A partir de los procesos anteriormente mencionados se gestionó con la Fundación Ecosanawa, teniendo en cuenta los intereses de la sociedad civil en la vereda El Arenal del municipio de San Rafael, un programa piloto de geoconservación y geoturismo denominado EcoSanawa, en el cual la componente biótica-geológica y humana, se convierte en un ecosistema colaborativo (Eco-rutas, Grupos terapéuticos, reflexología, temascal, caños terapéuticos con plantas, alojamiento rural, entre otros). EcoSanawa significa lugar “sagrado”, rodeado de vegetación nativa, atravesado por el río Arenal de aguas cristalinas y mágicas, que está asociado a un paisaje granítico colinado y con valles profundos, en muchos casos labrando profundos pozos y charcos en roca. Los nativos del lugar afirman: “el poder sanador que tiene el agua, asegurando que sus minerales hacen que cada célula de nuestro cuerpo se conecte con el todo”.

Como se anotó anteriormente, el paisaje granítico dominante en el área de influencia de las centrales hidroeléctricas de ISAGEN y de EPM se convierte en un lugar de gran atractivo turístico, no solo por la disponibilidad de ríos cristalinos que llaman al disfrute de las familias antioqueñas, sino porque también, esta zona anteriormente muy afectada por el conflicto armado, es un refugio de paz y bio-geodiversidad, donde el curso de los ríos por macizos rocosos genera remansos que hoy en día son balnearios (p.e. Jamaica y el Trocadero), ampliamente reconocidos por los antioqueños. Tal es el caso del río Arenal, en el cual el sistema de cascadas, charcos, pozos y playas, están directamente relacionados con la acción del río sobre esta particular litología granítica formada hace 65-95 millones de años, cuyo ascenso a la superficie se dio entre pulsos tectónicos hace 49 y 25 M.a. (Restrepo-Moreno, et al, 2009 y referencias allí citadas).

A lo largo de la historia de esta región, se ha entendido este lugar como el regalo de un ángel que quería que en este armonioso sitio se compartiera en familia y se curara el Alma. El proyecto EcoSanawa nace a partir de una historia familiar y del interés profesional sobre lo psicosocial, ecológico y biogeodiverso, teniendo en todo momento a la familia como apoyo y acompañamiento, y a los amigos como motivadores y gestores de este proyecto psicosocial y espiritual. Inicialmente, dicho proyecto fue nombrado como SANAWA (“agua que sana”), sin embargo, de acuerdo con los ideales que se tenían, se decide agregar ECO al inicio del nombre, comprendiendo así la denominación del proyecto en una integralidad que se fundamenta y apunta a la sanación psico-emocional y ambiental (Figura 8).



Figura 8. Vista aérea y de detalle de Ecosanawa y el río El Arenal.

El proyecto EcoSanawa ha permitido el origen de dos propuestas de trabajo que giran en torno al cumplimiento de las motivaciones iniciales del proyecto. La primera de ellas hace referencia a la Fundación EcoSanawa, la cual engloba toda la temática de salud física, psicosocial (salud mental) y espiritual. Y finalmente, la segunda propuesta está relacionada con lo ambiental, lo ecológico y la biogeodiversidad, como estrategia de turismo responsable y del cuidado del medio ambiente, donde se promueve el uso del material generado en las etapas anteriores para dar a conocer los conocimientos básicos del territorio en el área de influencia directa de las centrales hidroeléctricas mencionadas.

4.5. Geografía de la Guerra Vereda Guadualito, San Rafael

Adicionalmente, durante la etapa del convenio ISAGEN-EAFIT, se gestó de forma paralela el start up Geografía de la Guerra, que nació durante los estudios de maestría de Miguel Tavera-Escobar (2018), acompañado por el centro de Innovación de la Universidad EAFIT; Posteriormente, con el apoyo de Alejandra Lopera y la emisora web Acústica de la Universidad EAFIT (Medellín, Colombia) se puso en marcha el Podcast Geografía de la Guerra, con el objetivo de narrar historias sobre las razones objetivas que motivaron el conflicto desde la geografía de Colombia, y las presiones u oportunidades humanas sobre la naturaleza en el territorio. Como manifiesto de la Geografía de la Guerra, el autor empieza su relato del podcast con la siguiente frase: ***“No quiero ser simplemente un proyecto de construcción colectiva, quiero narrar historias como acto de resistencia y como herramienta de educación testimonial”.***

En esta ocasión, se hará referencia a Guadualito orgánico I y II, Una historia de transformación social a la que se somete una joven del municipio de San Rafael, Antioquia, luego de que la violencia le cambiara la vida para siempre. Miguel regía su proyecto en una pregunta básica sobre ¿Cómo se relaciona la naturaleza con los procesos de reparación y reconstrucción social? En especial, el relato contado desde la vereda Guadualito, busca mostrar como la naturaleza puede crear tejido social y oportunidades en la etapa post-acuerdos. A continuación, presentamos una transcripción del homenaje a Miguel Tavera en relación con su muerte, realizado por Albiryan Henao Pineda (una joven involucrada con proyectos de base comunitaria en agricultura orgánica), en relación con el podcast³ Guadualito Orgánico I y II.

“Por esas casualidades bonitas que a veces trae la vida, ella trabajaba en un proyecto de agricultura orgánica con comunidades campesinas del nordeste antioqueño, y a uno de esos encuentros llegó el, con sus conocimientos de geomorfología del paisaje, conservación natural y equilibrio del planeta tierra, allí estaba enseñándonos la esencia de la vida de la evolución que ha tenido la tierra a través de los años y lo simple que somos la especie humana en comparación con todo el universo que nos rodea [...] En varias ocasiones de mi vida sentía que debía volver a Guadualito una vereda de San Rafael, mi pueblo y donde

hace catorce años, todo cambió. Pensar en regresar a ese lugar me generaba miedo, pero sabía que debía volver; porque para quienes perdimos nuestros seres queridos en el conflicto, se hace necesario buscar la verdad. En una ocasión le conté a Miguel sobre mi vida y lo que quería hacer, fue en ese momento que conocí su proyecto: Geografía de la Guerra. Él (Miguel) le dio voz a mi relato y vida a Guadualito Orgánico, una bella historia narrada desde el paisaje, las comunidades del río, la familia, la naturaleza y el conflicto armado. Grabar Guadualito orgánico, fue la excusa para volver a aquel lugar que recorrí hace mas de una década en búsqueda de ellos, Miguel fue quien me animó a hacerlos, sinceramente las cinco personas que fuimos la mañana de ese domingo, sentíamos angustia, miedo, zozobra, pero al llegar a Guadualito, nos encontramos con un lugar hermoso, rodeado de paisaje, de agua, de flora y de fauna. La noche de ese domingo, cuanto regresamos a casa, sentí un fresquito, el temor había desaparecido, ahora Guadualito en mi mente, se ha convertido en un lindo recuerdo, porque ese día hice lo que quería, buscar una parte de mi verdad. Miguel, hizo posible que después de 14 años, regresara al lugar donde todo sucedió, siempre estaré agradecida con él (Miguel), porque a través de Geografía de la Guerra, mi historia llegó a ustedes, y a muchas personas que no conocieron de cerca el dolor que deja el conflicto”.

5. DISCUSIÓN

Partiendo del interés de aportar el conocimiento de las Ciencias de la Tierra a públicos que están constantemente en contacto con esos elementos abióticos, surge la idea de crear una georuta mediante un proceso de diálogo de saberes. El concepto de georuta puede tomar sentidos diferentes, según las metodologías de identificación y cuantificación de los sitios, íntimamente relacionadas con los objetivos de geoturismo, que pueden variar según el proyecto o de un autor al otro (Gonzalez Tejada et al., 2017; Herrera-Franco et al., 2020). De acuerdo con las diferentes fuentes que podemos encontrar en internet el sentido más frecuente es el de rutas geológicas, o itinerarios geológicos, concentrándose casi exclusivamente en los aspectos geológicos con objetivos pedagógicos. Lo cual es coherente con la referencia que los geólogos tienen por excelencia del geoturismo Thomas A. Hose (1995), promovida igualmente por la UNESCO (Hose et al. 2011), aunque no muy lejos de esta llamada primera definición del geoturismo, en 1998 Marie-Louise Frey establece una definición que vincula los intereses pedagógicos con los intereses económicos-turísticos, como “un nuevo sector profesional y

³<https://www.listennotes.com/es/podcasts/geograf%C3%ADa-de-la-guerra-geografiadelaguerra-CTRGVQI5v83/>.

commercial" (citado por Frey et al. 2006, p. 97). En otros casos las georutas toman un sentido geocultural, que permite establecer una historia coherente del territorio articulando los aspectos científicos geológicos y su importancia para las comunidades, como es el caso de los "geosenderos" del Geoparque Mundial de la UNESCO Mixteca alta (Palacio Prieto et al, 2019), o articular el patrimonio geológico y cultural, como una alianza "beneficiosa" para ambos patrimonios (Scarlett & Riede, 2019), respondiendo en general a los mismos objetivos pedagógicos y económicos-turísticos, aunque en algunos casos los objetivos turísticos se vuelvan más preponderantes, poniendo en riesgo el patrimonio geológico (Van Geert, 2019, p. 25).

En nuestro caso las georutas son el resultado de una hibridación entre la "ruta geológica" y "la ruta geocultural", ya que la identificación y valoración de los sitios, se realiza mediante un dialogo multi-nivel (universidad, empresa, comunidad) siguiendo una dinámica de cartografía participativa, la cual permite interconectar los sitios de relevancia para los diferentes actores a través de un común denominador: el recurso hídrico. Buscando encontrar esos "geosimbolos" que tienen **"una dimensión simbólica y cultural, o están enraizados a sus valores y confortan su identidad"** (Bonnemaison, 1981, p. 249), no se trata entonces de una declaración a priori de los científicos para construir las georutas, sino de un dialogo que tienen en cuenta esas relaciones de los actores con los elementos geológicos. Sin embargo, la justificación patrimonial, esas características puestas en valor, que determinan el valor patrimonial de los sitios seleccionados, se limitó finalmente a la información geocientífica. En este sentido, el contenido interpretativo de las georutas de ISAGEN, toma un sentido explicativo: **"interpretar es el arte de explicar el significado de los lugares de importancia natural o histórica a las personas que lo visitan [...] es la manera más potente y efectiva de crear conciencia y apoyo para la conservación de las ciencias de la Tierra"** (Badman, 1994 citado por Hose, 2006, p. 224), que se aproximaría más a la "ruta geológica".

Aunque este trabajo muestra un cambio en el paradigma de la comunicación de las Ciencias de la Tierra, principalmente en los procesos de identificación de los sitios, la sensibilización y el reconocimiento del vínculo entre la historia y usos del territorio con la historia de la Tierra, queda pendiente el dialogo de saberes en la puesta en valor del geopatrimonio a través de las Georutas. Esa mirada global e interdisciplinaria prescrita dentro de la ecomuseología: **"el ecomuseo, un nuevo tipo de museo, es, por excelencia interdisciplinario: combinando un museo del tiempo, a partir de las**

eras geológicas hasta al futuro, a los elementos diseminados y coordinados de un museo del espacio" (Rivière 1989, 65), o a la coconstrucción de la narrativa dentro de la museología participativa en la que las comunidades y demás actores hacen parte también de la concepción del contenido, como **"expertos del patrimonio"** (De Varine 2003, 3). Cabe preguntarse si ¿en nombre de esa ausencia casi generalizada de los conocimientos de la geología y las Ciencias de la Tierra en la sociedad, no existe cavidad para otros saberes locales, disciplinarios, etc.?

Las Georutas de ISAGEN, son finalmente un soporte para sentar unas bases del conocimiento geocientífico que buscan servir de herramientas para los actores del territorio, a través de un nuevo entendimiento de su paisaje, como hilo conductor que une la cotidianidad tanto de los empleados y contratistas de ISAGEN, como el de las comunidades que habitan los territorios de las hidroeléctricas. Más que el resultado, uno de sus grandes aportes está en el proceso de creación de las mismas, al haber logrado establecer un diálogo entre actores que han estado actuando por mucho tiempo separados.

Consideramos que estas herramientas pueden convertirse en un soporte importante dentro de una estrategia de mediación científica a largo plazo de ISAGEN, no solamente en la semana del medio ambiente dentro de la cual se enmarcó esta experiencia, sino también como base de transmisión del conocimiento en los territorios, para profesores, museos, centros de interpretación, o agentes del turismo en sus proyectos pedagógicos u ofertas mediáticas, como el piloto realizado para construir las cartillas divulgativas en la Vereda los Medios. Tal ha sido el caso del Museo Histórico de El Peñol, Antioquia, que dando continuidad a los avances de las Georutas de ISAGEN, y mediante un diálogo entre científicos, gestores del museo y comunidades se hace un trabajo de apropiación social y empoderamiento, que como se pretende mediante los ecomuseos, les permitirá decidir que hacer con ese patrimonio y cómo quieren mostrarse a través de este (De Varine, 2003, p. 2; De Varine, 2015, p. 36). Como diría Capel **"hoy, además de esa función de construir una visión del pasado, el patrimonio sirve también para construir el futuro. Qué se selecciona y cómo se protege, es esencial para un futuro u otro. Esas decisiones afectan hoy a la memoria colectiva, a la identidad, al desarrollo sostenible, a la protección de la naturaleza, a las prácticas sociales"** (Capel, 2014, p. 7). Es ese justamente el legado que deja el proyecto de Geografía de la Guerra, visibilizar historias que narran los relatos de la naturaleza y su relación con el conflicto social, hacia la reconstrucción del ser y su resiliencia

que impacta a las personas que los rodean. Ejemplos como la historia de Albiryan Henao Pineda, que finalmente se convierten en procesos incluyentes para la generación de iniciativas de la sociedad civil en proyectos como el liderado por la Fundación EcoSanawa, mediante ecosistemas colaborativos entre diversos integrantes de la sociedad civil que habitan en la zona.

Podríamos también hablar de que los Geoparques Mundiales de la UNESCO, son una figura que se ha popularizado en el uso del geopatrimonio como herramienta o estrategia para el desarrollo local sostenible. Un concepto que nace desde la relación entre el geopatrimonio y las necesidades de territorios con dificultades económicas, desempleo, envejecimiento de la población, que **“abrió nuevas oportunidades y entusiasmos por la geoconservación”** (Gray, 2008, p. 1). Una figura que potencializa un turismo que valoriza el recurso abiótico y le da un sentido diferente que el de la utilización extractiva, dando solución a situaciones de crisis ambientales, sociales u económicas (Gonzalez Tejada y Girault, 2019, pp. 44-46). Aunque son los geólogos quienes han sido los principales interesados y promotores de los Geoparques, cada vez esta figura se abre a otras perspectivas socioculturales, en las que los geólogos junto con las comunidades logran emprender proyectos territoriales articulando intereses científicos, educativos, ambientales y económicos.

6. CONCLUSIONES

Los problemas con los que nos encontramos frecuentemente en la comunicación de las Ciencias de la Tierra, es partir de la falta de interés de los diferentes públicos con la parte abiótica de la naturaleza, lo cual se relativiza cuando entendemos los vínculos que las personas crean con los paisajes, y estructuras o elementos geológicos, que se vuelven, en algunos casos, parte de su identidad. Esto nos invita a cambiar la perspectiva desde la cual pensamos el enfoque pedagógico, involucrando a los públicos, en este caso de actores del territorio, a ser parte activa de la construcción del conocimiento, y desde su comprensión, en simbiosis con los expertos/científicos, identifiquen y definan esos elementos que pueden ser Geopatrimonio.

Esta experiencia permitió establecer un nuevo diálogo entre la empresa, la universidad y los territorios, aportando un proceso innovador hacia nuevas perspectivas de construcción de paz en el país mediante el intercambio de saberes, en el que las Ciencias de la Tierra entran en línea de juego, siendo los elementos abióticos a la vez fuentes de conflictos entre actores y símbolos de apropiación del territorio.

La creación de unas primeras georutas, utilizando soportes digitales como aporte desde la universidad, se vuelven un recurso de base hacia nuevos entendimientos del territorio y emprendimientos en el diálogo empresa-comunidades. Se hace, sin embargo, necesario realizar estudios complementarios futuros sobre el real impacto que esta experiencia tuvo dentro de la empresa y en los territorios, en términos pedagógicos, simbólicos, sociales, culturales, ambientales y/o económicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Albright, H. M. (1983). Research in the National Parks. The George Wright Forum, Autumn, 39-47.

Badman, T., Dingwall, P., & Weighell, T. (2005). Geological world heritage: a global framework. A Contribution to the Global Theme Study of World Heritage Natural Sites (p. 52). Protected Area Programme, IUCN.

Bonnemaison, J. (1981). Voyage autour du territoire. L'Espace Géographique, 4, 249-262. <https://doi.org/10.3406/spgeo.1981.3673>

Brinkley, D. (2009). The wilderness warrior: Theodore Roosevelt and the crusade for America (1st ed). HarperCollins.

Capel, H. (2014). El patrimonio: La construcción del pasado y del futuro. Serbal.

Casado, S. (2014). La geología en los orígenes históricos del conservacionismo español. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 22(1), 19-24.

De Varine, H. (2003). Un témoignage sur les écomusées en Europe et dans le monde depuis vingt ans. Contributo all'Incontro nazionale degli Ecomusei, Biella, 4.

De Varine, H. (2015). Mes aventures à l'écomusée de la communauté urbaine Le Creusot-Montceau 1971-2014 (Huguès de Varine).

De Varine, H. (2017). L'écomusée singulier et pluriel: Un témoignage sur cinquante ans de muséologie communautaire dans le monde. L'Harmattan.

De Varine-Bohan, H. (1973). Un musée «éclaté»: Le Musée de l'homme et de l'industrie. Museum International (Edition Francaise), 25(4), 242-249.

Desvallées, A., & Mairesse, F. (2010). Concepts clés de muséologie (ICOM, Ed.). ICOM.

Freire, P. (1970). Pedagogía del oprimido (1 PLANTA). Siglo Veintiuno Ed; 371.48 FRE.

Freire, P. (2012). Pedagogía del oprimido. Siglo Veintiuno Ed.

Frey, M.-L., Schäfer, K., Büchel, G., & Patzak, M. (2006). Geoparks – a regional, European and global policy. En Geotourism (pp. 95-117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6215-4.50014-2>

Gonzalez Tejada, C., Du, Y., Read, M., & Girault, Y. (2017). From nature conservation to geotourism development: Examining ambivalent attitudes towards UNESCO directives with the Global Geopark Network. International Journal of Geoheritage, Darswin Publishing House, 5(2), 1-20. <https://doi.org/10.17149/ijg.J.Issn>

Gonzalez Tejada, C., & Girault, Y. (2019). Les ambivalences de la co-construction d'un territoire mental: Une étude de cas sur les UGG espagnols. En Les géoparcs mondiaux UNESCO. Une mise en tension entre développement des territoires et mise en valeur du patrimoine (pp. 45-75). ISTE Editions Ltd.

Gray, M. (2008). Geodiversity: The origin and evolution of a paradigm par Murray Gray. En C. V. Burek & C. D. Prosser (Eds.), The history of geoconservation (pp. 31-36). Geological Society.

Herrera-Franco, G., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Apolo-Masache, B., & Jaya-Montalvo, M. (2020). Research Trends in Geotourism: A Bibliometric Analysis Using the Scopus Database. Geosciences, 10(10), 379. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100379>

Hose, T. A. (1995). Selling the Story of Britain's Stone. Environmental Interpretation, 10(2), 16-17.

Hose, T. A. (2006). Geotourism and interpretation. En Geotourism (pp. 221-241). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6215-4.50020-8>

Hose, T. A., Marković, S. B., Komac, B., & Zorn, M. (2011). Geotourism – a short introduction. Acta geographica Slovenica, 51(2), 339-342. <https://doi.org/10.3986/AGS51301>

Jaramillo Zapata, J. E., Castro Quintero, N., Caballero Acosta, J. H., & Molina Escobar, J. M. (2016). Colombia. En José Luis Palacio Prieto, J. L. Sánchez Cortez, & M. E. Schilling (Eds.), *Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. Situación y perspectivas nacionales* (pp. 121-148). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. <https://doi.org/10.14350/gsxli.18>

Johnson, R. (2009). A Passion for Nature: The Life of John Muir; (review). *American Studies*, 50(3-4), 159-160. <https://doi.org/10.1353/ams.2009.0018>

La Société géologique de France (Ed.). (1994). *Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique. Digne-les-Bains, 11-16 juin 1991*. La Société géologique de France.

Langford, N. P. (1905). *Diary of the Washburn expedition to the Yellowstone and Firehole rivers in the year 1870* (Digital). Internet Archive with funding from Microsoft Corporation. <http://yellowstone.net/history/158-2>

Mansur, K. L., & da Silva, A. S. (2011). Society's Response: Assessment of the Performance of the "Caminhos Geológicos" ("Geological Paths") Project, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Geoheritage*, 3(1), 27-39.

Mayrand, P. (2004). Haute-Beauce: Psychosociologie d'un écomusée. *Cadernos de Sociomuseologia*, 22, 204.

Mayrand, P., & Mairesse, F. (2000). Entretien avec Pierre Mayrand. *Publics et Musées*, 17(1), 223-231.

Mills, E. A. (1920). *The Adventures of a Nature Guide*. Doubleday, Page & Company.

Muir, J. (2018). *CUADERNO DE MONTAÑA. Volcano*.

Palacio Prieto, Jose Luis, Fernandez de Castro Martínez, G., & Rosado González, E. M. (2019). Geosenderos en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Cuadernos Geográficos*, 58(2), 111-125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055>

Philippon, D. J. (2005). *Conserving words: How American nature writers shaped the environmental movement*. University of Georgia Press.

Rábano, I. (2015). Los cimientos de la geología: La Comisión del Mapa Geológico de España (1849-1910). Instituto Geológico y Minero de España.

Restrepo-Moreno, R.S., Foster, D., Stockli, D., Parra-Sánchez, L.N. (2009). Long-term erosion and exhumation of the "Altiplano Antioqueño", Northern Andes (Colombia) from apatite (U-Th)/He thermochronology, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 278, Issues 1-2.

Rivière, G., H. (1989). *La Muséologie selon Georges Henri Rivière*. Dunod.

Scarlett, J. P., & Riede, F. (2019). The Dark Geocultural Heritage of Volcanoes: Combining Cultural and Geoheritage Perspectives for Mutual Benefit. *Geoheritage*, 11(4), 1705-1721. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00381-2>

Tilden, F. (1957). *Interpreting our heritage* (3d ed). University of North Carolina Press.

Van Geert, F. (2019). L'histoire de la Terre comme nouvelle forme de marketing territorial: Le cas du géoparc du bassin de Tresp-Montsec (Espagne). En *Les géoparcs mondiaux UNESCO. Une mise en tension entre développement des territoires et mise en valeur du patrimoine* (pp. 77-103). ISTE Editions Ltd.

Wolfe, L. M. (2003). *Son of the wilderness: The life of John Muir*. University of Wisconsin Press.

CAPÍTULO 10.

CONSTRUCCIÓN DE UNA RUTA GEOARQUEOLÓGICA CON PARTICIPACIÓN COMUNITARIA EN EL CORREGIMIENTO EL PRODIGIO, MUNICIPIO DE SAN LUIS, ANTIOQUIA: UN RECURSO PARA EL DESARROLLO LOCAL Y LA DIFUSIÓN DE LAS GEOCIENCIAS

Albeiro Rendón-Rivera¹; Alba Nelly Gómez-García²; Juan Esteban Quintero-Marín¹; Lina Marcela Cifuentes-Correa²; Angela Maria Henao Arroyave¹; Juan G. Osorio Cachaya¹; Maria Paulina Henao Valencia¹; Sara Ortega Ramirez¹; Arnulfo Berrio-Naranjo³

¹Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Grupo de Investigación en Geología Ambiental Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. ²Departamento de Antropología, Universidad de Antioquia; ³Líder Comunitario, coordinador Grupo Vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue fortalecer una ruta de turismo comunitario en un territorio afectado por el conflicto armado en el pasado. Metodológicamente, se partió de un recorrido previamente diseñado por el grupo Vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio, y a través de la estrategia pedagógica de aprender haciendo, se logró construir la ruta geoarqueológica, con una amplia participación de los actores sociales interesados en el turismo de naturaleza. Entre los principales resultados de este proyecto está la "Ruta Geoarqueológica El Prodigio" constituida por dos segmentos; el diseño de 16 estaciones a lo largo de la ruta, que incluyen sitios de interés geológico, arqueológico y turístico en un contexto de una biodiversidad excepcional; la capacitación a los participantes en las áreas de geociencias y arqueología, y finalmente, la visibilización y promoción de la ruta, a través de la instalación de vallas informativas en el parque principal y en las estaciones.

Palabras clave: *Geoeducación, patrimonio arqueológico, Municipio de San Luis, turismo comunitario.*

ABSTRACT

The aim of this project was to enhance an itinerary of community tourism in a territory harmed by the internal armed conflict in the past. Methodologically, a touristic route previously designed by the local natural and cultural heritage guardians was used. The construction of a geo-archaeological route with a broad participation of social actors interested in nature tourism, including youth and adults, was achieved, through a pedagogical strategy of active learning. Within the major results of this project is the "El Prodigio Geo-Archaeological Route", composed by two segments; the design of 16 stations along the route, included sites of geological, archaeological and tourist interest in a context of exceptional biodiversity; the training of the project participants in topics of geosciences and archeology, and finally, the diffusion and promotion of the route, through the installation of an informative panel in the main park and signaling at stations.

Keywords: *Geoeducation; archaeological heritage; Municipio de San Luis; community tourism*

INTRODUCCIÓN |

El corregimiento El Prodigio del municipio de San Luís, Antioquia, localizado a 117 km al suroriente del departamento de Antioquia (Municipio de San Luís, 2017) (figura 1) se encuentra a una altura entre los 350 y 600 m.s.n.m, correspondiendo a una zona de bosque tropical húmedo, con precipitaciones anuales entre 3000 a 5000 mm (Liebens 1987), una temperatura promedio de 26° C y un periodo seco entre diciembre-febrero (Hernández et al., 1992). La zona se caracteriza por una abundante biodiversidad, y parte de su flora y fauna endémica se encuentra en peligro de extinción.

Esta localidad duramente afectada por el conflicto armado en décadas pasadas, vive una nueva dinámica socioeconómica a partir del retorno de las familias desplazadas, producto del acuerdo de paz celebrado entre el gobierno nacional y uno de los grupos armados que tenían presencia en este territorio; apareciendo iniciativas comunitarias de desarrollo local muy diversas y diferentes a las tradicionales (agricultura, minería y ganadería extensiva), entre ellas el turismo de naturaleza y patrimonio cultural. En el corregimiento El Prodigio, dos organizaciones comunitarias, ECOCAGUÍ y Vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio, desde años anteriores, han venido solicitando apoyo para desarrollar iniciativas de turismo de naturaleza ante diferentes entidades públicas y privadas, recibiendo algunas cooperaciones puntuales para tal fin.



Figura 1. Localización del corregimiento El Prodigio en el municipio de San Luis-Antioquia.

El oriente antioqueño, subregión en la que se encuentra El Prodigio, ha sido referente para la promoción del turismo de naturaleza en el departamento, siendo la Reserva Natural cañón del Río Claro el proyecto de ecoturismo más conocido (Fondo de Promoción Turística de Colombia 2012) y donde se han reconocido varios sitios de interés geológico con miras a desarrollar el geoturismo (Henao et al., 2011; Henao & Osorio, 2015, 2016; Osorio et al., 2015). Estas dos áreas pertenecen al mismo dominio geológico, en el que el paisaje kárstico y el recurso hídrico son parte de las principales atracciones turísticas, entrando en conflicto con importantes industrias del sector del cemento como Argos y Corona, quienes explotan los mármoles como materia prima para sus procesos industriales, y últimamente, con un proyecto de generación hidroeléctrica en el cañón del Río Samaná (Muñoz, 2011), que ha tenido una gran oposición de diversos actores sociales, quienes explotan los mármoles como materia prima para sus procesos industriales, y últimamente, con un proyecto de generación hidroeléctrica en el cañón del río Samaná (Muñoz, 2011), que ha tenido una gran oposición de diversos actores sociales.

El proyecto “Construcción de una ruta geoarqueológica con participación comunitaria en el corregimiento El Prodigio”, tuvo como objetivo general, fortalecer una iniciativa de turismo comunitario del grupo vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio, organización reconocida por el programa “Vigías del Patrimonio” del Instituto de Cultura y Patrimonio de Antioquia y quienes desde varios años atrás, han venido ofreciendo esta ruta de una manera informal para fines turísticos. De esta manera, se le muestra al visitante desde sus vivencias en el territorio y conocimiento ancestral, la diversidad de recursos naturales y culturales con que cuenta el corregimiento. para fines turísticos. De esta manera, se le muestra al visitante desde sus vivencias en el territorio y conocimiento ancestral, la diversidad de recursos naturales y culturales con que cuenta el corregimiento.

En el caso del patrimonio arqueológico, la ley colombiana considera todo el arte rupestre como parte del patrimonio cultural de la nación, según el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH); por su parte, el patrimonio geológico en Colombia está reglamentado por el Decreto 1353 de 2018 (Ministerio de Minas y Energía 2018) y la resolución 732 de 2018 (Servicio Geológico Colombiano 2018), quienes establecen las directrices para su gestión integral. Así, esta ruta geoarqueológica podría formar parte del turismo patrimonial de la región y fue declarada por el Ministerio de Cultura de interés cultural en 2019.

Visitar sitios arqueológicos y museos es un turismo de patrimonio cultural (Pacífico & Vogel, 2012), y la creciente industria del turismo ve cada vez vínculos más estrechos entre el turismo, el patrimonio y la arqueología (Li & Qian, 2016). Por otra parte, el turismo comunitario puede promover el interés de las comunidades por su cultura y patrimonio, ya que los elementos culturales y naturales se revitalizan y preservan para que puedan ser incluidos en la experiencia turística. Además, el turismo puede ser un factor que acelera cambios sociales positivos en una comunidad en términos de mayor tolerancia y bienestar (Organización Mundial del Turismo, 1998).

El patrimonio comprende elementos naturales y culturales. Los elementos naturales incluyen de manera importante características geológicas. Como señalan Blasco et al. (2014), los elementos naturales son cruciales para crear la identidad de una región y en este escenario natural, que incluye agua, biodiversidad y geodiversidad, en donde la dinámica cultural crece a través de la interacción del ser humano con su contexto natural. Además, los atractivos culturales agregan dimensiones históricas, antropológicas y sociales a la experiencia

turística (Timothy, 2011; Weaver, 2011 citado por Blasco et al., 2014).

La posibilidad de incluir sitios de geodiversidad en la ruta, es decir, sitios que ilustran la variedad de rasgos geológicos de una región (Carcavilla et al., 2007) que pueden no tener un valor científico particular, si no educativo, recreativo o turístico (Brilha, 2016) busca, en parte, promover la conservación de estos recursos y sensibilizar el turismo que se realice alrededor de estos sitios (Ruchkys, 2007). La inclusión de actividades geoturísticas en el corregimiento de El Prodigio podría hacer que los visitantes experimenten las características geológicas del planeta de un modo que fomente la comprensión ambiental y cultural, la valoración y la conservación, y ser beneficiosa a nivel local (Dowling, 2011). Los elementos de geodiversidad como atracciones turísticas son importantes para generar beneficios económicos y sociales, y ayudan a los visitantes a interpretar la naturaleza y entender mejor el planeta (Brilha et al. 2018).

Finalmente, los notables recursos geológicos, biológicos y arqueológicos del oriente antioqueño, representan un gran valor patrimonial, ideal para ser puesto al servicio de la sociedad, dentro de los postulados del desarrollo sostenible, donde se genere un mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes con el cumplimiento de varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por Naciones Unidas y con un gran potencial para que los diferentes actores sociales los gestionen como un proyecto de Geoparque Mundial de la UNESCO (Tavera-Escobar & Álvarez-Ramírez, 2019).

2. CONTEXTO GEOARQUEOLÓGICO

Como lo dijimos anteriormente, la intención en el proyecto, fue acompañar y fortalecer una iniciativa de apropiación de conocimientos y turismo propuesta por la comunidad y no tuvo como objetivo, generar nuevo conocimiento geológico o arqueológico sobre la región, por lo tanto, la caracterización que se realizará de lo arqueológico y geológico fue el producto de la revisión y análisis de la bibliográfica existente para la región. Cabe anotar, que los estudios específicos a nivel geológico en el corregimiento El Prodigio son escasos por no decir que inexistentes a nivel de publicaciones en revistas o eventos académicos.

A nivel del contexto geológico regional, la zona donde se encuentra el corregimiento El Prodigio, está formada por franjas de rocas irregulares elongadas en dirección aproximada norte-sur, compuestas principalmente por mármoles, gneises, esquistos y cuarcitas. Existen, además, rocas ígneas plutónicas de composición intermedia pertenecientes al Batolito Antioqueño (Figura 2). Estas unidades están delimitadas por fallas en dirección norte-sur, siendo las más importantes las Fallas de Palestina y Cocorná sur (Feininger et al., 1972; Barrero & Vesga, 1976; Cossio & Viana, 1986; Liebans, 1987; Ocampo, 2005; Gómez et al., 2015)., está formada por franjas de rocas irregulares elongadas en dirección aproximada norte-sur, compuestas principalmente por mármoles, gneises, esquistos y cuarcitas. Existen además, rocas ígneas plutónicas de composición intermedia pertenecientes al Batolito Antioqueño (Figura 2). Estas unidades están delimitadas por fallas en dirección norte-sur, siendo las más importantes las Fallas de Palestina y Cocorná sur (Feininger et al., 1972; Barrero & Vesga, 1976; Cossio & Viana, 1986; Liebans, 1987; Ocampo, 2005; Gómez et al., 2015).

Las características geológicas y climáticas de la zona generan geoformas muy contrastantes, que le dan al paisaje un aspecto distintivo y lo convierten en un gran atractivo turístico. Destacan en el paisaje colinas de fuerte pendiente moldeadas en mármol (*kegels* kársticos) con sus cuevas interiores (Liebans, 1987; Hernández & Vélez, 1988) colonizadas por vegetación nativa y endémica. También se observan colinas redondeadas y cimas planas, modeladas en perfiles de meteorización de rocas metamórficas e ígneas intrusivas. Los otros

materiales geológicos en el área, generan formas ligeramente onduladas e inclinadas, correspondiendo a depósitos de vertiente, así como extensas áreas planas modeladas en depósitos aluviales.

Dentro de este paisaje, sobresalen los procesos kársticos y sus geoformas. El karst de torres y *kegels* (Fundación Natura, 1994) así como las geoformas de colapso y disolución como dolinas, sumideros, valles, cavernas y afloramientos de agua, son algunos de los elementos kársticos observados en la zona, con un gran valor turístico-didáctico, algunos de los cuales fueron incluidos en la ruta geoarqueológica.

En el contexto arqueológico, la información proviene de investigaciones muy recientes. Autores como Arango (2013) y Gómez y Gutiérrez (2018), reportan sitios arqueológicos que contienen cerámicas, líticos y petroglifos. Las edades han sido determinadas a través del estudio comparativo de iconografías y otros rasgos cerámicos presentes, y dan cuenta de poblaciones humanas presentes en la región entre 900 y 1300 años atrás (Arango, 2013), lo que apoya los hallazgos de otros autores como Bonilla (2020), Castaño y Dávila (1984) y Flórez (1998).

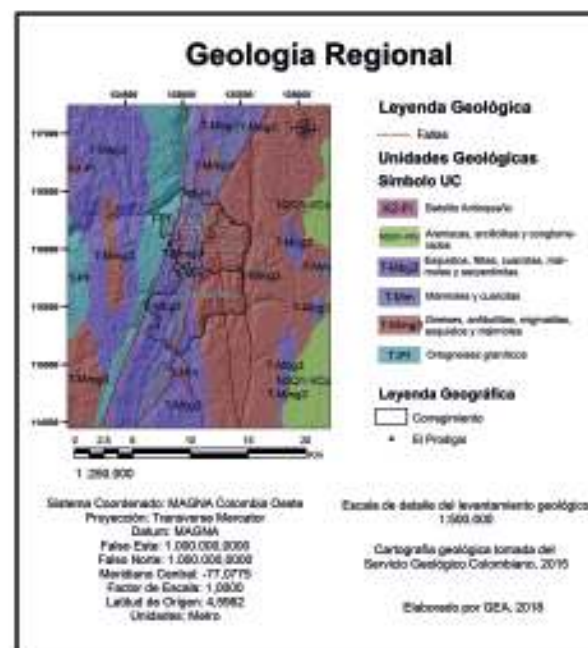


Figura 2. Mapa geológico regional mostrando las litologías en los alrededores de El Prodigio.

Fuente de la información: Servicio Geológico Colombiano.

El análisis de los artefactos líticos reportados en el corregimiento El Prodigio (figura 3) ha estado direccionado hacia la caracterización tecnológica funcional, sistematización y reconocimiento de las materias primas utilizadas, sin establecer datación indirecta o comparaciones tipológicas regionales. De esta forma, se conoce una aplicación de diversas tecnologías para la fabricación de enseres, identificándose las técnicas de percusión directa, modificación por uso de los artefactos y el pulido por abrasión. Como materias primas predominan los recursos locales: cuarzos lechosos, cuarcitas y jaspes de buena calidad para la talla. Así mismo se evidencia la utilización de materias primas foráneas como el chert, que, si bien su fuente de aprovisionamiento secundaria se da a unos 20 kilómetros en línea recta, refleja un desplazamiento o tal vez unas relaciones de intercambio de recursos tanto abióticos como bióticos (Arango, 2013).

Quizá por su evidente apropiación directa, el arte rupestre presente en el sistema kárstico del corregimiento El Prodigio, genera una mayor preocupación en términos de preservación patrimonial y así mismo reclama una atención especial de profundización del conocimiento arqueológico de la zona. La ocupación prehispánica de la región dejó como evidencia un registro caracterizado por petroglifos y pictografías en muchas de las cavidades naturales del sistema kárstico característico de la región. Sobresalen representaciones antropomorfas y geométricas de invaluable interés cultural y científico.

Hasta el momento, en El Prodigio, se ha alcanzado un registro de 25 petroglifos y 14 pictografías concentradas en tres sitios al interior de abrigos rocosos y grutas emplazadas en torres kársticas. Estas cavidades naturales kársticas han sido emblemáticas para la historia de la humanidad. Muchas de estas, dependiendo de su grado de actividad, se las considera con un alto potencial arqueológico por su capacidad de conservación de los restos materiales –bióticos y abióticos– y su plasticidad para conformar sitios convenientes para el asentamiento humano en el pasado, lugares de carácter ritual y de plasmación de representaciones rupestres. Estos hallazgos son correlacionables con investigaciones arqueológicas llevadas a cabo en la cuenca del Río Alicante (Pino & Forero, 2002) y en la cuenca del Río Claro (Bonilla 2020). El conocimiento acerca de las poblaciones prehispánicas que habitaron el sistema kárstico del corregimiento El Prodigio puede considerarse en fase embrionaria.



Figura 3. Algunos ejemplos del contexto arqueológico en El Prodigio. A y B: artefactos líticos. C: petroglifo El Búho. D: petroglifos al interior de una caverna.

3. METODOLOGÍA

En este proyecto, la metodología (figura 4) se convirtió en un proceso esencial para garantizar que los actores sociales se convirtieran en agentes propositivos, activos y en elemento central a lo largo de todo el horizonte de tiempo del proyecto, que condujera a una real participación comunitaria. Se respetó su percepción social inicial de lo que debería ser el recorrido de la ruta para, sobre esta base, alimentarla con contenido geológico y arqueológico.

La revisión de la información secundaria a nivel regional y local, nos permitió construir dos tipos de escenarios a nivel teórico: el escenario de los recursos geoarqueológicos de la región y el de los actores sociales con presencia en el territorio, insumos muy importantes para la siguiente etapa de la metodología.

La llegada por primera vez al territorio en la fase llamada reconocimiento de campo, tuvo como actividad central exponer a los actores sociales el proyecto que se pretendía desarrollar, y la importancia de su participación en todas sus etapas; además, escuchar sus expectativas, sugerencias, dudas, prevenciones, entre otras. Esta fue una etapa difícil, con escepticismo y rivalidades de acuerdo con

distintos intereses entre algunos de los participantes. Además, se presentó la propuesta en una sesión del concejo municipal de San Luis, logrando recibir apoyo.

Una vez se realizó una síntesis de la información secundaria, complementada con el reconocimiento de campo, se pudo realizar la cartografía preliminar de los sitios de interés geológico y arqueológico existentes en el corregimiento. Por otra parte, para garantizar una sistematización de las actividades a desarrollar con los actores sociales en las siguientes visitas de campo, se diseñaron actividades y protocolos para la recolección de la información e indicadores de seguimiento a estas actividades sociales.

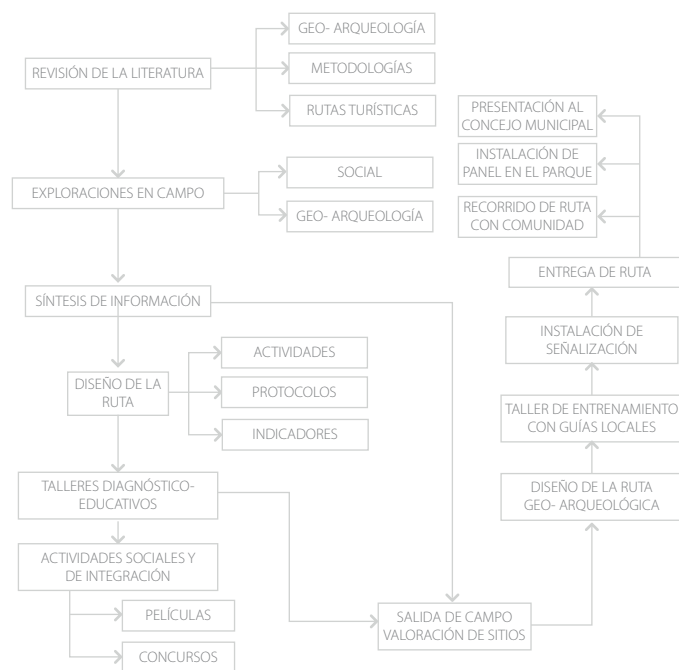


Figura 4. Metodología utilizada en el desarrollo del proyecto

Un elemento crucial de la metodología se centró en el diseño de lo que llamamos “talleres diagnóstico-educativos”, donde la estrategia pedagógica fue “aprender haciendo”, privilegiando actividades lúdicas, donde la gente participara de una manera placentera, primando la aproximación a la realidad desde la experiencia y el contacto con los elementos y procesos naturales (Rodrigo-Sanz et al., 2008). Se compartió información y conocimiento de doble vía: de los técnicos a la comunidad y de la comunidad a los técnicos. Además, estos talleres

se convirtieron en el vehículo para la difusión de los conceptos básicos en torno a las geociencias y la arqueología, que fortalecieron y complementaron el conocimiento sobre el territorio de los actores sociales.

Así, la segunda visita de campo se centró en la realización de los “talleres diagnóstico-educativos” en los que los participantes realizaron manualidades, juegos didácticos para la elaboración de conceptos geológicos y arqueológicos, creaciones artísticas y representaciones gráficas en torno a los sitios reconocidos por ellos con valor en el corregimiento. Los participantes fueron divididos en tres grupos: Niños, Jóvenes y Adultos, con actividades diferentes para cada uno de ellos (figura 5). El documento más significativo de esta etapa fue la cartografía social realizada por la comunidad, donde se consigna su percepción de los sitios de interés geológico, arqueológico y ambiental del corregimiento (figura 6). Los talleres se complementaron con actividades integradoras de la comunidad, tales como la proyección de un ciclo de películas y documentales relacionadas con ciencias naturales, arqueología y geología.



Figura 5. Ejemplos de algunos talleres didáctico-educativos. A) Elabora tu propia pictografía, B) Adultos participando en ejercicio de cartografía social. C) Paisaje kárstico en plastilina. D) Maquetas de restos cerámicos elaboradas en arcilla.

Posteriormente, basados en la cartografía síntesis de la revisión de información secundaria y la cartografía social elaborada en los talleres diagnóstico-educativos, se procedió a la realización de un recorrido con los actores sociales por la ruta, con el fin de seleccionar los mejores sitios como insumo para el diseño de la ruta.

Los sitios incluidos en la ruta fueron agrupados en tres categorías según su interés principal:

- **Geológico:** sitios en los que el interés principal radica en la apreciación de fenómenos o elementos geológicos.
- **Arqueológico:** sitios en los que el interés principal se trata de arte rupestre (pictografías y petroglifos) o terrazas arqueológicas.
- **Turístico:** sitios que han sido incluidos en la ruta por sugerencia de la comunidad de El Prodigio dado su alto potencial recreativo.



Figura 6. Ejemplo de cartografía social. Los sitios de interés natural y cultural propuestos por los asistentes a los talleres fueron representados en los dibujos.

Con los insumos anteriores se diseña la ruta asignándole el nombre de “Ruta Geoarqueológica El Prodigio” así como su logo símbolo para darle identidad. Se procede en compañía de los participantes en el proceso, a la instalación de la señalética a lo largo del recorrido. Seguidamente, se inició un curso de capacitación para la guianza en la ruta geoarqueológica El Prodigio, que tuvo como base 15 jóvenes del corregimiento estudiantes de turismo en la Universidad Católica del Norte, donde se compartió y discutió con ellos, el contenido de cada una de las paradas de la ruta.

Finalmente, se procedió a la entrega oficial de la ruta a la comunidad, a través de tres actividades: un acto solemne con participación de la comunidad, que involucró la instalación de una valla informativa de la ruta en el parque principal de El Prodigio; un recorrido por la ruta propuesta, guiado por los estudiantes participantes en el curso y una presentación ante el Consejo Municipal de San Luis de los resultados del proyecto. Estas actividades estuvieron acompañadas por algunos productos escritos como la guía de la ruta geoarqueológica y un brochure o folleto divulgativo.

4. RESULTADOS

Uno de los resultados más importantes de este proyecto fue la metodología, ampliamente expuesta en el numeral anterior, que permitió una real apropiación del proyecto por parte de los actores sociales que participaron. Seguidamente mostraremos los aspectos principales del diseño de la ruta geoarqueológica El Prodigio el resultado principal de este proyecto.

4.1 Ruta Geoarqueológica El Prodigio

Como resultado principal del proyecto se diseñó la ruta denominada “Ruta Geoarqueológica El Prodigio” que, como ya se mencionó, venía siendo mostrada informalmente a los visitantes al corregimiento por el grupo Vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio. También se instaló la señalética en cada una de las paradas propuestas, además de una valla de gran formato en el parque principal del corregimiento para visibilizar la ruta a los visitantes (figura 7).

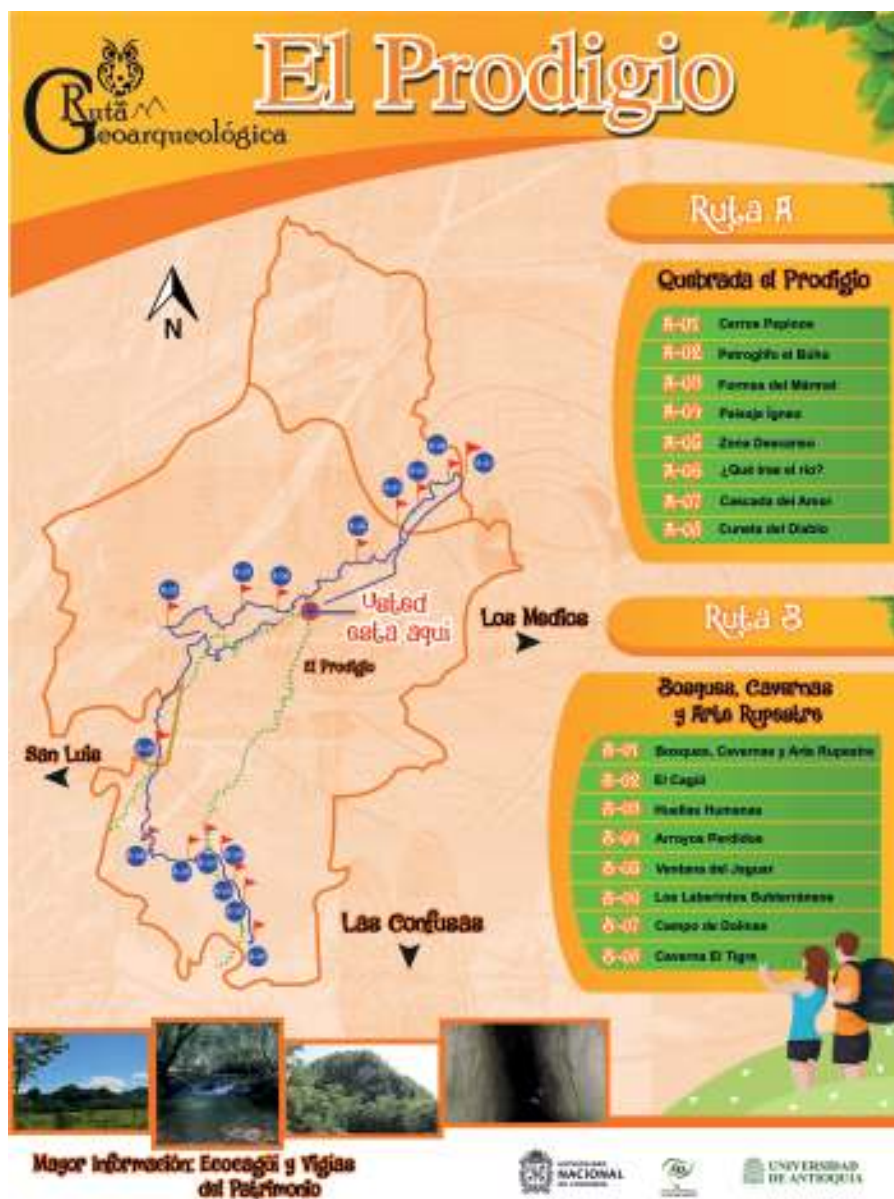


Figura 7: Panel principal de la ruta geoarqueológica El Prodigio, instalado en el parque principal del corregimiento El Prodigio, para visibilizar la ruta.



Es importante anotar que se diseñó como símbolo de identidad de la ruta un logo símbolo que recoge dos elementos referentes para la comunidad: las colinas kársticas y el petroglifo “El Búho” (figura 7) y para la mayoría de las estaciones de la ruta se mantuvieron las toponimias asignadas por la comunidad.

La ruta se dividió en dos segmentos: A y B, los cuales permiten apreciar elementos con interés geológico, arqueológico y turístico en los alrededores del corregimiento.

4.1.1. Segmento A: Quebrada El Prodigio

Con una longitud de 4.5 km, este segmento de la ruta brinda al visitante, a través de ocho (8) paradas, un conocimiento y disfrute de la geología, el paisaje kárstico, el patrimonio arqueológico y el agua como un recurso de gran valor ambiental en la zona (figura 8 y tabla 1).



Figura 8. Ruta Geoarqueológica El Prodigio, segmento A “Quebrada El Prodigio”

Tabla 1. Información del segmento A “Quebrada El Prodigio” de la ruta geoarqueológica El Prodigio.

RUTA GEO-ARQUEOLÓGICA EL PRODIGIO Segmento A: Quebrada El Prodigio	
Esta ruta alberga un imponente paisaje kárstico; el abrigo rocoso con el Búho emblema del corregimiento; sitios de interés geológico, y a lo largo de la travesía el agua es la protagonista, como un recurso de gran valor ambiental en la región.	
Punto de inicio	Carreteable El Prodigio – Puerto Nare (km 2), al costado izquierdo de la vía en este sentido.
Punto final	Carreteable El Prodigio – Monteloro (km 1.6), al costado derecho de la vía en este sentido.
Longitud/tiempo recorrido	4.5 km/4 horas

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS	INTERÉS PRINCIPAL
A-01	Cerros Pepinos	6.075615, -74.794783	Geológico
A-02	Petroglifo El Búho	6.074894, -74.796747	Arqueológico
A-03	Formas del Mármol	6.073341, -74.797877	Geológico
A-04	Paisaje Ígneo	6.072018, -74.799841	Geológico
A-05	Zona de descanso	6.067437, -74.804017	Turístico
A-06	¿Qué trae el río?	6.063027, -74.811805	Geológico
A-07	Cascada del Amor	6.063346, -74.815026	Turístico
A-08	Cuneta del Diablo	6.061498, -74.822025	Turístico

Como se observa en la tabla 1, este segmento denominado “Quebrada El Prodigio” contiene sitios de interés geológico; el principal hallazgo arqueológico del corregimiento y emblema de la ruta “El Búho”, y algunos sitios de interés recreativo.

Los sitios de interés geológico corresponden a las estaciones A-01, A-03, A-04 y A-06. La estación A-01 es un sitio ideal para apreciar la geomorfología kárstica típica de la región, representada en los kegel, llamados localmente “cerros pepino” (karst de torres). Esta geoforma se caracteriza por sus vertientes abruptas modeladas en mármoles y cubiertas de vegetación nativa, gran parte de ella endémica. Es un sitio ideal para explicar qué es un paisaje kárstico, además para apreciar el valor estético de este tipo de paisaje (figura 9 izquierda).



Figura 9. Sitios importantes del segmento A (quebrada El Prodigio): A) Paisaje kárstico (izquierda), B) petroglifo El Búho (centro) y C) Cuneta del Diablo (derecha).

Por su parte en la estación A-03, se observan bloques de mármol reposando sobre el suelo, que exhiben en su superficie, a pequeña escala, diferentes formas de disolución por acción del agua, principalmente estructuras lapiaz o karren. Por otro lado, la estación A-04 es para observar el paisaje; observándose un cambio geomorfológico a causa del cambio litológico de mármoles a rocas ígneas (granodioritas) y gneises. En contraste con el paisaje del karst, ahora las colinas son más bajas, de vertientes convexas, algunas con cimas planas u onduladas, moldeadas en materiales residuales de rocas ígneas y metamórficas.

Finalmente, el contenido geológico de la ruta termina en la estación A-06 denominada “¿Qué trae el río?” Este sitio corresponde a un giro en el curso de la quebrada El Prodigio en el que hay grandes acumulaciones de cantos y sedimentos. Se ha incluido en la ruta para introducir el concepto de geodiversidad a través de la diversidad litológica que puede observarse en los cantos de la quebrada El Prodigio en esta zona de acumulación de sedimentos: anfibolitas, esquistos, granitoides, mármoles, gneises, etc. Ideal para hablar de los diferentes tipos de rocas en la naturaleza.

En la estación A-02 denominada “Petroglifo El Búho”, los visitantes pueden apreciar el sitio más simbólico para la comunidad de El Prodigio (Figura 9 centro). Se trata de un búho tallado en mármol a la entrada de un abrigo rocoso con estalactitas, en la base de una torre kárstica. Según investigaciones arqueológicas, era un sitio utilizado para rituales por comunidades prehispánicas que vivieron allí al menos entre 2000 A.C y 700 D.C.

Finalmente, las estaciones A-05, A-07 y A-08; son sitios para la hidratación, la integración, el descanso y para el disfrute de uno de los recursos más apreciados por sus habitantes: el agua. La estación A-07 (cascada del amor), es una cascada con un salto de un metro, y se ha incluido en la ruta por ser uno de los sitios más conocidos y visitados por la comunidad de El Prodigio, y por el atractivo turístico del agua. Posee un interés geológico secundario ya que afloran por primera vez rocas frescas de una unidad litológica que no se ha observado antes en la ruta (granodioritas del Batolito Antioqueño). Por su parte la estación A-08 (cuneta del Diablo, figura 9 derecha) es uno de los más conocidos y visitados por la comunidad de El Prodigio, al ser visitado con fines recreativos los fines de semana y días festivos. Allí se puede disfrutar del agua, un recurso muy abundante en la región, símbolo de reivindicación por el derecho a un ambiente sano por parte de sus comunidades.

4.1.2. Segmento B: Bosques, cavernas y arte rupestre

Este segmento de la ruta geoarqueológica es ideal para disfrutar de la rica biodiversidad de la región (figura 10 y tabla 2), la cual tiene un valor ambiental; además, tiene valores importantes asociados a la geología y el patrimonio arqueológico. La mayoría de este recorrido transcurre dentro del follaje de un bosque húmedo tropical, ideal para el reconocimiento de flora, avistamiento de aves, observación de monos aulladores y titis, además del reconocimiento de huellas de mamíferos que viven allí.

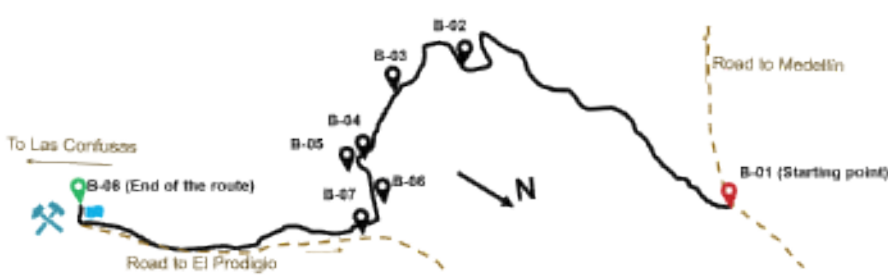


Figura 10. Ruta Geoarqueológica El Prodigio, segmento B “Bosques, cavernas y arte rupestre”.

Tabla 2. Información del Segmento B “Bosques, Cavernas y Arte Rupestre” de la ruta geoarqueológica El Prodigio

RUTA GEO-ARQUEOLÓGICA EL PRODIGIO Segmento B: Bosques, Cavernas y Arte Rupestre			
Senderismo y avistamiento de fauna y flora en la primera parte; Cavernas, paisajes kársticos y arte rupestre al final de la misma.			
Punto de inicio	Carreteable El Prodigio – Monteloro (km. 3), al costado izquierdo de la carretera en este sentido.		
Punto final	Carreteable El Prodigio – Las Confusas (km. 4.3).		
Longitud/tiempo recorrido	3.6 km / 4 horas		

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS	INTERÉS PRINCIPAL
B-01	Bosques, Cavernas y Arte Rupestre	6.045249, -74.823471	Turístico
B-02	El Cagüí	6.036076, -74.823681	Turístico
B-03	Huellas Humanas	6.034689, -74.822157	Arqueológico
B-04	Arroyos Perdidos	6.034791, -74.819143	Geológico
B-05	Ventana del Jaguar	6.035083, -74.819032	Geológico
B-06	Laberintos Subterráneos	6.035258, -74.818662	Geológico
B-07	Campo de Dolinas	6.031037, -74.814046	Geológico
B-08	Caverna El Tigre	6.025866, -74.813100	Geológico y Arqueológico

Como se observa en la tabla 2, este segmento se inicia con dos estaciones de valor ambiental. La estación B-01, que es la entrada a la ruta, permite ya observar la gran biodiversidad de la región, representada en variedad de fauna y flora. Por su parte, la estación B-02 (El Caguí, figura 11) es ideal para introducir al visitante en el problema ambiental de la deforestación, pues allí yacen los restos de un enorme caguí o almendrón, árbol nativo de la región que puede alcanzar hasta 30 metros de alto y 2 metros de diámetro en su tronco. Este sitio es además tránsito de monos y aves, ideal para su observación.

Las estaciones B-03 (Huellas humanas) y B-08 (Caverna El Tigre) son las que poseen valor arqueológico en el recorrido. La primera (B-03) es ideal para explicar la forma de ocupación temprana de la zona, ya que se encuentran, entre la vegetación, pequeñas explanadas, terrazas o lugares de asentamiento de comunidades prehispánicas (Gómez y Gutiérrez 2018). La segunda (B-08) es una caverna ubicada en la base de un kegel kárstico. Posee 15 pictografías, pinturas o grafos hechos con algún tipo de pigmento (figura 11, derecha), además se observan algunos espeleotemas.



Figura 11. A) Árbol caído de caguí (izquierda), B) dolina (centro), C) pictogramas en la caverna El Tigre (derecha).

Finalmente, el contenido geológico de esta ruta está representado en las estaciones B-04 (Arroyos perdidos), B-05 (Ventana del Jaguar), B-06 (Laberintos subterráneos) y B-07 (Campo de dolinas) todos relacionados con la geomorfología kárstica. La estación B-04 corresponde a un sumidero kárstico o ponor en el que los arroyos que corrían entre la vegetación desaparecen entre el mármol. Es un sitio para explicar la complejidad del agua en el karst, las formas subterráneas del karst como galerías y cavernas, los acuíferos kársticos y los fenómenos geológicos que hacen que el agua superficial se infiltre de repente bajo tierra. Mientras que la estación B-06 corresponde a una surgencia kárstica en la que aparece el agua que se había infiltrado en el subsuelo en la estación B-04. Se pueden terminar de explicar los fenómenos que hacen que, en zonas kársticas, el agua se infiltre y reaparezca en la superficie del terreno.

En la estación B-05 se encuentra un afloramiento de mármol. Detrás de la pared de mármol se encuentra una cavidad por la que se puede ascender en el abrigo rocoso hasta una oquedad en la roca con forma de ventana. En este lugar se puede tratar el concepto de caverna y explicar los procesos de disolución al interior de los bloques de mármol, que dan lugar a canales, conductos y cavidades.

En la estación B-07 tras salir de la zona boscosa, se encuentra una zona plana y despejada en la que se observan hundimientos circulares en el terreno que corresponden a dolinas (figura 11, centro). Estas formas kársticas son comunes en la región, algunas de varios metros de diámetro, por lo que en esta estación se explica qué son las dolinas y cómo se forman.

4.2. Elementos de difusión

Para acompañar la apropiación, promoción y la divulgación de la ruta geoarqueológica, tanto a nivel local como para atraer nuevos visitantes, se redactó y entregó de manera digital una guía escrita de la ruta geoarqueológica (figura 12), procurando utilizar un lenguaje poco técnico y acompañada de un glosario, y un folleto que resume los dos segmentos de las rutas con sus estaciones. De este último se entregó tanto la versión digital como varias copias impresas.



Figura 12: A) Guía (izquierda) y B) plegable (derecha) de la ruta geoarqueológica El Prodigio

5. DISCUSIÓN

El proceso de paz con uno de los grupos armados más importantes del país, generó un retorno de población desplazada a sus antiguos territorios que trajo consigo nuevas expectativas socioeconómicas, surgiendo iniciativas comunitarias de diferente índole, entre ellas el turismo comunitario de naturaleza y patrimonio cultural. Ese es el caso que aquí nos ocupa: el corregimiento El Prodigio del municipio de San Luís (Antioquia). Después de varios años de conflicto armado y desplazamiento, la población ha retornado y a través del grupo de Vigías del Patrimonio Cultural y Natural del Prodigio, organización reconocida por el programa de Vigías del Patrimonio del Instituto de Cultura y Patrimonio de Antioquia, se empieza a promover de una manera informal el turismo comunitario de naturaleza y patrimonio arqueológico. Esta oportunidad para el turismo de intereses especiales es también una ocasión para impulsar el desarrollo del geoturismo, a partir de los inventarios, la valoración y el análisis del potencial de uso y riesgo de degradación de sitios geológicos, que conllevarán a prácticas adecuadas de manejo y gestión de este recurso por medio del geoturismo.

El anterior contexto social local, aunado a la tendencia nacional de la emergencia del turismo rural de naturaleza y patrimonio cultural, hace necesario por parte de las entidades públicas y privadas acompañar a las comunidades rurales en sus iniciativas, para que se ofrezca un turismo de calidad en su contenido temático, contribuyendo a una visión holística de la naturaleza, fortaleciendo su sentido de pertenencia por el territorio, propendiendo por un turismo enmarcado en los objetivos del desarrollo sostenible promulgados por la UNESCO y aportando al fortalecimiento de la resiliencia en la sociedad.

Varios principios y estrategias, guiaron el diseño de la ruta geoarqueológica en el corregimiento El Prodigio, las cuales contribuyeron a que se lograra los resultados esperados: la participación de los actores sociales en todas las etapas del proyecto; tener en cuenta la lectura del territorio por parte de los actores sociales involucrados; la estrategia pedagógica de “aprender haciendo”; y finalmente, la naturaleza como la mejor aula de clase, para aprender los conceptos y las relaciones entre los procesos naturales y humanos.

Para el recorrido de la ruta geoarqueológica se respetó la lectura del territorio por parte de los actores sociales involucrados, quienes ya venían ofreciendo a los visitantes un recorrido de naturaleza donde se combinan varios elementos ambientales y culturales de valor patrimonial: fauna, flora, cavernas, agua (balnearios y cascadas) y arte rupestre. Se le muestra al visitante el valor de estos elementos desde la vivencia del territorio de los guías. Por lo tanto, el proyecto fortalece el conocimiento científico de los componentes geológico y arqueológico en el discurso de la guianza de la ruta.

La estrategia para la aprehensión de los conceptos por parte de los participantes en el proyecto, se fundamentó en la estrategia de “aprender haciendo” dividida en dos momentos: un primer momento donde a través de talleres de manualidades, juegos didácticos, cartografía social, concursos, entre otros, se construyeron colectivamente, conceptos básicos sobre la geología y arqueología, además; de la percepción social de los diferentes valores del territorio. El segundo momento tuvo como estrategia didáctica: la naturaleza como el laboratorio para la aprehensión de los conceptos y la identificación de las relaciones estrechas entre procesos naturales y culturales en el territorio, llevada a cabo a través de recorridos de campo.

El diseño de rutas de naturaleza es la gran oportunidad para construir colectivamente un discurso que promueva una visión holística de la naturaleza, donde todos los procesos interactúan entre sí, para fortalecer la cultura del conocimiento entre la población. Es importante generar un cambio de pensamiento, donde la geología solo es mirada como una fuente de materias primas, hacia una mirada en el sentido de la geología como un recurso cultural para el desarrollo sostenible, soporte de la vida e influenciadora del desarrollo cultural de la humanidad; aspectos muy claros en el corregimiento El Prodigio.

La dotación de contenido geológico a esta ruta nos demostró que cualquier sitio anónimo puede poseer información que permite reconstruir parte de la fabulosa historia geológica de un territorio, que es de gran interés para el visitante. Una simple acumulación de cantos en los depósitos aluviales de una quebrada o río es ya un elemento muy didáctico que permite ir armando con los asistentes parte del rompecabezas de la historia geológica de una región. Por lo tanto, no es necesario que en el territorio se haya identificado patrimonio geológico en el sentido estricto de su definición para poder utilizar los elementos geológicos como herramientas pedagógicas. Sin embargo, los elementos geológicos en la región, en especial aquellos con especial vulnerabilidad como las cavernas, requieren de una valoración completa de su interés científico y de su potencial de uso turístico y educativo, así como del riesgo de degradación, para así determinar el posible mejor manejo para estos sitios (turismo, educación, ciencia y conservación, etc.) y definir acciones específicas de monitoreo y protección con miras a la geoconservación.

Finalmente, la ruta geoarqueológica El Prodigio debe continuar alimentándose de otros contenidos tales como museo de ciencias, aves, flora y fauna, entre otros, con el fin de mostrarle al visitante la estrecha simbiosis que existe en el territorio entre los factores naturales y culturales, que promuevan una visión holística de la naturaleza, y así aportar a una sociedad más resiliente y consciente de su gran compromiso y su papel en la preservación de los múltiples patrimonios que posee el territorio y que deben estar al servicio de la sociedad.

6. CONCLUSIONES

El diagnóstico de los sitios de interés geológico y arqueológico a partir de la revisión bibliográfica, recorridos de campo del equipo técnico y la información de la comunidad, muestra un inventario de 15 sitios de interés geológico y 29 de interés arqueológico. Los sitios de interés geológico son en su mayoría de tipo geomorfológico: cavernas, dolinas, torres y conos kársticos, entre otros, a los cuales se les ha conservado la toponimia. Los sitios de interés arqueológico corresponden a yacimientos con hallazgos de cerámicas, artefactos líticos y cavidades naturales con presencia de pictografías y petroglifos.

El corregimiento El Prodigio posee una geodiversidad importante que se convierte en un recurso ambiental estratégico. Esta geodiversidad está representada en varios tipos de rocas y en una rica geomorfología kárstica que aporta los principales sitios de interés geológico del corregimiento.

El reconocimiento del patrimonio arqueológico del corregimiento El Prodigio constituye un potencial determinante en la gestión del territorio y en su crecimiento económico y social a través de su valoración y apropiación por parte de la comunidad. En este sentido, el arte rupestre debe ser apreciado como parte del corpus de patrimonio cultural y arqueológico tanto local como nacional. Las manifestaciones de arte rupestre, los lugares y paisajes en que se emplazan, en los últimos años, han empezado a ser asumidos, más que como objetos de la ciencia, como importantes referentes identitarios o lugares de interés que diferentes entidades territoriales (departamentos, municipios, territorios indígenas, etc.), comunidades o actores sociales reclaman para su aprovechamiento, disfrute o usufructo. Esta creciente dinámica, que se manifiesta muchas veces en gestiones desafortunadas, está propiciando el deterioro y destrucción de muchos sitios y de sus entornos o contextos de significación (Martínez Celis, 2015). Como consecuencia de esta preocupación, cada instancia de nuestro trabajo estuvo atenta a una apropiación social positiva por parte de la comunidad, para impedir y/o revertir la afectación de la materialidad de los sitios o la desvirtualización de su significación y potenciar su carácter locativo para la memoria y del patrimonio cultural de los territorios donde reposan. nacional. Las manifestaciones de arte rupestre, los lugares y paisajes en que se emplazan, en los últimos años, han empezado a ser asumidos, más que como objetos de la ciencia, como importantes referentes identitarios o lugares de interés que diferentes entidades territoriales (departamentos,

municipios, territorios indígenas, etc.), comunidades o actores sociales reclaman para su aprovechamiento, disfrute o usufructo. Esta creciente dinámica, que se manifiesta muchas veces en gestiones desafortunadas, está propiciando el deterioro y destrucción de muchos sitios y de sus entornos o contextos de significación (Martínez Celis, 2015). Como consecuencia de esta preocupación, cada instancia de nuestro trabajo estuvo atenta a una apropiación social positiva por parte de la comunidad, para impedir y/o revertir la afectación de la materialidad de los sitios o la desvirtualización de su significación y potenciar su carácter locativo para la memoria y del patrimonio cultural de los territorios donde reposan.

La ruta geoarqueológica propuesta para el desarrollo de un turismo comunitario en el corregimiento El Prodigio, fue el producto de un consenso entre la cartografía social elaborada por la comunidad en los talleres diagnóstico-participativos y los recorridos de campo realizados por el equipo técnico.

Los talleres diagnóstico-educativos mostraron que la comunidad de El Prodigio es consciente del valor ambiental que posee el territorio que habitan, representado en una gran biodiversidad, arte rupestre, cavernas y paisaje. El diseño de la ruta reforzó el sentido de pertenencia por el territorio y la clarificación de conceptos básicos en geología y arqueología.

La ruta geoarqueológica propuesta para el corregimiento El Prodigio posee una gran biodiversidad como valor ambiental asociado a los elementos geológicos y arqueológicos, lo que le da un buen potencial de éxito en el desarrollo de un turismo comunitario, que contribuya a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La ruta geoarqueológica propuesta puede considerarse como una etapa piloto de lo que podría ser en el mediano y largo plazo, un programa de turismo comunitario en el corregimiento El Prodigio, el cual debe tener una mayor oferta de servicios turísticos articulados al Plan Municipal de Turismo.

Es necesario que la ruta geoarqueológica propuesta en este proyecto sea incorporada en el Plan Municipal de Turismo, que le permita en el corto y mediano plazo acceder a recursos, para que se puedan desarrollar proyectos encaminados a la instalación de infraestructura a lo largo de la ruta, capacitación de futuros guías, adquisición de implementos para la guianza, entre otros.

Como elemento fundamental de gran importancia para la ruta geoarqueológica propuesta está la creación de un museo de ciencias, que albergue la muestra representativa de cada uno de los patrimonios que posee el territorio, convirtiéndose en un escenario ideal para la educación de la población del corregimiento y el inicio de la ruta geoarqueológica con los visitantes que lleguen.

Entiendo el turismo como una amenaza para cualquier tipo de patrimonio, es necesario hacer estudios de capacidad de carga para la ruta geoarqueológica propuesta, con el fin de evaluar y prevenir los posibles impactos que se puedan generar y de esta forma, poder desarrollar un turismo sostenible acorde con las características particulares del territorio. Para los sitios geológicos se deberá valorar cualitativa y cuantitativamente el riesgo de degradación de cada uno, definir su potencial de uso y determinar las medidas específicas de geoconservación, tales como protección física, monitoreo y mantenimiento, todo acompañado de constante educación

Se requiere continuar la exploración del corregimiento, con el fin de diseñar otras rutas con sitios de interés geoarqueológico asociados a elementos de la biodiversidad. Esto permitirá ofrecer otras rutas fortaleciendo el turismo comunitario en el corregimiento.

Es de gran importancia que las instituciones públicas y privadas continúen en el futuro, apoyando esta iniciativa comunitaria en el corregimiento El Prodigio, con el fin de que se consolide como proyecto y mejore la calidad de vida de sus habitantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación otorgada por la Oficina de Investigación y Extensión de la Universidad Nacional de Colombia, a la comunidad de El Prodigio por su entusiasta participación y toda la colaboración brindada, en especial a la lideresa María Eugenia Osorio, así como a la Alcaldía del Municipio de San Luis y a los concejales por su incondicional apoyo. Un agradecimiento especial al párroco de El Prodigio, por su ayuda en la promoción de los eventos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arango, C.E. (2013). Identificación participativa del patrimonio arqueológico en el corregimiento El Prodigio - municipio de San Luis-Antioquia. Prospección Arqueológica.

Barrero, D.; Vesga, C. (1976). Mapa Geológico del Cuadrángulo K-9 (Armero) y parte sur del J-9 (La Dorada). Escala 1:100.000 INGEOMINAS. Bogotá. (publicación especial no seriada) [link]

Blasco, D.; Guia, J.; Prats, L. (2014). Heritage tourism clusters along the borders of Mexico. Journal of Heritage Tourism, 9(1), 51-67.

<https://doi.org/10.1080/1743873X.2013.862537> (artículo de revista)

Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. Geoheritage, 8(2), 119-134.

<https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3> (artículo de revista)

Brilha, J.; Gray, M.; Pereira, D. I.; Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. Environmental Science and Policy, 86, 19-28.

<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001> (artículo de revista)

Bonilla 2020. Gestión del patrimonio arqueológico del paisaje kárstico de río claro - oriente antioqueño, andes centrales colombianos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Universidad de Antioquia. Inédita.

Carcavilla, L.; López-Martínez, J.; Durán, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, España. (tesis) [link]

Castaño, C.; Dávila, C.L. (1984). Investigación arqueológica en el Magdalena Medio: sitios Colorados y Mayaca. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República, Bogotá, Colombia. (informe) [link]

Cossio, U.; Viana, R. (1986). Geología de la autopista Medellín - Bogotá entre el río Samaná Norte y Doradal. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. (tesis)

Dowling, R.K. (2011). Geotourism's global growth. Geoheritage, 3(1),

Feininger, T.; Barrero, D.; Castro, N. (1972). Geología de parte de los Departamentos de Antioquia y Caldas (Sub-zona II-B). Boletín Geológico, 20(2), 1-173. (artículo de revista) [link]

Flórez, F. (1998). Cuando el río suena: apuntes sobre la historia arqueológica del valle del río Magdalena. Revista de Antropología y Arqueología, Universidad de Los Andes, 10(1), 9-44 (artículo de revista) [link]

Fondo de Promoción Turística de Colombia (2012). Plan de desarrollo turístico de Antioquia. 383 p.

Fundación Natura. (1994). Estudio detallado del territorio de mármoles y calizas de manejo especial de la cuenca del Río Claro-Cocorna Sur / Cornare. Bogotá. 191 p, 1995 (informe técnico) [link]

Gómez, J.; Nivia, Á.; Montes, N.E.; Almanza, M.F.; Alcárcel, F.A.; Madrid, C.A. (2015). Notas explicativas: Mapa Geológico de Colombia. En: J. Gómez; M.F. Almanza (eds.). Compilando la geología de Colombia: una visión a 2015 (pp. 9-33). Servicio Geológico Colombiano. (libro) [link]

Gómez, A.; Gutiérrez M. 2018 inventario de bienes culturales arqueológicos en el corredor kárstico del corregimiento el prodigio, municipio de san Luis, Antioquia, Colombia. Universidad de Antioquia. Instituto de Cultura y Patrimonio de Antioquia. Informe inédito.

Henao, A.; Osorio, J.G. (2015). Inventario del patrimonio geológico de la reserva natural Cañón del Río Claro, Antioquia, Colombia: identificación, clasificación y valoración. En: A. Hilario; M. Mendiá; M. Monge-Ganuzas; E. Fernández; J. Vegas; A. Belmonte (eds.) Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos (pp. 173-178). Instituto Geológico y Minero de España. (capítulo de libro) [link]

Henao, A.; Osorio, J.G. (2016). Análisis de riesgos y potencialidades de la reserva natural Cañón del Río Claro como patrimonio geológico. Trabajo de Grado, Ingeniería Geológica Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Henao, A.; Osorio, J.; Hurtado, E. (2011). Propuesta para la divulgación del patrimonio geológico del departamento de Antioquia, Colombia. XIV Congreso Latinoamericano de Geología y XIII Congreso Colombiano de Geología. Medellín, Colombia. (memoria de evento)

Hernández-Camacho, J.; Hurtado A.; Ortiz, R.; Walschburger, T. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. En: I.G. Halffter (ed.). La Diversidad Biológica de Iberoamérica (pp. , 105-151). Acta Zoológica Mexicana, Instituto de Ecología. [link] (libro)

Hernández, B.; Vélez, H. (1988). Geomorfología de los mármoles de Río Claro (Departamento de Antioquia). Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. (tesis de grado)

Instituto Colombiano de Antropología e Historia ICANH, Medellín, Antioquia. (informe técnico) [link]

Li, H.; Qian, Z. (2017). Archaeological heritage tourism in China: the case of the Daming Palace from the tourists' perspective. Journal of Heritage Tourism, 12(4), 380-393.
<https://doi.org/10.1080/1743873X.2016.1208205> (artículo de revista)

Liebens, J. (1987). Estudio Geomorfológico del karst de Río Claro (Antioquia). Seminario Gerardo Botero Arango, Medellín, Colombia (trabajo publicado en memoria de evento) [link]
Martínez-Celis, D. (2015). Lineamientos para la gestión patrimonial de sitios con arte rupestre en Colombia. Como insumo para su apropiación social. Ministerio de Cultura. (libro) [link]
Ministerio de Minas y Energía (2018). Decreto 1353 del 31 de Julio de 2018. 21 p.

Municipio de San Luis. (2017). Nuestro Municipio. Recuperado el 30 de octubre de 2019.
<http://www.sanluis-antioquia.gov.co/territorios.shtml?apc=bbxx-2-&x=1504402>

Muñoz, D. P. (2011). Aprovechamiento hidroeléctrico del río Samaná Norte, proyecto Porvenir II: informe de prospección arqueológica. INTEGRAL. Municipio de San Luis. Informe presentado al Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). Licencia 1518 (informe técnico).

Ocampo, E. (2005). Caracterización petrográfica de los mármoles de Cementos Río Claro, sector sur, con miras a estudiar su potencial de uso, especialmente en la industria cementera y aumentar las reservas de materias primas de la empresa Cementos Río Claro S.A. Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. (tesis de grado) [link]

Organización Mundial del Turismo. (1998). Introducción al Turismo. (publicación en línea) [link]

Osorio, J.; Henao, A.; Rendón, A. (2015). Propuesta de ruta interpretativa del patrimonio geológico de la reserva natural Cañón del Río Claro, Antioquia – Colombia. En: A. Hilario; M. Mencia; M. Monge-Ganuzas; E. Fernández; J. Vegas; A. Belmonte (eds.) Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos (pp. 425-430). Instituto Geológico y Minero de España. (capítulo de libro) [link]

Pacífico, D.; Vogel, M. (2012). Archaeological sites, modern communities, and tourism. Annals of Tourism Research, 39(3), 1588-1611. **<https://doi.org/10.1016/j.annals.2012.04.002> (artículo de revista)**

Pino, J.; Forero, J. (2002). Ocupación humana y entorno natural en las cavernas del Río Alicante, Maceo – Puerto Berrío (Antioquia). Informe final. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. Medellín: CORANTIOQUIA. (informe técnico) [link]
Rodrigo-Sanz, A.; Lozano-Fernández, R.P.; Baeza-Chico, E. (2008). Talleres didácticos en el Museo Geominero (IGME, Madrid): Identificación de Fósiles, Minerales y Rocas. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16(1), 92-98. (artículo de revista) [link]

Ruchkys, U.A. (2007). Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. (tesis) [link]

Servicio Geológico Colombiano (2018). Resolución 732 de 2018. 13 p.

Tavera-Escobar, M.A.; Álvarez-Ramírez, D. (2019). Geoparques en Colombia: una estrategia para la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible - caso: Magdalena Medio antioqueño. Boletín de Geología, 41(2), 103-121.
<https://doi.org/10.18273/revbol.v41n2-2019006> (artículo de revista)

El Dorado y la Geografía de la guerra de Miguel Ángel Tavera

Daniel Hermelin

Departamento de Comunicación Social, Universidad EAFIT

El capítulo El Dorado es uno de los podcasts producidos por Miguel Ángel Tavera, en su proyecto de apropiación social del conocimiento Geografía de la Guerra, con el apoyo de Alejandra Lopera y la emisora-web “Acústica” de la Universidad EAFIT (Medellín, Colombia). Allí Miguel hace un análisis sobre el problema de la intervención social del territorio, con énfasis en la minería en Colombia. Se basa en una entrevista con el artista Jeison Sierra, oriundo del municipio de Zaragoza en el departamento de Antioquia y quien es de familia trabajadores/as de minas. Desde el inicio se muestra la preocupación por lo que hacen ciertas prácticas económicas y la ambición humana con la naturaleza, y se mencionan algunos hallazgos y logros recientes en relación con el Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, en la Amazonía colombiana, con miras a su conservación como patrimonio natural y cultural del país y del mundo. Jeison cuenta cómo fue la realización de una exposición suya sobre este parque y sus posibles vínculos con lo que ha pasado en algunas localidades de Antioquia, en las que se alteró el paisaje de forma difícilmente reversible. Con esto busca alertarnos sobre el desafío que implica la conservación de Chiribiquete. Al punto de recomendarnos que la mejor manera de conocer el parque es no visitarlo, salvo por Internet, y da una pista en relación con el turismo como otra actividad económica que merece incluirse aún más en la agenda de los temas ambientales.

Luego el episodio aborda lo que implica la explotación minera en Colombia y se hace énfasis en las subregiones del Bajo Cauca y del Nordeste en Antioquia, en especial en el municipio de Zaragoza. Este podcast pone en diálogo los conocimientos y la sensibilidad de Miguel con los de Jeison, ambos preocupados por los problemas ambientales y sociales de la minería extractiva en nuestro país, sobre todo la del oro. Se exponen aspectos para un debate vigente y que no siempre se ha dado con suficiente información ni con suficientes argumentos en pro y en contra; debate que ha aumentado en los últimos años en Colombia con el empoderamiento de las comunidades y grupos sociales, que en algunos casos han conseguido frenar proyectos extractivos, dadas las implicaciones contraproducentes en los ecosistemas que habitan y en sus tejidos sociales.

EPÍLOGO |

Una idea central de este **podcast** es esta: mientras quienes explotan las minas, legal o ilegalmente, están buscando el oro como se buscaba El Dorado en la época de la conquista española; para Miguel y para Jeison, El Dorado es nuestro entorno natural y nuestro paisaje; una idea simple pero abordada con toda profundidad. Miguel sugiere que el problema de la minería no es si se hace o no, sino cómo se hace, pues los minerales suelen ser esenciales en la vida de la gente. A lo que es preciso agregar que su requerimiento ha aumentado considerablemente con el crecimiento exponencial del uso de TIC's en el mundo y en particular en Colombia, pues sus dispositivos necesitan materiales compuestos por minerales. Una cosa sobre la que muchas personas, incluso las que defienden el ambientalismo de la forma más radical, a menudo no hablan, con lo que se evade una reflexividad cotidiana para asumir nuevas renuncias.

No obstante, la conversación de Miguel y Jeison se concentra en el deterioro ambiental y social que ha dejado buena parte de la explotación minera y sus repercusiones, algo inobjetable, en especial en muchas zonas del Bajo Cauca y del Nordeste Antioqueño. Hay una crítica al papel que allí han tenido empresas extranjeras, en especial las canadienses, en cuyo país de origen los sectores del poder parecen preocuparse por estos problemas en su propio suelo, pero no en el de los países periféricos donde tienen sus yacimientos. En el episodio se hace alusión a una posible exposición justamente en Canadá de la obra de Jeison, en especial de su trabajo “Peso contrapeso”, con el propósito de cuestionar las consecuencias de los intereses y la labor de tales empresas, a fin de involucrar a la opinión pública en la discusión.

Este podcast también plantea, por supuesto, asuntos que hacen parte del hilo conductor de todo el proyecto de Miguel, “Geografía de la Guerra”: la necesidad del análisis de la relación entre la geografía, la violencia y el conflicto armado en Colombia. Sin embargo, como nos lo advirtió él, de forma manifiesta y tácita, hace falta avanzar más en estudios y movilizaciones sociales en esta dirección, por ejemplo, en lo que concierne a la crítica sobre la relación entre la apropiación de los ecosistemas, los grupos armados ilegales y su presencia recurrente en muchos lugares donde la minería se ve atravesada por actividades del narcotráfico, lugares en los que el Estado es más débil.

Este fue uno de los muchos aportes que nos dejó Miguel en su corta y muy intensa vida, una vida comprometida, sin tregua, en causas como la de luchar a favor del respeto por el territorio, de su buen uso y de la gente marginada. Él era una persona que trabajaba apoyando sus esfuerzos encomiables con un talento y una capacidad de sorprenderse de nos dejó mucho para aprender. No serán suficientes los recuentos para abarcar el legado de Miguel y siempre se quedarán cortas las palabras para expresarle admiración por su vida y sus apuestas, que fueron muy numerosas. En los homenajes tras su fallecimiento, quedó claro que era inmensa la cantidad de organizaciones y de personas en las que él dejó huella. Hay que agradecerle siempre al destino por la hermosa vida de Miguel, y a su familia por estimularlo para que compartiera tanto con nosotros y por mantener vivo su recuerdo que nos acompaña en lo bello y en lo adverso.



GEOCONSERVACIÓN **EN COLOMBIA:**

Aproximaciones teórico-prácticas.