CUANTIFICACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA CUENCA DE LOS RÍOS BADILLO, GUATAPURÍ, MANAURE Y ESPÍRITU SANTO; PNNN SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (SNSM) Y SERRANÍA DEL PERIJÁ (SP).

Elaborado por:
Daniel Andrés Castañeda Molina
Manuela Valencia Jaramillo

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Geólogo

Directora:
María Isabel Marín Cerón, PhD.

Escuela de Ciencias
Departamento de Ciencias de la Tierra
Universidad EAFIT
Medellín, Colombia
2020

Prefacio

El presente trabajo de grado se realiza como respuesta a la necesidad sentida de gestionar de forma integral el patrimonio geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM)-Serranía del Perijá (SP), enmarcado en el macroproyecto: Cuantificación de la Geodiversidad de la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá con miras a la consolidación de los procesos de Gestión Integral del Patrimonio Geológico, liderado por María Isabel Marín-Cerón, al interior del grupo de investigación en Geología Ambiental y Sostenibilidad y su semillero de Geología Regional y Geoquímica, línea de profundización en Geoconservación. Se presenta en forma de manuscrito para ser sometido al Boletín de Geología de la UIS. Adicionalmente, se adjunta como material anexo: la base de datos asociados y el SIG estructurado para el cálculo de la geodiversidad.

El PNN SNSM y SP, conforman el territorio montañoso litoral más alto del mundo. La SNSM, es una unidad fisiográfica independiente de la Cordillera de los Andes, mientras que la SP hace parte de la unidad fisiográfica Cordillera Oriental. Ambas, unidades hacen parte del llamado bloque Maracaibo (sensu Cediel, 2019), de gran importancia geológica ya que se caracteriza por presentar un basamento granulítico Precámbrico, cinturones metamórficos del Paleozoico y Cenozoico, en su mayor parte afectado por plutones del arco Jurásico y Cenozoico, y sedimentación Cretácica (p.e. Cediel et al., 2003; Cediel, 2019). Por su ubicación estratégica, la SNSM y SP son reguladores climáticos, en el que se presentan zonas de vida que van desde el Bosque seco Tropical hasta la zona nival, lo que propicia una amplia diversidad biológica (Holdridge,1965). Investigaciones de tipo cuantitativo en los sistemas naturales, permitirán el desarrollo de inventarios geológicos, la cuantificación de la geodiversidad y del patrimonio geológico de la región Caribe, apoyando la generación de nuevas líneas de investigación hacia la geoconservación enmarcados en ecosistemas inteligentes que apliquen modelamiento e Inteligencia artificial, para la toma de decisiones sobre el territorio que tengan en cuenta hacia el futuro los procesos participativos donde se involucre la comunidad científica, la sociedad civil e instituciones del estado, hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, con Educación de calidad, Acciones por el clima e Igualdad de género.

A partir de las características geológicas, geomorfológicas y morfoclimáticas (siguiendo la metodología propuesta por Benito-Calvo et al., 2009), este proyecto busca generar un mapa resultante de geodiversidad, el cual permita visualizar la importancia de la zona de estudio, respecto al valor abiótico. Los valores del índice de geodiversidad se asignaron teniendo en cuenta la belleza paisajística, unidades con fragilidad a la degradación, riqueza hídrica y evolución geológica de la cuenca Cesar-Ranchería, teniendo como fin generar una primera aproximación de la importancia de la zona de estudio en cuestión, para finalmente presentar un insumo inicial

para la postulación de La Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía Del Perijá como geoparques nacionales, por medio del SGC y la UNESCO; esta a su vez se convierte en una importante herramienta para la gestión integral del patrimonio geológico en la región del Caribe colombiano. Adicionalmente, los resultados obtenidos ofrecerán información valiosa que servirá como base para la toma de decisiones de diversos campos científicos; como el mapeo del uso del suelo, evaluación del patrimonio geológico de una región, planificar la gestión de recursos naturales y la gestión ambiental.

Agradecimientos

"Quiero empezar agradeciendo a Dios, cada día me convencí de que "*todo llega en su debido momento, porque cuando las cosas son nuestras no hay tormenta que las detenga o miedo que las aleje"* R.C., en segundo lugar, a mi familia, siempre creyeron en mí, y en especial a mi mamá, mi hermanita, mi tito, mi papá (G) y mi mejor amiga, un día lo soñaron conmigo y hoy lo logramos! y por ultimo a mis amigos y profesores por su sabiduría, amor y apoyo, en especial a María por esta oportunidad tan única y maravillosa. Finalmente, debo agregar que esta debe ser una de las satisfacciones más grandes de la vida, tener la certeza de que los sueños no tienen límites, todo es posible con disciplina y amor."

-MVJ.

"Somos lo que somos no por lo que decimos, si no por lo que hacemos; el poder de una idea revolucionaria comienza como una pequeña llama que se expande hasta romper sus límites, por eso vive una vida que puedas recordar, siempre feliz siempre con propósito" D.C., Gracias infinitas a mis turbinas de impulso, mis tres mamás (M, N, L) y a mis hermanas (M. I, M.C) por su apoyo y enseñarme el valor de la resiliencia y lo inquebrantable; y por ultimo pero no menos importante a mi papa (M.C.) que con su estricta filosofía de vida forjo mi carácter y lo templo al punto de lo que soy hoy, con mucha alegría hoy digo lo logramos , mi éxito es su éxito y su apoyo para mí es el combustible de mi sinergia, los amo."

-DCM

CUANTIFICACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA CUENCA DE LOS RÍOS BADILLO, GUATAPURÍ, MANAURE Y ESPÍRITU SANTO; PNNN SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (SNSM) Y SERRANÍA DEL PERIJÁ (SP)

Manuela Valencia-Jaramillo, Daniel Andrés Castañeda Molina, María Isabel Marín-Cerón
mvalen29@eafit.edu.co, dcasta32@eafit.edu.co , mmarince@eafit.edu.co

Como citar: Valencia-Jaramillo M., Castañeda D. y Marín-Cerón M. (2020). Cuantificación de la geodiversidad en la cuenca de los ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo, PNN Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y Serranía del Perijá (SP).

RESUMEN

La geodiversidad junto con la biodiversidad son dos factores que permiten el equilibrio ecosistémico de la tierra, siendo de vital importancia generar estudios que brinden información para mejorar el entendimiento de los procesos físicos que actúan en la corteza y proporcionar mayor eficacia respecto a la toma de decisiones y planificación de la gestión de los recursos naturales o asignar áreas de conservación y/o patrimonio geológico. En la zona caribe de Colombia, se ubica el bloque Maracaibo el cual es parte fundamental de la formación estructural del país además de actuar como una microplaca continental autóctona y revelar procesos que han tenido influencia en el pasado respecto a la neotectónica; dentro de este bloque se encuentra la cuenca Cesar-Ranchería, la cual es de gran importancia económica y ambiental para el país; en ella se localizan dos orógenos: SNSM y SP, los cuales representan una extensa parte del área de la región y cuentan con una gran variedad de recursos económicos como: oro, agua, fauna, flora, entre otros; toda esta diversidad está directamente influenciada por la variedad de pisos térmicos que ambos orógenos presentan. Es importante destacar, que estas unidades fisiográficas son consideradas como territorio patrimonial sagrado de los indígenas que lo habitan. Dentro la SNSM y SP se presentan cuatro cuencas hidrográficas: ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo, las cuales hídricamente son de vital importancia para los departamentos que abastecen, además de ser hábitat de muchas especies de flora y fauna endémicas de Colombia y el mundo. El propósito fundamental de este trabajo reside en generar una divulgación científica que despierte el interés en la conservación y preservación del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad de la región, estimulando y fomentando el aprendizaje por medio del fortalecimiento de parques naturales y zonas protegidas, los cuales permitan un mejor desarrollo educativo, social, económico, ambiental, entre otros, integrando cada ente que compone el sistema.

Palabras clave: geodiversidad; geoconservación; SNSM; SP; Badillo; Manaure; Espíritu Santo; Guatapurí.

QUANTIFICATION OF GEODIVERSITY IN THE BADILLO, GUATAPURÍ, MANAURE AND ESPIRITU SANTO RIVER BASIN; PNNN SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (SNSM) AND SERRANÍA DEL PERIJÁ (SP).

ABSTRACT

Geodiversity together with biodiversity are two factors that allow the ecosystem balance of the earth, being of vital importance to generate studies that provide information to improve the understanding of the physical processes that act in the crust and provide greater efficiency regarding decision-making and planning the management of natural resources or assigning conservation areas and / or geological heritage. In the Caribbean zone of Colombia, the Maracaibo block is located, which is a fundamental part of the structural formation of the country in addition to acting as an autochthonous continental microplate and revealing processes that have had an influence in the past with respect to neotectonics; Within this block is the Cesar-Ranchería basin, which is of great economic and environmental importance for the country; Two orogens are located there: SNSM and SP, which represent a large part of the region's area and have a great variety of economic resources such as: gold, water, fauna, flora, among others; all this diversity is directly influenced by the variety of thermal levels that both orogens present. It is important to highlight that these physiographic units are considered as sacred heritage territory of the indigenous people who inhabit it. Within the SNSM and SP there are four hydrographic basins: Badillo, Guatapurí, Manaure and Espíritu Santo rivers, which are of vital importance for the departments that supply water, as well as being the habitat of many species of flora and fauna endemic to Colombia and the world. The fundamental purpose of this work is to generate scientific dissemination that awakens interest in the conservation and preservation of the Geological Heritage and Geodiversity of the region, stimulating and promoting learning through the strengthening of natural parks and protected areas, which allow better educational, social, economic, environmental development, among others, integrating each entity that makes up the system.

Keywords: geodiversity; geoconservation; SNSM; SP; Badillo; Manaure; Espíritu Santo; Guatapurí.

Contenido

1. Introducción 11
2. Marco conceptual, normativo e institucional 12
2.1. Geodiversidad y conceptos afines 13
2.2. Marco Normativo e Institucional Colombiano 15
2.3. Geodiversidad y objetivos de desarrollo sostenible (Geoparque) 19
3. Descripción de la zona de estudio 20
3.1. Marco Geodinámico del Bloque Maracaibo 20
3.2. PNN Sierra Nevada de Santa Marta 23
3.2.1. Cuenca río Guatapurí 25
3.2.2. cuenca río Badillo 26
3.3. PNN Serranía del Perijá 26
3.3.1. Cuenca río Manaure 29
3.3.2. Cuenca río Espíritu Santo 29
4. Metodología y conjuntos de datos 29
4.1. Conformación base de datos: 30
4.2. Clasificación de factores geomorfológicos, geológicos, morfoclimáticos y cálculo de la geodiversidad 33
4.2.1. Clasificación Geomorfológica 34
4.2.2. Clasificación Geológica 34
4.2.3. Clasificación Morfoclimática 35
4.2.4. Cálculo de la geodiversidad 35
5. Resultados 36
5.1. Base de datos e Inventario de sitios de interés 36
5.2. Clasificación Geomorfológica 47
5.3. Clasificación Geológica 49
5.4. Clasificación Morfoclimática 53
5.5. Cálculo de la geodiversidad 57
6. Discusión 59
6.1. Análisis de la resolución de la geodiversidad 60
6.2. Valor Cultural vs Valor Socioeconómico 61
7. Conclusiones 65
8. Recomendaciones 67

9. Referencias..... 67
10. Anexos..... 70

Tablas

Tabla 1. Normatividad vigente en los PNN Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá 19
Tabla 2.Metodología para el inventario de Puntos de Interés Geológico y ajustado a la singularidad de las cuencas de la zona de estudio tomado de (Carcavilla et al, 2007)..... 33
Tabla 3.Lista de geomorfositios finales PNN SNSM y SP 47
Tabla 4. Reclasificación Geomorfológica cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo. 48
Tabla 5.Tabla reclasificación geología cuenca ríos Badillo y Guatapurí 51
Tabla 6.Tabla reclasificación geología cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo 52
Tabla 7. Reclasificación zonas de vida de Holdridge cuenca ríos Badillo y Guatapurí. 55
Tabla 8. Clasificación zonas de vida de Holdridge cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo 56
Tabla 9.Asignación de valores de pesos y reclasificación del mapa de geodiversidad a partir de lo visto en (NAJWER A., 2016) para las cuencas del rio Badillo, Espíritu Santo, Manaure y Guatapurí. 58

Ilustraciones

Ilustración 1. Ruta metodológica para la declaratoria y formulación de planes de manejo ambiental en áreas protegidas (CORPOCESAR, 2009). 16
Ilustración 2. Localización bloque Maracaibo, SNSM y SP (Cediel F. & Shaw R., 2019) 21
Ilustración 3. Bloque diagrama e interpretación cinemática entre los bloques (Cediel & Shaw, 2019). 22
Ilustración 4. Mapa de localización cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo. . 23
Ilustración 5. Flujograma metodológico para la elaboración de los mapas 30
Ilustración 6. Flujograma metodológico elaboración base de datos e inventario puntos de interés (Carcavilla, Lopez-Martinez, & Duran, 2007). 32
Ilustración 7.Mapa de localización de sitios de interés para cada una de las cuencas, elaboración propia a partir de ArcGis y datos del IGAC. 37
Ilustración 8. Flujograma metodológico clasificación Geomorfológica 48
Ilustración 9. Mapa Geomorfológico cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo. 49
Ilustración 10. Flujograma metodológico clasificación Geológica 50
Ilustración 11.Mapa Geológico Cuenca río Badillo y río Guatapurí. 52
Ilustración 12.Mapa Geológico Cuenca río Manaure y río Espíritu Santo 53
Ilustración 13.Flujograma metodológico clasificación Morfoclimática 54
Ilustración 14. Mapas temperatura y precipitación cuenca ríos Badillo y Guatapurí 55
Ilustración 15.Mapa Morfoclimático cuenca ríos Badillo y Guatapurí. 55
Ilustración 16.Mapas temperatura y precipitación cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo 56
Ilustración 17.Mapa Morfoclimático Cuenca río Manaure y río Espíritu Santo 56
Ilustración 18.Flujograma metodológico para el cálculo de la geodiversidad. 58
Ilustración 19.Mapa Geodiversidad cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo. 59
Ilustración 20.Mapas de Geodiversidad reclasificados por método de superposición de pesos y Natural Breaks 61
Ilustración 21.Mapa Geodiversidad. Valor cultural VS valor socioeconómico 64
Ilustración 22.Evolución Tectonoestratigráfica cuenca Cesar-Ranchería 65

1. Introducción

Los factores físicos que actúan sobre la superficie de la tierra son los encargados del modelamiento de la topografía, y por medio de los análisis de las geoformas resultantes es posible generar un conocimiento sobre los procesos involucrados en la historia del modelamiento del paisaje a través del tiempo (Benito-Calvo, Perez-Gonzales, Magri, & Mesa, 2009). El concepto de "geodiversidad" se introdujo 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, también se deberían estudiar los componentes de la geosfera que son de carácter abiótico (litosfera, hidrosfera, etc.) siendo estos diversos en nuestro planeta, y conservando gran cantidad del registro evolutivo de este. La palabra "geodiversidad" fue acuñada de forma independiente por varios geocientíficos, por ejemplo, (Sharples, 1993) y (Wiedenbein, 1993). Autores como (Nieto, 2001), definen el término como "*el número y variedad de estructuras sedimentarias, tectónicas, materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y suelos) que constituyen el sustrato de una región, sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica"*. Entre varias definiciones más se cuenta la de la "International Association of Geomorphologists" (2003), que define geodiversidad como: *"la variedad de ambientes geológicos y geomorfológicos considerados como la base para la diversidad biológica en la Tierra"* (Carcavilla, Duran, & Lopez-Martinez, 2008).

La teoría de la geodiversidad, sus valores y su aplicación a la geoconservación se exploran más a fondo por (Gray M. , 2013) quien también analiza las críticas al uso de la palabra y el concepto. Actualmente, el concepto de "geodiversidad" corresponde al equivalente abiótico de la biodiversidad, el cual describe la variedad de características y procesos geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos (Gray M. , 2018). En cuanto al término de Patrimonio geológico, son aquellas partes de la "Geodiversidad identificada" de la Tierra que se consideran dignas de conservación debido a su importancia y/o valor permitiendo identificar los elementos específicos de la geodiversidad que se seleccionan para la geoconservación (Brilha J. , 2018). El carácter amplio del término permite correlacionar la geodiversidad como un fenómeno que beneficia a la sociedad, al proporcionar una gran cantidad de bienes y servicios (servicios de geosistemas o servicios de ecosistemas abióticos) de los que depende el bienestar humano y la prosperidad, convirtiéndolo en la columna vertebral del patrimonio geológico, la geoconservación y, de hecho, parte de la propia sociedad moderna (Gray M. , 2018).

Diferentes metodologías se han adaptado alrededor del mundo para el estudio y cuantificación de la Geodiversidad, la base de estas cuantificaciones radica en que tan competente es la metodología para procesar, clasificar y consolidar tanto las variables del terreno como las

métricas del paisaje según lo mencionado por (Benito-Calvo, Perez-Gonzales, Magri, & Mesa, 2009); (Argyriou, Teeuw, & Apostolos , 2017). Además, la metodología aplicada a este trabajo es una de análisis heurístico que tendrá calibraciones en el tiempo para un mejor ajuste al área que se desee estudiar.

Los mapas de cuantificación son un recurso bastante útil a la hora mejorar la comprensión de procesos físicos que han controlado la evolución del paisaje, además de brindar información que pueda ser necesaria para la toma de decisiones y gestiones de carácter ambiental, entre otros (Argyriou, Teeuw, & Apostolos , 2017). Se pueden abordar casos particulares que son pioneros y vanguardistas en el uso de SIG para la cuantificación de la Geodiversidad y siguiendo la propuesta de un análisis estadístico como una herramienta cuantitativa acertada, junto con una interpretación cualitativa objetiva según lo descrito por (Zwoliński, Najwer, & Giardino, 2018).

El interés en el Patrimonio Geológico y la Geodiversidad sobrepasa muchas veces el aspecto geológico y científico convirtiéndose en un importante recurso didáctico con importancia cultural y lejos de ser algo teórico, posee una notable aplicación e incluso un aprovechamiento potencial que hace que pueda servir como motor de desarrollo socioeconómico local (Carcavilla, Lopez-Martinez, & Duran, 2007). Finalmente, la metodología de (Benito-Calvo, Perez-Gonzales, Magri, & Mesa, 2009) presentada para la cuantificación de la geodiversidad en este estudio puede ser útil para las personas responsables de tomar decisiones sobre el territorio y para la evaluación del patrimonio geológico de la región, planificación del manejo de los recursos naturales o designar áreas de conservación basado en datos reales. Teniendo en cuenta este contexto, el presente proyecto estudia la cuantificación de la geodiversidad de las subcuencas hidrográficas de los ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo, localizadas en la cuenca Cesar-Ranchería, bloque Maracaibo, entre los Parques Nacionales Naturales Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y Serranía del Perijá (SP), basado en el análisis de factores geomorfométricos, geológicos y morfoclimáticos con miras al manejo integral del patrimonio geológico y fines hacia la geoconservación y geopreservación de La Tierra.

2. Marco conceptual, normativo e institucional

En Colombia, diversas iniciativas en las últimas décadas (p.e. Cárdenas y Restrepo, 2006; Jaramillo et al. 2013; Molina y Mercado, 2003; Torres-Herrera y Molina-Escobar, 2012), ilustran un creciente interés entre la comunidad geocientífica para el conocimiento del patrimonio geológico, los cuales influyen acercamientos iniciales a sitios que podrían ser susceptibles de valoración, hasta inventarios y metodologías adaptadas a las condiciones científicas, académicas y socioculturales de Colombia (p.e. Colegial et al. 2002; Rendón-Rivera et al. 2013; 2017); de igual

manera otros autores, incluso, han ido más allá con propuestas de aprovechamiento del patrimonio geológico de Colombia a través del geoturismo (Gelvez-Chaparro, Barajas-Rangel, Herrera-Ruiz, & Ríos-Reyes, 2020); (Ríos-Reyes et al., 2018); (Sánchez-Botello, y otros, 2018); (Tavera, Estrada, Errázuriz, & Hermelin, 2017).

Estudios detallados en la Parque Nacional Natural Los Nevados (PNNN) profundizan en la valoración de la geodiversidad vulcano-glaciar del mismo (Tavera, Estrada, Errázuriz, & Hermelin, 2017), mediante la implementación de una metodología patrimonial con cinco ejes de acción: geopatrimonio, conocimiento del valor científico y cultural, inventario de geositios, estimación de la importancia y divulgación. En este estudio, se utiliza la noción de patrimonio como una asociación a las producciones humanas, manifestaciones culturales, bienes de una familia, etc., que al agregarse el término "geológico" conduce inmediatamente a una relación natural, un componente visual que refleja paisajes de rocas, cordilleras, desiertos y nevados. Sin embargo, la configuración tectónica y climática de Colombia, lo hacen un país geo-bio-diverso, producto de los distintos procesos de la evolución de la Tierra desde el Precámbrico (Cediel F. e., 2019), los mismos procesos que han logrado levantar y modelar los Andes, un complejo de cordilleras con nieves perpetuas dentro de un sistema climático tropical y un volcanismo activo. A pesar de esto, zonas como la región Caribe, con diversidad de paisajes tan contrastantes como la Sierra Nevada de Santa Marta, Parque Tayrona, Serranía del Perijá, Península de la Guajira, Serranía de la Macuira, todos protegidos con la Figura de Parques Nacionales Naturales, no cuenta con ningún tipo de valoración de su patrimonio geológico siendo esta la principal característica responsable de su biodiversidad.

2.1. Geodiversidad y conceptos afines

La geodiversidad, es entendida como la diversidad geológica y geomorfológica, siendo un factor natural importante que condiciona la diversidad biológica, cultural y del paisaje, además de ser un parámetro importante en la evaluación y gestión de las áreas naturales. En la actualidad existen muchas definiciones acertadas de los siguientes términos, por esta razón las siguientes definiciones están enfocadas a dar claridad en un contexto más social y pedagógico que académico, sin perder el peso de la rigurosidad científica en su análisis y descripción. El término geodiversidad es una abreviación de diversidad geológica y se refiere a la variedad de ambientes, fenómenos y procesos activos generadores de paisajes, rocas, minerales, fósiles, suelos y otros depósitos superficiales que constituyen la base de la vida en la Tierra. Si consideramos los registros de la historia de la Tierra como piezas de un gigantesco rompecabezas, que no siempre son fáciles de encontrar y de encajar, cuantas más piezas de este rompecabezas tenga una región, más geodiversidad tendrá. Adicionalmente, dicho término guarda cierta relación con otros aspectos del territorio, como la geografía, el paisaje, las características climáticas e incluso

aspectos culturales y económicos. Sin embargo, el estudio de la geodiversidad se limita a analizar aspectos estrictamente geológicos (elementos abióticos naturales) y consiste en examinar la variedad, número y distribución de elementos geológicos presentes en una zona y la relación que muestran entre ellos. Esta, puede medirse con indicadores cuantitativos de carácter objetivo basados en el cálculo del número y variedad de elementos geológicos presentes en un lugar mediante el uso de la geoestadística y el uso de herramientas SIG. Estos estudios consideran, por ejemplo, la diversidad de formas del relieve (elementos geomorfológicos) o de fósiles (elementos paleontológicos) como parte integrante en el análisis (Wimbledon, 2012).

Aunque son conceptos diferentes, el término “geodiversidad” guarda relación con el “patrimonio geológico”, ya que mientras el primero se refiere a la variedad de elementos, el segundo se refiere al valor de estos. Según lo dicho por (Wimbledon, 2012) el patrimonio geológico es el conjunto de elementos de la geodiversidad que se destacan fundamentalmente debido a su interés científico y/o didáctico, y que por lo tanto deben ser protegidos. Siendo parte integral del patrimonio natural, este comprende los lugares y objetos especiales que juegan un rol determinante en el entendimiento de la historia de la Tierra, proporcionando una visión especial de la evolución del planeta durante los últimos 4.5 billones de años. Por consiguiente, este patrimonio está formado por todos aquellos enclaves relevantes para cualquier disciplina de la geología, como la geomorfología, estratigrafía, petrología, mineralogía, paleontología, tectónica, hidrogeología, geología ambiental, entre otras. Debido a esto, es frecuente que se realicen estudios temáticos, utilizándose términos como patrimonio mineralógico, geomorfológico, paleontológico, etc. Por otro lado, el patrimonio geológico consta de una parte objetiva que no cambia (los elementos que lo integran) y una parte subjetiva que sí puede cambiar (el valor de dichos elementos). Para la valoración del patrimonio, se suelen tener en consideración tres aspectos fundamentales: valor intrínseco, potencialidad de uso y riesgo de degradación (Wimbledon, 2012).

Se conoce como Geositios o Punto de Interés Geológico (PIG´s) a los bienes de interés geológico o paleontológico que individualmente, o en conjunto, no sólo son relevantes desde el punto de vista patrimonial de la nación, sino como parte del patrimonio natural de la humanidad. Antes de que un lugar se convierta en un Geositio, este es llamado punto de interés geológico (PIG) en su fase de reconocimiento y protección del patrimonio. Por lo tanto, los geositios constituyen por excelencia los geotopos (segmento o porción espacial claramente delimitada de la geósfera) de interés científico mundial que permiten el estudio multidisciplinario de eventos y procesos geológicos propios de la historia del planeta; o que conforman los registros que permiten la correlación mundial de los mismos (Wimbledon, 2012).

Todos estos geositios se priorizan para buscar su geoconservación siendo este el conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación o restauración) del patrimonio geológico, basándose para ello en el análisis de su valor intrínseco, vulnerabilidad y riesgo de degradación. La geoconservación presenta ciertos matices particulares en comparación con la conservación de otros elementos naturales, ya que la mayoría de los lugares de alto valor geológico presentan recursos no-renovables, por lo que su destrucción causa daños irreversibles; por ello, resulta importante adoptar medidas de conservación del patrimonio geológico, con base en el conocimiento del valor de los lugares a conservar, sus características intrínsecas, su fragilidad, los procesos genéticos que intervinieron, la evaluación de las amenazas presentes o potenciales de degradación y su posible evolución en el futuro. Para lograr este objetivo es importante contar con herramientas científicas, educativas, divulgativas y de planeación, entre otras (Wimbledon, 2012); asimismo, la geoconservación no sólo busca evitar la destrucción de elementos geológicos singulares, sino también prevenir, corregir o minimizar las afecciones que puedan sufrir. De igual manera, en el caso de estar sujetos a la acción de algún proceso geológico activo, busca asegurar el mantenimiento del curso natural de los procesos y permitir su evolución; también abarca la preservación de los valores culturales, estéticos, paisajísticos, etc., relacionados con el patrimonio geológico, así como sus aplicaciones turísticas, recreativas y económicas. Basado en esto, la geoconservación no debe concentrarse de una manera aislada contemplando sólo aspectos científicos, sino intentando conjugar otros aspectos dentro de un enfoque multidisciplinar, con el objetivo final de conservar el patrimonio geológico.

2.2. Marco Normativo e Institucional Colombiano

La constitución nacional colombiana reconoce la relevancia de la conservación del medio ambiente como medio efectivo para garantizar la calidad en las condiciones de vida de los ciudadanos, por lo cual ha consagrado el derecho a un medio ambiente sano como un derecho de rango constitucional y delegó al Estado la responsabilidad de velar por la conservación del medio ambiente y garantizar la protección de los bienes y riquezas ecológicas y naturales necesarias para propender por un desarrollo sostenible en pro de la conservación del medio ambiente.

Las disposiciones políticas y normativas ambientales y territoriales, como las derivadas del decreto Nacional 3600 de 2007 "*por la cual se reglamentan las disposiciones de las leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones*", donde se incorporan en el ordenamiento territorial la prioridad fundamental de la conservación de la Estructura Ecológica Principal, que puede asociarse con los sistemas

estructurantes naturales, ecosistémicos y áreas protegidas, entre otras áreas que por su rol estratégico dentro del Plan de ordenamiento, deberán señalarse las medidas para garantizar su protección, conservación y preservación. Dentro de esta categoría se incluyen las establecidas por la legislación vigente tales como las áreas del sistema nacional de áreas protegidas, las áreas de reserva forestal, las áreas de manejo especial y las áreas de especial importancia ecosistémica tales como páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hídricas, humedales, reservas de fauna y flora, entre otras (CORPOCESAR, 2009). La Ilustración 1, resume la ruta metodológica para la declaratoria y planes de manejo ambiental en áreas protegidas.

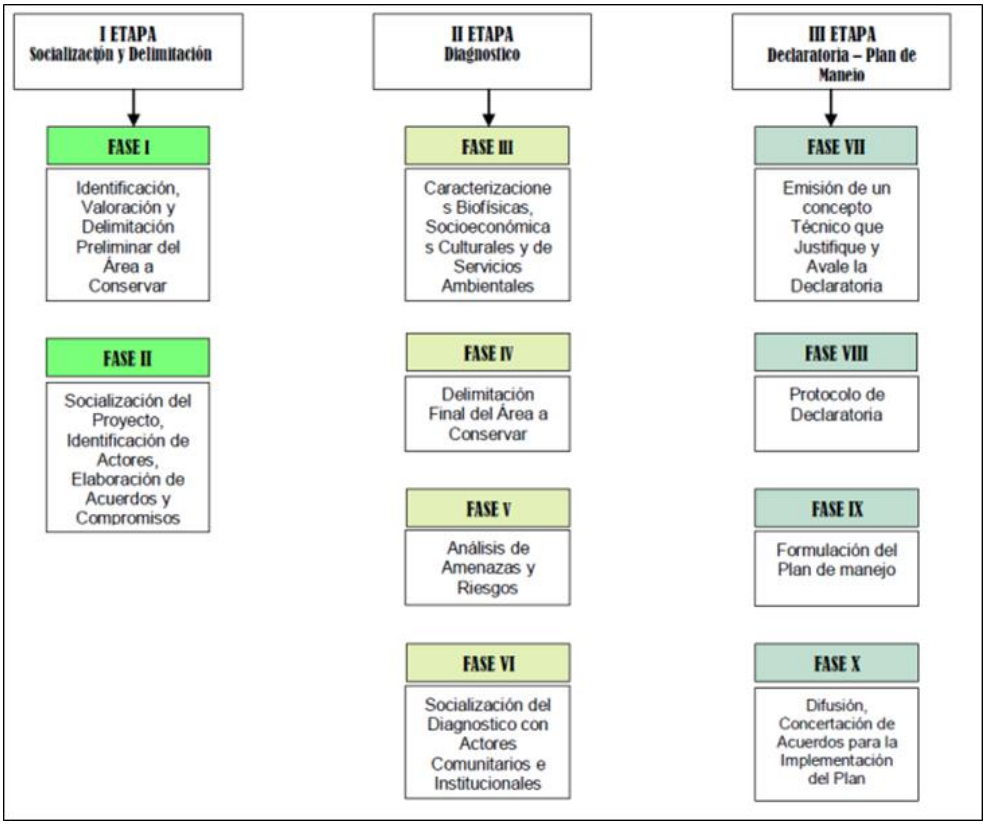


Ilustración 1. Ruta metodológica para la declaratoria y formulación de planes de manejo ambiental en áreas protegidas (CORPOCESAR, 2009).

La definición espacial de la estructura ecológica principal implica, en primer lugar, establecer unas áreas delimitadas y caracterizadas que contengan los principales elementos naturales que determinen la oferta ambiental del territorio. El marco jurídico general, sobre el cual se rige la declaratoria de áreas protegidas públicas están dadas por las siguientes normativas:

(1) Decreto 2811 de 1974**.** Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales y de protección al medio ambiente; (2) Decreto 877 de 1976. Por el cual se señalan prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de

permisos y concesiones y se dictan otras disposiciones; (3) Ley 99 de 1993**.** Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones; (4) Resolución 0839 de 2003. Por la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Estudio sobre el Estado Actual de Páramos y del Plan de Manejo Ambiental de los Páramos; (5) Decreto 2372 de 2010. Por el cual se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones en su capítulo IV. La declaratoria de áreas protegidas, artículos, decretos, leyes y resoluciones están enmarcados en la página de MinAmbiente y soportado en la Constitución Colombiana.

En julio de 2018, el presidente de Colombia confirió el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política y el artículo 60 de la Ley 397 de 1997 modificado por el artículo 30 de la Ley 1185 de 2008, adoptando una serie de regulaciones que permitan garantizar la protección del patrimonio geológico y paleontológico, donde patrimonio geológico hace referencia a la unión de lugares geológicos que presentan valores propios de naturaleza patrimonial, además de características educativas, culturales y /o científicas, las cuales facilitan el estudio, conocimiento e interpretación de todos los procesos físicos que han tenido influencia en el origen y evolución de la tierra en el pasado, presente y posiblemente en el futuro; y el patrimonio paleontológico al conjunto de restos de organismos que se han conservado en el registro geológico y presentan un valor cultural, científico y/o educativo (Minenergía, 2018). Una zona de protección patrimonial paleontológica y geológica es definida como un área protegida con presencia de cualidades patrimoniales para la región, además de ser considerada como parte constitutiva del patrimonio de la Nación (Minenergía, 2018). Para declarar una zona de protección patrimonial geológica y/o paleontológica se deberá cumplir con lo estipulado en el artículo 288 de la Constitución Política Colombiana, en concordancia con el artículo 2.2.5.10.7 del mismo Decreto.

El Servicio Geológico Colombiano es el encargado de realizar las gestiones pertinentes para la creación, manejo y constante actualización del Inventario Nacional Geológico y Paleontológico, la cual puede realizarse en conjunto con la colaboración de universidad e instituciones científicas aliadas. Es importante resaltar que aquellas universidades colombianas aliadas que cuenten con acreditación del Ministerio de Educación Nacional de los programas: geología, ingeniería geológica, geociencias y/o biología y los centros de investigación geológica y/o paleontológica acreditados por Colciencias, podrán poseer colecciones de dichos bienes bajo su responsabilidad con el fin de generar óptimas condiciones de preservación y disponibilidad del material con fines científicos. En cualquier actividad de extracción de recursos naturales energéticos, infraestructuras viales y de obras civiles o de cualquier parecido, quedan a salvo los derechos de

la Nación sobre los posibles bienes de interés geológico y/o paleontológico que puedan hallarse en el territorio nacional (Minenergía, 2018).

La normatividad del SGC ha adoptado las regulaciones impuestas por el Estado Colombiano, dentro de las cuales se encuentran las siguientes normativas: Ley 163 de 1959, Ley 36 de 1963, Decreto 264 de 1963, Convención para prohibir e impedir la exportación y la transferencia de propiedades ilícitas de bienes culturales, convención sobre la protección del patrimonio mundial cultural y natural, ley 45 de 1983, ley 63 de 1986, constitución política de Colombia 1991-artículos 8, 63 y 72, Convenio de UNIDROIT sobre los bienes culturales robados o exportados ilícitamente, Ley 397 de 1997, Ley 1185 de 2008, Decreto 4131 de 2011, Decreto 2703 de 2013, Plan Estratégico del Conocimiento Geológico del Territorio colombiano 2014-2023, decreto 1080 de 2015, Decreto 1464 de 2016, Ley 1801 de 2016, Convenio de Cooperación 2990-01-2017 y Resolución D-335 del 18 de agosto de 2017 (SGC, 2020). La tabla 1, resume las resoluciones existentes entorno a los PNN Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá. Como se puede observar, hasta el momento nada se ha trabajado en torno al patrimonio geológico y/o paleontológico, en una región única como lo es la SNNSM y la SP.

PNNSNSM	PNNSP
Resolución 191 de 31 de agosto de 1964. Por la cual se reservan y declaran Parques Nacionales Naturales, tres sectores de tierras baldías en el Departamento del Magdalena.	Acuerdo 030 del 23 de diciembre de 2011. Por el cual se declara el Distrito de Manejo Integrado Serranía de Perijá, ubicado en jurisdicción de los municipios de Barrancas, Fonseca y San Juan del Cesar, departamento de La Guajira y se adoptan otras medidas para su administración y manejo.
Resolución 230 de 19 de agosto de 1971. Por la cual se aprueba un acuerdo de la Junta Directiva del Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables INDERENA / Por el cual se delimita el área del Parque Nacional Natural Sierra Nevada.	Acuerdo 0329 del 27 de marzo de 2012**.** Por medio de la cual se incorporan los predios que hacen parte del Distrito de Manejo Integrado Serranía de Perijá, ubicado en jurisdicción de los municipios de Barrancas, Fonseca y San Juan del Cesar, Departamento de La Guajira y se adoptan otras medidas para su administración y manejo.
Acuerdo 025 de mayo 2 de 1977**.** Por el cual se modifican los límites del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta en los Departamentos de Magdalena, Guajira y Cesar.	Resolución 1628 de 2015. Por la cual se declaran y delimitan unas zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente para los siguientes sitios; Serranía de San Lucas, el bosque seco del Patía, las sabanas y humedales de Arauca, la serranía del Perijá, la selva húmeda del Cumaribo y El alto Manacacías, además de otras determinaciones**.**
Resolución 164 de junio 6 de 1977. Por la cual se aprueba el acuerdo 0025 del 02 de mayo de 1977, originario de la Junta Directiva del Instituto de los	Acuerdo 021 del 16 de diciembre de 2016. Por medio del cual se reserva, delimita, alindera y declara el Parque Natural Regional Serranía de Perijá localizado

Recursos Naturales Renovables y del Ambiente – INDERENA.	en el Departamento del Cesar en jurisdicción de CORPOCESAR.
Resolución 0621 del 09 de julio del 2002. Por la cual se establecen lineamientos que deben incorporarse a los procesos de planificación y gestión ambiental de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR), la Corporación Autónoma Regional de la Guajira (CORPOGUAJIRA) y la Corporación Regional del Magdalena (CORPOMAG) en la Sierra Nevada de Santa Marta.	Acuerdo 032 del 22 de diciembre del 2016. Por medio del cual se reserva, delimita, alindera y declara el Parque Natural Regional Cerro Pintao - Serranía del Perijá en jurisdicción de CORPOGUAJIRA.
Resolución 0001 del 22 de abril del 2005. Por medio de la cual se declara de manera conjunta en ordenación la cuenca hidrográfica del río Guatapurí y se dictan otras disposiciones.	
Resolución No. 085 del 8 de marzo del 2007. Por la cual se adopta el plan de Manejo del Parque Nacional Natural Sierra Nevada de Santa Marta.	

Tabla 1. Normatividad vigente en los PNN Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá

2.3. Geodiversidad y objetivos de desarrollo sostenible (Geoparque)

Según (UNESCO, 2010), los sitios geológicos son considerados de valor universal, declarado así en la convención del patrimonio mundial, con base a esto nace la iniciativa de apoyar geoparques, respondiendo a la fuerte necesidad de varios países de que exista un marco internacional para la conservación y aumento del valor patrimonial del paisaje, tierra, geología y procesos geológicos de las regiones. Por medio de la creación de geoparques se incentiva la protección y desarrollo sostenible del patrimonio geológico y la geodiversidad, lo cual es necesario para cumplir con los objetivos de la Agenda 21, adoptada en Rio de Janeiro en 1992 por las Naciones Unidas en la conferencia sobre medio ambiente y desarrollo. Los criterios evaluados para clasificar como geoparque son:

a. Tamaño y entorno: debe ser un área con los limites claramente definidos y lo suficientemente grande para generar aportes considerables tanto económicos como culturales; debe incluir además sitios de importancia ecológica, arqueológica, histórica, cultural y geológica nacional, regional y/o internacional que sirvan de apoyo para estudiar y entender los procesos que formaron la zona.
b. Gestión y participación local: la zona debe contar con fácil acceso y estar protegida por por un organismo o asociación de gestión responsable y transparente que demuestre fuerte apoyo de la comunidad y participación local, las cuales se comprometan a

desarrollar e implementar el plan de gestión. Adicional a lo anterior se debe buscar el asesoramiento de la secretaria de Geoparques de la UNESCO, la cual debe informar paralela y sistemáticamente a las embajadas y/o Delegaciones responsables ante la UNESCO de las solicitudes de Geoparques nacionales para asistencia de la UNESCO.

c. Desarrollo económico: la zona debe contar con los recursos tales que, permitan suplir las necesidades de la generación actual, sin afectar la futura. Los geoparques buscan estimular la actividad económica y el desarrollo sostenible de la región, así como mejorar las condiciones de vida humana y del medio rural y urbano, además de fortalecer la identidad de la población con su territorio y estimular la protección del patrimonio geológico.
d. Educación: el geoparque debe proporcionar las herramientas y actividades que permitan la enseñanza del conocimiento geocientífico y ambiental.
e. Protección y conservación: Se debe garantizar la protección por parte de las autoridades delegadas del cuidado del geoparque.
f. Red mundial: Se debe generar una cooperación e intercambio de material de patrimonio geológico entre expertos y profesionales alrededor del mundo.

3. Descripción de la zona de estudio

El presente estudio se desarrolla en el caribe colombiano, sobre el bloque Maracaibo, al interior de la cuenca Cesar- Ranchería, en los parques naturales nacionales Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y Serranía del Perijá (SP), sobre la cuenca de los ríos Badillo, Guatapurí, Espíritu Santo y Manaure.

3.1. Marco Geodinámico del Bloque Maracaibo

Las unidades fisiográficas Sierra Nevada de Santa Marta, Cuenca Cesar-Ranchería, Serranía del Perijá, Macizo de Santander, Cuenca Catatumbo, Cuenca Maracaibo y Serranía de Mérida, conforman el llamado bloque Maracaibo o MOF, “Maracaibo orogenic float” (Ilustración 2 y 3) (Cediel F. e., 2019). El bloque Maracaibo se caracteriza por ser un segmento interrumpido del Escudo Guayanés cubierto por grandes secuencias supra-continentales del Fanerozoico, donde posteriormente en el Cretácico superior el bloque migró a lo largo del sistema de fallas Santa Marta-Bucaramanga y Oca-El Pilar, generándose así la elevación de la SNSM y SP, todo esto como resultado de la interacción entre las placas Nazca, Caribe y América del Sur (Ilustración 2 y 3) (Cediel F. e., 2019). El bloque Maracaibo está limitado al NE-SW por la Falla de Santa Marta–Bucaramanga, la cual ha sido interpretada como una falla con movimiento sinestral, y presenta una longitud aproximada de 580 km (Kellogg, 1981); al Norte lo limita la Falla de Oca, la cual

presenta una extensión aproximada de 300 km, extendiéndose desde el extremo noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde se cruza con la Falla SM-Bucaramanga hasta su intersección con la Falla Boconó en Venezuela y es descrita como una falla de rumbo con movimiento dextral y dirección E-W (Hernández, 2003). Finalmente, la falla de Boconó presenta una extensión aproximada de 500 km y un movimiento dextral con orientación SO-NE, esta es descrita como uno de los rasgos neotectónicos más importantes de la parte noroccidental de América del Sur, la cual junto con la falla de Oca-Ancón, San Sebastián y El Pilar, forman una parte importante del eje sismogénico hacia el norte y al oeste de Venezuela (Soulas, 1986).

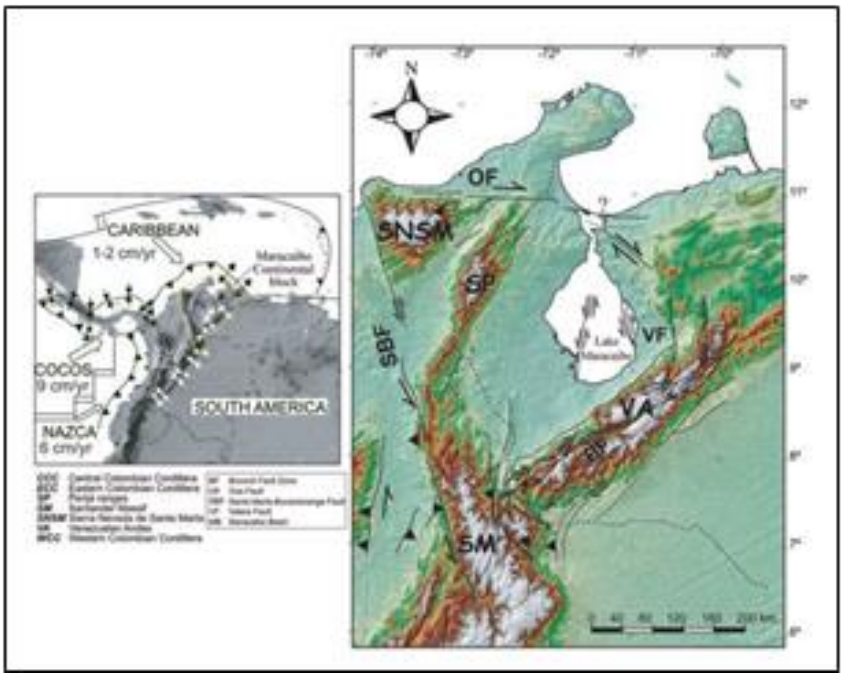


Ilustración 2. Localización bloque Maracaibo, SNSM y SP (Cediel F. & Shaw R., 2019)

En el valle intramontano entre la SNSM y SP, se encuentra la cuenca del Cesar- Ranchería (Ujueta & Llinas, 1990), limitada por la falla de Cerrejón, presentando cabalgamiento (Kellogg, 1981) y controlando estructuralmente el valle en una dirección SE y la falla Perijá con una dirección NE que limita con la SP al oriente; adicionalmente, se encuentra cabalgando el Sinclinorio de la Jagua al occidente (Hernández, 2003). El bloque Maracaibo (Ilustración 2 y 3), es de gran importancia geológica ya que se caracteriza por presentar un basamento granulítico Precámbrico, cinturones metamórficos del Paleozoico y Cenozoico y estar en su mayor parte afectado por plutones del arco Jurásico al Cenozoico, y sedimentación Cretácica (p.e. (Cediel, Shaw, & Cáceres, 2003), las cuales contienen secuencias sedimentarias de gran importancia hidrocarburífera en las cuencas Maracaibo, Cesar-Ranchería y Catatumbo (Ujueta & Llinas, 1990).

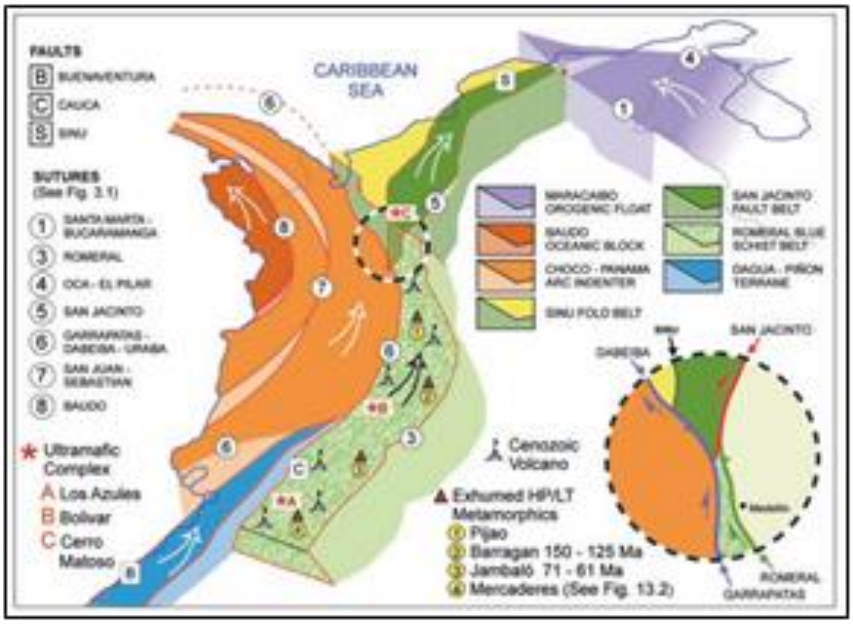


Ilustración 3. Bloque diagrama e interpretación cinemática entre los bloques (Cediel & Shaw, 2019).

Litológicamente la SNSM y la SP se pueden clasificar en cuatro provincias geológicas de Oriente a Occidente, las cuales son: (1) Provincia Serranía del Perijá, limitada en sus estribaciones por dos discordancias erosivas, estas son, a- secuencias marinas arcillosas y limosas con edades del oligoceno-mioceno, las cuales se superponen al oeste con unidades marinas de edades del eoceno al cretácico; y b- areniscas presentes en la formación Milagro y aflorantes en el lado occidental de la SP, las cuales presentan edades ¿Plioceno tardío Pleistoceno?, a su vez esta unidad se encuentra en contacto hacia el noreste con rocas ígneas pre-cretácicas. A partir de la interpretación de datos AFT se asignaron edades del oligoceno-mioceno para las rocas del granito del Palmar y paleozoico para las metasedimentarías de Palmar Alto. Las estructuras principales de SP son el sistema de fallas y pliegues, tales como: falla de Oca, falla Tigre, falla Perijá, entre otras. Durante el cretácico y el eoceno se presentó la actividad en la falla de Oca ocasionando el desarrollo de la vaguada de Perijá y su posteriormente su desplazamiento (Cediel F. e., 2019). Según (Miller, 1962), la SP sufre al menos cuatro eventos tectónicos diferentes, los cuales son: a- crecimiento del arco del Totumo en el eoceno, b- reactivación de fallas en el oligoceno, c- plegamientos y fallas en el post-oligoceno y d- actividad estructural durante el plioceno. (2) Cuenca Cesar-Ranchería (ANH-UIS, 2007): el relleno Cenozoico de dicha cuenca está conformado por la Formación Barco-Cuervos en la subcuenca Cesar y la Formaciones Manantial y Cerrejón en la subcuenca Ranchería. Tanto Barco, Cuervo y Cerrejón son formaciones carboníferas, las cuales proveen la principal actividad económica de la región; (3) Provincia Sierra Nevada, geológicamente compuesta por un terreno granulítico antiguo de aproximadamente 1.3 Ga y cubierto por rocas de edades Paleozoicas y Pérmicas(?)– Triásicas sin evidencia de metamorfismo. (4) Cinturón de Servilla, se divide en dos cinturones metamórficos regionales con

dirección preferencial NE, compuestos por gneises pérmico-triásicos y esquistos jurásicos. y (5) cinturón de Santa Marta, formado por esquistos verdes del cretácico-paleoceno, intruidos por el batolito de Santa Marta.

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo se centra en el análisis de la geodiversidad en la cuenca Cesar-Ranchería, específicamente en las subcuencas de los ríos Badillo - Guatapurí (SNSM) y Manaure – Espíritu Santo (SP) (Ilustración 4).

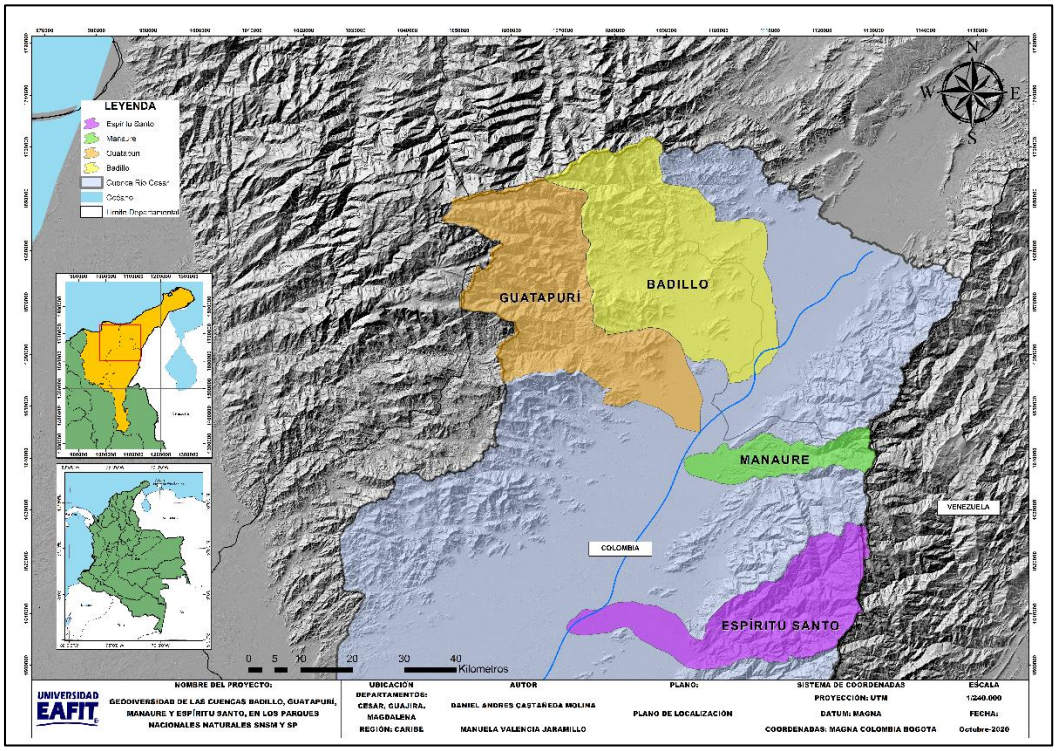


Ilustración 4. Mapa de localización cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo.

3.2. PNN Sierra Nevada de Santa Marta

La Sierra Nevada de Santa Marta se encuentra ubicada al norte colombiano, en los departamentos de Guajira, Magdalena y Cesar (Ilustración 2). La SNSM es un macizo montañoso de forma triangular ubicado a orillas del mar Caribe, limitando con el delta del río Magdalena y la Serranía de Perijá y presenta una extensión aproximada de 17.000 km^2. Gracias a sus alturas variantes y su relieve, la SNSM presenta gran diversidad climática, presentando todos los pisos térmicos, y por su posición astronómica, la influencia marina y de regiones continentales que la rodean, presenta una gran variedad de macroclima, formando múltiples microclimas y condiciones originales en cada una de sus subregiones (Viloria de la hoz, 2005).

La SNSM está localizada en las coordenadas 10°52’00”N y 73°43’12”W, este orógeno es considerado como el macizo litoral más grande del mundo, contando con filos y escarpes pronunciados que le dan su forma característica de pirámide casi perfecta. Además de contar con grandes riquezas en flora y fauna, es el hogar y resguardo de cuatro pueblos indígenas, los cuales superan las cifras de 30.000 pobladores y dentro de los cuales están: Los Kogui, los Arhuaco, los Wiwa y los Kankuamos (IDEAM, s.f.).

Según el Atlas Geológico Colombiano, los picos de la SNSM son: el Simón Bolívar, Colon, Codazzi y Guardian; donde los picos más altos son Simón Bolívar y Colon y alcanzan alturas aproximadas de 5.775 msnm; estas zonas glaciares presentan una influencia directa de la elevación del orógeno y están ubicadas en el flanco sur donde hay mayor concentración de nieve y formación de hielo. Los últimos años han estado marcados por el retroceso glaciar producto del deshielo, lo cual a su vez produce geoformas características como morrenas y lagunas en la cima del orógeno. Para 1850, la SNSM presentaba 82.6 km^2 de área glaciar, mientras que para el 2019 había presentaba solamente 6.21 km^2 de área glaciar; en resumen, la mayor pérdida de área glaciar está registrada entre los años 1850 y 1939 y fue de aproximadamente 60,9 km^2. En la SNSM nacen importantes ríos que vierten sus aguas hacia el norte, occidente y suroriente del país; hacia el norte los ríos drenan principalmente al mar Caribe, Hacia el occidente recorren varios kilómetros hasta desembocar finalmente en el Río Aracataca, que drena a la Ciénaga Grande de Santa Marta y en el suroriente son el rio Badillo y Guatapurí quienes nacen de estas aguas (IDEAM, s.f.).

La SNSM presenta gran diversidad climática, debido a su variedad de pisos térmicos producto de su posición geográfica y diferencias de alturas, lo cual le permite contener zonas desde bosque muy seco tropical a zonas glaciares. En las zonas las bajas del orógeno los suelos tienen sus usos principales en ganadería, turismo y agricultura (Colmenares, y otros, 2007). Gracias a las características geográficas, climáticas y geomorfológicas la SNSM es hogar de diferentes especies como plantas, briofitos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, y representan el 12.4% del porcentaje de los animales de Colombia; además, con base a esto la zona fue declarada como área de endemismo de aves (EBA), sin embargo, en general, todas las especies de la Sierra se encuentran en amenaza debido a la destrucción de su hábitat (Parques Nacionales Naturales-MinAmbiente, 2005).

Dentro de las principales vías de acceso a la SNSM se encuentran las carreteras: Santa Marta - Riohacha; Santa Marta - Bosconia, pasando por Ciénaga, Río Frío, Sevilla, Tucurinca, Aracataca, Fundación y El Copey; Bosconia - Valledupar, pasando por Caracolí y Valencia de Jesús; Valledupar - La Paz - Manaure; La Paz - Cuestecitas, pasando por Urumita, Villanueva, El Molino, San Juan del Cesar, Fonseca, Barrancas y Hato Nuevo; y Cuestecitas - Monguí (vía a Riohacha); además,

pistas aeroportuarias ubicadas en Santa Marta, Riohacha, Fundación y Valledupar y puertos marítimos en Santa Marta y Riohacha (Colmenares, y otros, 2007).

Las unidades litológicas que conforman la SNSM son: granulitas de Los Mangos, Nesises anortosiliticos, Neis de Buriticá, Neis de Los Muchachitos, Esquisto de San Lorenzo (conjunto inferior y superior), Mármoles de Ciénaga, Esquistos de Santa Marta, esquistos de Gaira, gabros y dioritas hornbléndicas máficas, Pórfidos Keratófiros Triásicos, Espilitas Triásicas, Batolitos de Pueblo Bello y Patillal, Cinturón Central de Batolitos Jurásicos, Batolito de Atánquez, Plutón de Nueva Lucha, Granito Porfirítico, Stock del Socorro, Rocas Vulcanoclásticas y Volcánicas del Jurásico, Ignimbrita de La Paila, Ignimbrita de Los Clavos, Ignimbrita de La Piña, Riodacita de Los Tábanos, Riolita de Golero, Lacolito de Atánquez, Plutón de Toribio, Plutón de Latal, Complejo Intrusivo de Santa Marta, Batolito de Santa Marta y Plutón de Buriticá, Facies Granito Moscovítico, Metasedimentitas Cámbricas y Ordovícicas, Sedimentitas devónicas y carboníferas de la Cuchilla de Carbonal, Grupo Cachirí, Sedimentitas Pérmicas, Formación Los Indios, Formación Corual, Formación Guatapurí, Formación La Quinta, Formación Río Negro, Cretácico del Rio Cañas, Calizas y shales cretácicas indiferenciadas, Formación Molino, Formación Hato Nuevo, Conglomerados de Macaraquilla, Rocas Sedimentarias del Paleoceno, Sedimentitas de Edad Mioceno, Formación Monguí, Formación Zambrano, Conglomerados de Guamachito, Morrenas y fluvioglaciares, Abanicos y gravas, Terrazas aluviales y Aluviones recientes (Colmenares, y otros, 2007).

Dentro de los principales recursos económicos presentes en la SNSM están: caliza, mármol, talco, tremolita, mica, plagioclasa, moscovita, hierro, titanio, magnetita, cobre, oro, magnesio, recursos hídricos, sal, carbón, bauxita, gravas, arenas, barita y fosfatos (Colmenares, y otros, 2007).

3.2.1. Cuenca río Guatapurí

La cuenca del rio Guatapurí está ubicada dentro de la subregión norte del departamento del Cesar (Ilustración 4), cuenta con una superficie aproximada de 9.842 km², un área aproximada de 866 km², además de presentar una forma alargada, con una longitud del cauce principal de 35 km y un área total de 88.988 ha, la cual equivale a un 3,99% del área total del departamento; esta cuenca nace a una altura aproximada de 5.000 msnm en la vertiente suroriental de la SNSM, en los límites de los departamentos Guajira, Cesar y Magdalena y desemboca en el rio Cesar. Sus aguas nacen en cercanías del pico Simón Bolívar, a su vez la cuenca limita al norte con las cuencas del rio Ancho y rio Palomino, al este con la cuenca del rio Seco y rio Badillo, al sur con la cuenca rio Cesarito y al oeste con la cuenca del rio Fundación y rio Aracataca. Este sistema hídrico es alimentado por el deshielo de los glaciares de la Sierra, donde a su vez nace el rio Donachi, uno de los tributarios esenciales del rio Guatapurí.

El rio Guatapurí es uno de los ecosistemas más importantes del departamento del Cesar debido a su riqueza hídrica, que abastece el acueducto de Valledupar y surte agua a algunos municipios como Bosconia, Codazzi, La Paz y San Diego. El rio Guatapurí está ubicado dentro de la ecorregión de la Sierra Nevada De Santa Marta, estando en su totalidad dentro de la reserva forestal protectora de la SNSM y 40% del parque nacional natural (Consorcio Guatapurí- Cesar, 2017). La lista de PIG´s inventariados se presenta en la Tabla 3.

3.2.2. cuenca río Badillo

La cuenca del rio Badillo se localiza geográficamente en el Caribe Colombiano, en la Sierra Nevada de Santa Marta, sobre el departamento del Cesar (Ilustración 4), considerada como una zona montañosa con presencia de patrones de drenaje radiales (Colmenares, y otros, 2007). La cuenca del rio Badillo presenta una forma alargada, con una extensión total aproximada de 15.000 Ha, donde su cauce principal tiene una longitud de 11.35 Km, el perímetro de la cuenca es de 33.25 Km y cuenta con varias subcuencas como: río Yargaka, río Pontón, río Potrero, río Chiskuindja y río Candela. La cuenca está ubicada en una zona de montañas escarpadas de naturaleza rocosa homogénea, lo que hace que las pendientes que presenta el cauce sean moderadas a altas (Alvarez, y otros, 2017). La lista de PIG´s inventariados se presenta en la Tabla 3.

3.3. PNN Serranía del Perijá

La serranía del Perijá está ubicada al norte de la cordillera Oriental en parte de los departamentos de La Guajira, Cesar y Norte de Santander. Al oriente marca los límites entre Colombia y Venezuela (en el estado de Zulia). Se encuentra muy cerca de la Sierra Nevada de Santa Marta, a 25 kilómetros en línea recta. Los 36 municipios que la componen tienen en total una extensión de 26.567 km^2. Los diecisiete municipios del Cesar ocupan el 60,9% del departamento, los doce de Norte de Santander abarcan el 41,8% de su territorio y los siete de La Guajira comprenden el 17,1% de su área. La cordillera Oriental, en el macizo de Santander se divide en dos ramales: la rama occidental conserva la dirección original de la cordillera y forma la serranía del Perijá, y la rama oriental entra a Venezuela y forma los Andes de Mérida (Viloria, 2011). Además, esta serranía tiene una importancia en biodiversidad debido a su riqueza de flora y fauna, así como de sus recursos naturales. Contiene bosques húmedos, secos y páramos cubiertos de pajonales, matorrales y frailejones. Los bienes y servicios que ellos producen benefician directamente a la población de los municipios de los tres departamentos en donde se encuentra este ecosistema. Se considera, que es un patrimonio para el país y la humanidad por sus servicios ambientales, como la producción de agua, sumidero de carbono y hábitat de muchas especies animales y de plantas. La serranía del Perijá tiene una formación montañosa larga y angosta, parecida a una

columna vertebral, de una longitud de más de 295 km, entre los municipios de Barranca (La Guajira) al norte y Cáchira (Norte de Santander) al sur. En la parte media presenta la porción más ancha, de unos 50 km (Castaño, 1999).

La SP está localizada en las coordenadas 10°00'59"N y 72°57'28"W, es considerada como la última prolongación de los Andes, o como el comienzo de la cadena montañosa más sorprendente de Suramérica. Además, es un territorio de importancia ecosistémica para el país y la humanidad por los servicios ambientales que ofrece, asimismo contiene resguardos que favorecen a los indígenas yuko-yupkas y los Baris, etnias que están casi extinguidas (IDEAM-MinAmbiente, 2006). Según lo propuesto por (Wokittel, 1957) la elevación más alta, a partir de los mapas existentes, es Cerro Pintado, con más de 3.000 msnm. Este cerro tiene el aspecto de una altiplanicie formada por estratos casi horizontales, cortados por los profundos cañones de los ríos Villanueva y Manaure, siendo estos afluentes en el lado colombiano, y por quebradas tributarias de los ríos Guasare y Palmar, en el lado venezolano y Cerro El Avión, con 3.600 msnm aproximadamente, cercano en línea recta a Cerro Pintado por 8 a 10 kilómetros al sur. La serranía se levanta muy rápidamente desde el Valle de Cesar (Villanueva, 250 metros; La Paz, 157 metros) hacia su culminación en la frontera con Venezuela con 3.600 metros de altitud, siendo el trayecto apenas de unos 30 kilómetros en línea recta. Por consiguiente, el terreno es muy accidentado y fragoso, mostrando un ciclo juvenil de erosión con ríos muy encajonados y de cursos muy torrentosos, con cascadas y saltos. La parte más alta ha sido afectada por pequeñas glaciaciones cuaternarias indicadas por vallecitos poco inclinados en forma de U, lagunitas, pantanos y bloques de roca pulida.

Esta serranía contiene zonas de bosques húmedos, bosques secos y páramos cubiertos de pajonales, matorrales y frailejones. Los bienes y servicios que ellos producen benefician directamente a la población de los municipios de los tres departamentos en donde se encuentra este ecosistema. Además, es un patrimonio para el país y la humanidad por sus servicios ambientales, como la producción de agua, sumidero de carbono y hábitat de muchas especies de fauna y flora, entre otras. Sus cuencas hidrográficas nutren las arterias fluviales de los departamentos que cruzan y en el Cesar alimentan a la ciénaga de Zapatosa, el cuerpo de agua dulce más extenso de Colombia (Galán, Viloria, & Herrera, 1992).

La vegetación de la parte alta de esta región se compone de escasas gramíneas, frailejones y matorrales; en la parte media presenta una composición florística que mezcla especies características de los bosques de laderas andinas y del piedemonte amazónico, se desarrolla sobre zonas montañosas fuertemente disectadas donde esculpidas por lo ríos que conforman la cuenca y la fauna presente es variada siendo una de las mayores zonas de concentración para aves migratorias en Colombia y el hábitat de especies en su mayoría endémicas que tienen esta

región como corredor biológico como el oso de anteojos, El colibrí del Perijá, el mono cara blanca, el mono aullador y el león de montaña (IDEAM-MinAmbiente, 2006).

La serranía de Perijá como complejo orográfico genera variaciones en el clima regional. La vertiente venezolana recibe la influencia directa de las masas de agua que se evaporan del lago de Maracaibo que producen mayores montos de lluvia (Galán, Viloria, & Herrera, 1992), mientras que el sector colombiano queda expuesto al efecto de sombra y por consiguiente es menos húmedo. No obstante, la validez de esta consideración es una característica importante para entender la variabilidad ecosistémica que se encontró que, por su situación geográfica, el macizo está sujeto a diferentes corrientes de aire que al confluir en la zona ocasionan microclimáticas muy particulares. Además, cabe resaltar que la geología e historia natural de la SNSM en ocasiones ha sido asociada con las condiciones de la serranía de Perijá, aunque esta última presenta rasgos geológicos (Lazala, 2007) y bióticos (Rangel, 2007) que la diferencian, la singularizan y le confieren características que refuerzan sus lazos ecogeográficos con la Cordillera Oriental.

Las vías de comunicación principal son La Paz, Manaure, Agustín Codazzi, La Jagua de Ibirico, Curumaní, entre otras se empalman a la vía de la Troncal de Oriente (Bogotá-Cúcuta-Riohacha). La distancia de La Paz a San Diego es de 6 kilómetros. De La Paz parten hacia el Este la carretera a Manaure (18 kilómetros) y a Agustín Codazzi (39 kilómetros). Hay ramales que conectan los corregimientos rurales que pertenecen a la Serranía del Perijá con la troncal de la vía principal y numerosos carreteables destapados o en placa huella, y en parte transitables sólo en tiempos secos, a haciendas y caseríos (Wokittel, 1957).

Las unidades litológicas que conforman la SP son en su mayoría sedimentarias siendo estas "Rocas Sedimentarias del Paleoceno", Formación Hato Nuevo del Cretácico superior – Paleoceno, Formación Molino del Mastrictiano, "Calizas y shales cretácicas indiferenciadas" del Aptiano – Santoniano, Formación Río Negro del Berriasiano -Aptiano inf., Formación La Quinta del Triásico inf. – Jurásico, "Sedimentitas Pérmicas" del Pérmico, Grupo Cachirí del Devónico – Pérmico inferior y "Metasedimentitas Cámbricas y Ordovícicas" del Pre -Devónico medio (Colmenares, y otros, 2007).

Dentro de los principales recursos económicos presentes en la SP se encuentran: carbón, arenas, gravas, granitos, caliza, mármol, hierro, titanio, magnetita, cobre, oro y plata (IDEAM-MinAmbiente, 2006).

3.3.1. Cuenca río Manaure

La cuenca del río Manaure, se localiza al nororiente del departamento del Cesar, en el municipio de Manaure Balcón del Cesar, limita al norte con el Municipio de la Jagua del Pilar (departamento de La Guajira), al sur y al occidente, con el Municipio de La Paz (departamento del Cesar) y al oriente con la República Bolivariana de Venezuela (Ilustración 4) (Instituto Humboldt – CORPOCESAR, 2014). Cuenta con una superficie aproximada de 229.21 km² , un perímetro de 95.64 km, además presenta una forma alargada. El río Manaure nace en Sabana Rubia a una altura de 3.000 msnm aproximadamente, en una de las estribaciones de Cerro Pintado y luego de un recorrido de 31 kilómetros, desemboca en el río Pereira, que a su vez desemboca en el rio Cesar a la altura de 225 metros, y este sirve de límite territorial entre los Municipios de Manaure y La Paz (Instituto Humboldt – CORPOCESAR, 2014). La lista de PIG´s inventariados se presenta en la Tabla 3.

3.3.2. Cuenca río Espíritu Santo

La cuenca del río Espíritu Santo se localiza al noreste del departamento del cesar, en el flanco occidental de la Serranía del Perijá, limita al norte con los Municipios de La Paz y San Diego, al sur con el Municipio de Becerril, al occidente con el Municipio de El Paso y al oriente con la República Bolivariana de Venezuela. La cuenca del río Espíritu Santo tiene un área aproximada de 672.43 km², un perímetro de 165.40 km y presenta una forma ancha en la parte alta y alargada más achatada en la parte baja (Ilustración 4) (Instituto Humboldt – CORPOCESAR, 2014). La lista de PIG´s inventariados se presenta en la Tabla 3.

4. Metodología y conjuntos de datos

La cuantificación de la geodiversidad de las cuencas hidrográficas de los ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo, localizadas en la cuenca del Río Cesar entre los Parques Nacionales Naturales Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía Del Perijá, se basó en la clasificación de factores geomorfológicos, geológicos y morfoclimáticos siguiendo el marco metodológico de Benito-Calvo et al., 2009 y modificándolo a consideración de la directora del proyecto para una mejor obtención de resultados (Ilustración 5).

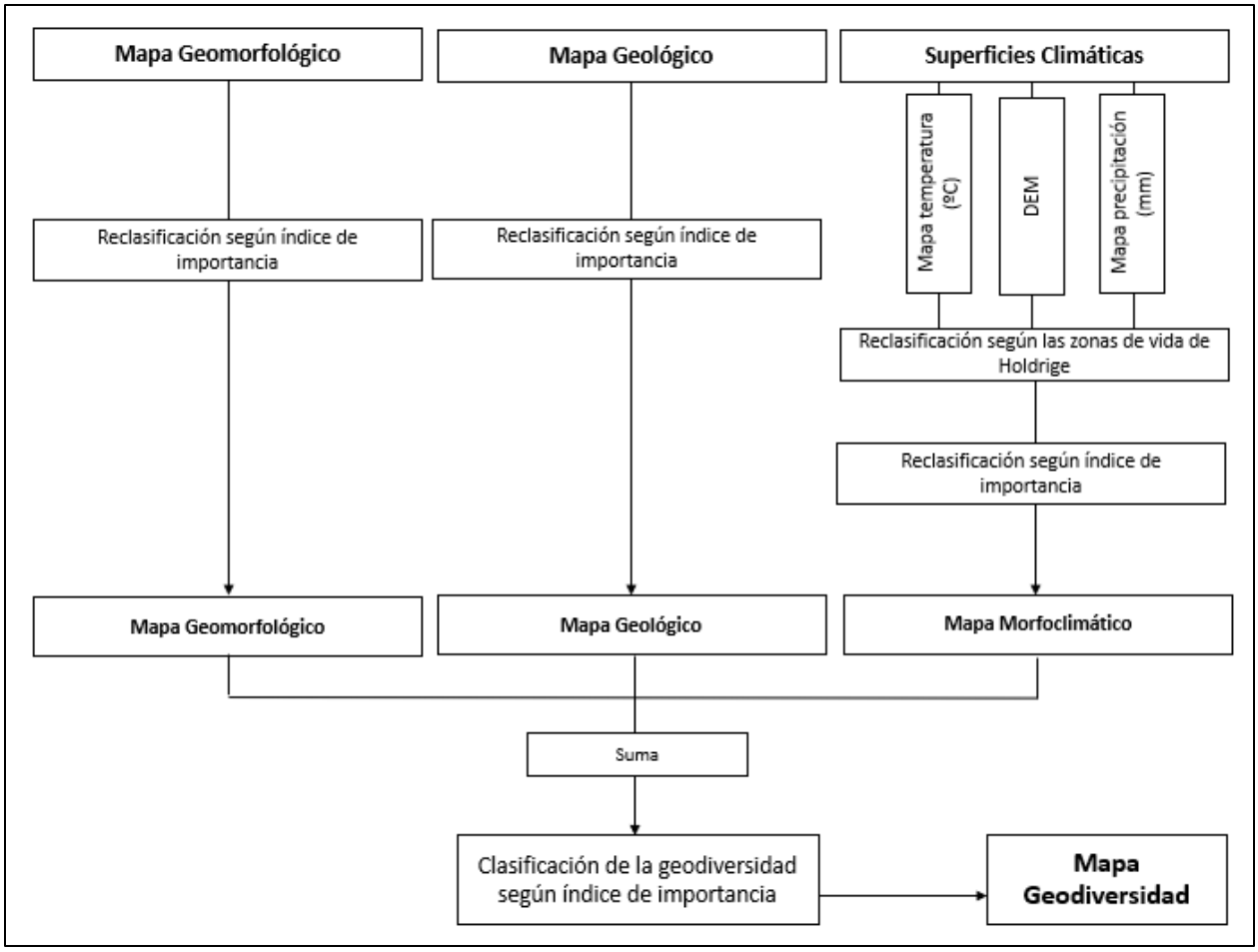


Ilustración 5. Flujograma metodológico para la elaboración de los mapas

4.1. Conformación base de datos:

Para el manejo de la base de datos se utilizó el software ArcGIS 10.5, utilizando como sistema de coordenadas el sistema Nacional Magna Sirgas. Se emplearon cuatro bloques temáticos: (1) Topografía, (2) Información Climatológica; (3) Información geológica y Geomorfológica; y (4) Información administrativa de gestión y legal del sistema de áreas protegidas y resguardos (p.e. parques nacionales naturales, santuarios de fauna y flora, reservas de la sociedad civil).

El modelo de elevación digital de la zona de estudio (DEM), se obtuvo de la base de datos de la misión espacial ALOS (https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm). La Adquisición datos meteorológicos de la zona de estudio, con énfasis en datos de precipitaciones y temperaturas anuales, se obtuvo de la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (http://www.ideam.gov.co); la información del mapa geológico de Colombia se obtuvo de la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC)

(https://www.sgc.gov.co/); y por último la información del mapa geomorfológico se obtuvo de la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=Mapa%20Geomorfol%C3%B3gico%20Aplicado%20a%20Movimientos%20en%20Masa).

El área de estudio se dividió en cuatro subcuencas hidrográficas de interés: Badillo y Guatapurí (localizadas en la SNSM) y Manaure y Espíritu Santo (localizadas en la SP). Todas, tributan al río Cesar que posteriormente tributan al río Ranchería. Para la descripción de la base de datos, se hizo el análisis en forma sistémica a nivel de la Cuenca del río Cesar, haciendo especial énfasis en el inventario a nivel de las cuencas anteriormente mencionadas. En cada cuenca, se realizó un inventario preliminar de Puntos de Interés geológico y/o geomorfológico (PIG´s), con el fin de contrastar su localización con los valores arrojados en el cálculo de la geodiversidad al finalizar este estudio. El almacenamiento de la información se llevó en los siguientes términos: a) datos generales y b) datos descriptivos del valor científico y/o adicional, con el fin de aportar en futuras valoraciones una trazabilidad de estos.

La base de datos e inventario de sitios de interés se realizó por medio del software ArcGIS y consistió en el registro y levantamiento de Geositios o Puntos de Interés Geológico y/o Geomorfológico (PIG´s) con potencial en la zona de estudio, la cual tuvo en cuenta la belleza paisajística, sitios con un valor turístico y/o cultural preexistente, geomorfología, geología y/o clima, donde la nomenclatura definida se indica a continuación (Ilustración 3): los puntos que están en rojo y denotados con el código Mn_# corresponden a la subcuenca del río Manaure, los denotados con el código Es_# corresponden a la subcuenca del río Espíritu Santo, los denotados con el código Bd_# corresponden a la subcuenca del río Badillo y finalmente los denotados con el código Gp_# corresponden a la subcuenca del río Guatapurí. Adicionalmente se anexan las bases de datos PIG_SNSM y PIG_SP para consultar con mayor detalle cada punto.

Por último, muchas de las metodologías existentes que se han adaptado alrededor del mundo para el estudio del Patrimonio Geológico y la valoración de puntos de interés geológico que se han desarrollado en todo el planeta (Brilha J. , 2005); (Carcavilla, Lopez-Martinez, & Duran, 2007); (Reynard, Fontana, Kozlik, & Scapozza, 2007) presentan características especiales que se determinan de acuerdo con la idoneidad de la zona donde se implementarán. La Ilustración 6 y la tabla 2 presentan los flujogramas de la metodología empleada para la elaboración de la base de datos de los PIG´s.

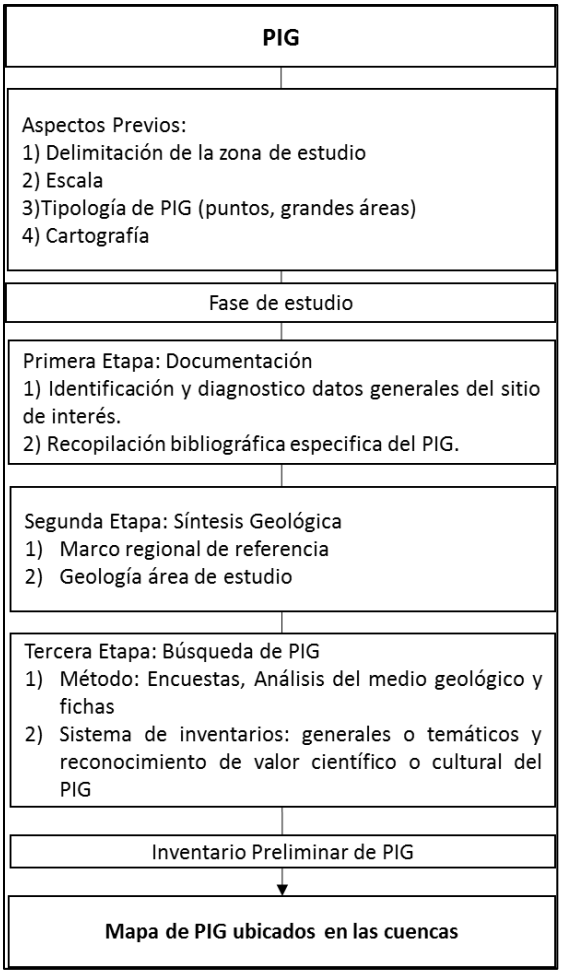


Ilustración 6. Flujograma metodológico elaboración base de datos e inventario puntos de interés (Carcavilla, Lopez-Martinez, & Duran, 2007).

PIG			
FASES	**ETAPAS**	**PASOS**	**CRITERIOS**
Fase de estudio	Aspectos Previos:	1) Delimitación de la zona de estudio	A) Administrativos
			B) Geológicos
			C) Regiones Naturales
			D) Arbitrarios
		2) Escala	A) Definir grado de detalle
		3)Tipología de PIG	A) Puntos
			B) Grandes Áreas
	Primera Etapa: Documentación	1) Identificación y diagnostico datos generales del sitio de interés	A) Geología (trabajos científicos, obras divulgativas, cartografía geológica, material cartográfico de apoyo)
			B) Gestión del medio natural (legislación nacional, regional y ordenanzas municipales; áreas protegidas)

		2) Recopilación bibliográfica especifica del PIG y morfogénesis	A) Referencia (poblaciones, limites administrativos, infraestructura)
			B) Gestión del medio natural (patrimonio cultural, información socioeconómica)
	Segunda Etapa: Síntesis Geológica	1) Síntesis y Geología área de estudio	A) Marco regional de referencia
			B) Unidades geológicas
			C) Geología del área de estudio
			C) Cortes geológicos representativos
			D) Columna estratigráfico-sintética
			E) Cartografía geológica de síntesis y resumen de evolución geológica
	Tercera Etapa: Búsqueda de PIG	1) Método	A) Encuestas a especialistas y a población
			B) Análisis de medio geológico
			C)Fichas
			D) Toponimia
		2) Sistema de inventarios	A) Generales o temáticos (Reconocimiento avanzado y sistemático)
			B) Reconocimiento de valor científico o cultural del PIG
Fase final y Resultados	Inventario Preliminar de PIG		
	Mapa de PIG ubicados en las cuencas		

Tabla 2.Metodología para el inventario de Puntos de Interés Geológico y ajustado a la singularidad de las cuencas de la zona de estudio tomado de (Carcavilla et al, 2007)

4.2. Clasificación de factores geomorfológicos, geológicos, morfoclimáticos y cálculo de la geodiversidad

Para este proceso, se inició con la delineación de los contornos de las cuencas definidas a fin de estudio con la implementación de la herramienta “Watershed”, del software de modelamiento y procesamiento ArcMap 10.5., seguidamente se hizo la extracción de la información topográfica del terreno, recortando del modelo digital de elevación (DEM) para cada zona de estudio (microcuenca), mediante el uso de la herramienta Extracción por máscara (“Extract by mask”) del antes mencionado software, donde los parámetros de entrada fueron el modelo de elevación digital de la zona de estudio y el contorno antes delineado de la zona de interés. Finalmente, como resultado se obtiene un nuevo raster (Ilustración 4).

4.2.1. Clasificación Geomorfológica

Las variables de la clasificación Geomorfológica son aquellas que por medio del estudio de las formas brindan las herramientas necesarias para caracterizar los rasgos físicos de la superficie terrestre (Consorcio Pomca Quindio, 2018). La geomorfología presente en la zona de estudio variaba desde ambientes kársticos, denudacionales, antropogénicos, estructurales, eólicos, fluviales, glaciales y marinos, donde el peso de geodiversidad se asignó con base al nivel de importancia de los servicios ecosistémicos que brindan estos ambientes morfogenéticos a la cuenca Cesar-Ranchería y a la región en general.

Adicionalmente, para la zona de estudio se elaboraron los mapas de pendiente, relieve relativo, curvatura y rugosidad, estos pueden ser consultados en anexos del proyecto. Para la elaboración de dichos mapas se empleó la siguiente metodología:

Cálculo de la pendiente del terreno, se realizó con base a el modelo digital de elevación (DEM), y luego se realizó el procesamiento mediante la herramienta Pendiente ("Slope") que está incluida en la caja de herramientas "Spatial Analyst" del software de procesamiento ArcMap.

Cálculo de la curvatura, Con la función de curvatura "Curvature" de ArcMap se calculó la curvatura de la superficie que presenta el terreno, tomando como entrada el modelo digital de elevación.

Cálculo de la rugosidad, Partiendo de modelo de elevación digital, se hace el cálculo del relieve de la zona a un radio definido (1Km), tomando los valores máximos, medios y mínimos en el radio de influencia. La herramienta "Focal statistics" de ArcMap permite calcular dichos datos al radio o cuadricula que se le indique. Luego de obtener los valores se procede a calcular la rugosidad partiendo de la ecuación: $R = \frac{r_{medio} - r_{minimo}}{r_{maximo} - r_{minimo}}$

Cálculo del relieve relativo, para la generación del relieve relativo de la zona, fue necesario utilizar la herramienta "Focal Statistics" que pertenece al apartado de "Spatial Analyst", tomando como entrada el modelo digital de elevación, y asignando una sección de igual tamaño (rectángulo) con valores de 30 pixeles por largo y ancho, además se eligió el tipo de estadística (rango). Obedeciendo a la ecuación: $RR = r_{maximo} - r_{minimo}$, donde RR es el relieve relativo y r el relieve. Finalmente, se obtuvo como resultado la capa Raster del relieve relativo.

4.2.2. Clasificación Geológica

A partir del mapa geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá del SGC, se realizó la revisión de las diferentes unidades geológicas por temporalidad y tipo (rocas Ígneas, metamórficas y sedimentarias), con el fin de llegar a un mapa simplificado de unidades lito-cronológicas. Para la reclasificaron de las unidades presentes en la zona de estudio se determinó que el máximo nivel de importancia radicaba en las unidades más frágiles y susceptibles al cambio, teniendo además en cuenta los criterios de temporalidad de depositación, naturaleza y conexión con la evolución de la cuenca Cesar-Ranchería, visto a través de la opinión del análisis heurístico.

4.2.3. Clasificación Morfoclimática

Las variables morfoclimáticas se pueden definir como el conjunto de procesos que actúan sobre un área en particular, modelando y creando nuevas superficies (Plataforma Educativa Magnaplus, s.f.). La clasificación morfoclimática se realizó en ArcGis y se emplearon los criterios de altura (msnm), precipitación (mm) y temperatura promedio (ºC) de la zona de estudio, sin embargo se omitió la implementación de los datos de evapotranspiración y/o humedad relativa ya que se decidió seguir el lineamiento de la metodología de (Benito-Calvo et al., 2009), posterior a esto se realizó una reclasificación según el orden de importancia de las zonas de vida de Holdrige presentes en el área de estudio, tomando como parámetro de reclasificación la abundancia relativa y biodiversidad de fauna y flora según el piso térmico de ubicación, donde el mayor índice de importancia se presenta en las unidades con mayor fragilidad y susceptibilidad al cambio (zonas glaciares, páramo y subpáramo), las cuales además presentan gran riqueza hídrica, y el índice más bajo corresponde a las zonas planas, donde desembocan las aguas originarias de las partes altas de ambos de los orógenos en estudio. Finalmente, se obtuvo como resultado el mapa morfoclimático.

4.2.4. Cálculo de la geodiversidad

Los conjuntos de datos espaciales analizados en los numerales anteriores, se combinaron usando un procedimiento de la herramienta de ArcGis “Map Algebra” en la que se sumaron y/o superpusieron los tres raster reclasificados (geológico, morfoclimático y geomorfológico), dando como producto un mapa regional de geodiversidad con cada una de sus clases discretas (Benito-Calvo et al., 2009). La comparación de las ocurrencias, para los tres conjuntos de datos espaciales utilizados en el mapa de geodiversidad, resaltaron la distribución de las clases geomorfológicas, geológicas y climáticas dominantes en los PNN SNSM y SP. Todos los mapas de las clasificaciones mencionadas y con el mismo rango de nivel de importancia generaron una evaluación equilibrada de los componentes de la geodiversidad en la zona de estudio, evitando así, la sobreestimación de alguno de los componentes. El resultado final, se afinó con la metodología propuesta por

(Benito-Calvo et al., 2009) y adicionalmente se generó un mapa por defecto de Natural Breaks (Jenks) dividido en 5 clases para poder realizar una comparación mediante ambos procesos.

5. Resultados

Mediante la interpretación de mapas de geodiversidad es posible suministrar información importante para diferentes campos de la ciencia, ejecución de toma de decisiones, declarar zonas de patrimonio geológico, gestiones ambientales o de conservación del medio ambiente, compresión y entendimiento de los procesos y materiales que han controlado la evolución del paisaje de la zona, entre otros. los resultados obtenidos mediante este estudio permiten una mayor aproximación hacia la declaración de la zona de estudio como patrimonio geológico de la nación y de esta manera lograr permitir la generación de una conciencia en la sociedad actual sobre el manejo, uso y/o conservación de los recursos naturales, además de ser insumo científico para futuras investigaciones. Mediante los mapas resultantes de geodiversidad de la zona de estudio y adicional a esto, los geositios identificados se logró evidenciar como las 4 subcuencas presentan un alto potencial de geodiversidad para el país a nivel nacional e internacional, promoviendo estos la investigación para la conservación del medio ambiente y un mayor conocimiento de los bienes naturales y de patrimonio cultural y ambiental del país.

5.1. Base de datos e Inventario de sitios de interés

La conformación de un inventario se soporta con la interpretación de mapas topográficos, geomorfológicos, fotografías aéreas, imágenes satelitales y publicaciones científicas existentes. Este inventario preliminar fue confirmado y ampliado mediante controles de campo realizados en la materia Geología de Colombia cursada por ambos estudiantes en el semestre 2019-2 en la universidad Eafit, dictada por la además directora del proyecto de grado María Isabel Marín. Finalmente se obtuvo un total de 37 PIG’s para las cuencas analizadas de los ríos Guatapurí, Badillo, Manaure y Espíritu Santo, demarcando varias zonas con alto interés potencial para el estudio del Patrimonio Geológico y la Geodiversidad (Ilustración 7 y Tabla 3). Esta región de limites departamentales compartidos con La Guajira, Magdalena, Cesar y la frontera con Venezuela posee una variedad geológica que comprende distintos tipos de rocas, estructuras, geoformas, las cuales permiten conocer, estudiar e interpretar la evolución geológica del sector más septentrional de la Cordillera de los Andes Suramericanos en Colombia, la cuenca Cesar Ranchería y la Conformación de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá.

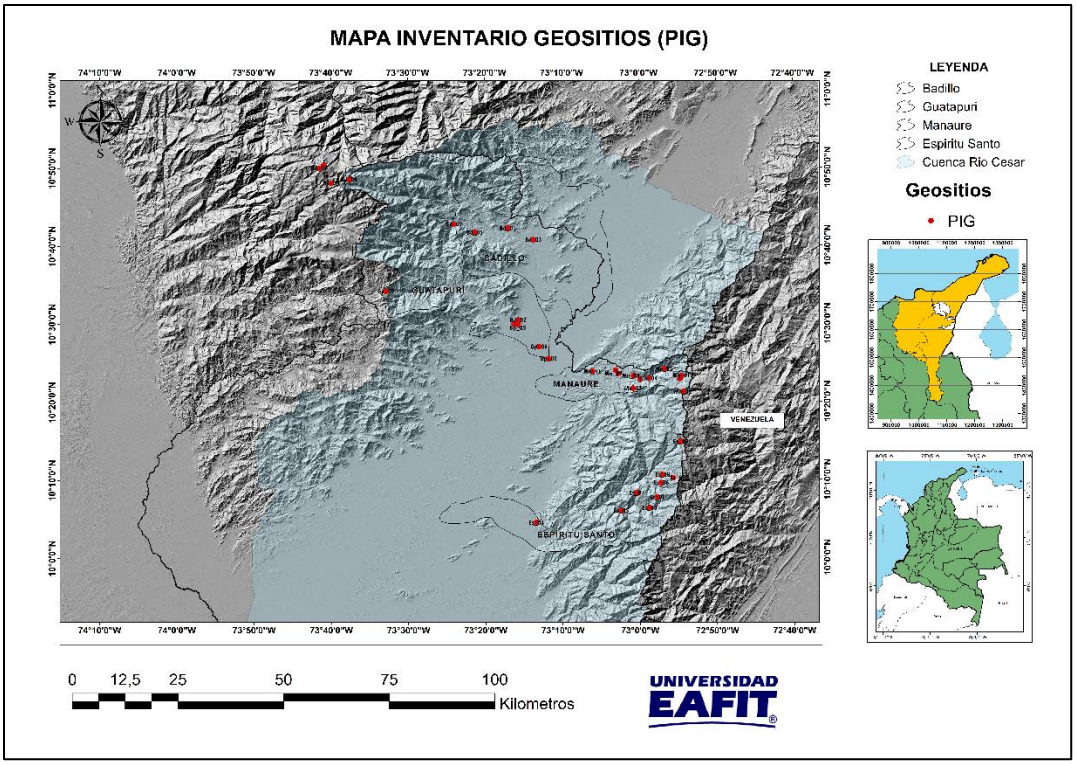
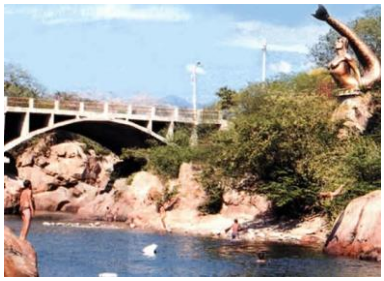
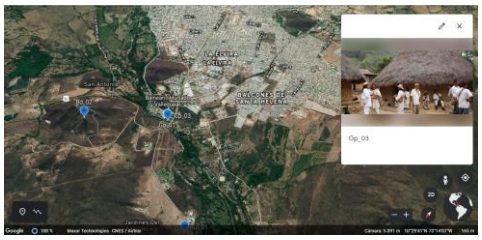
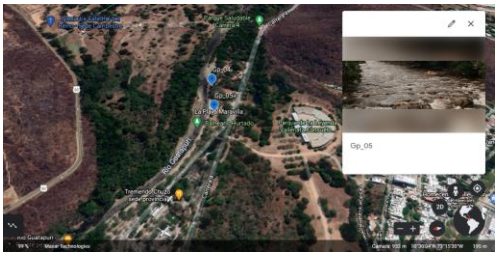
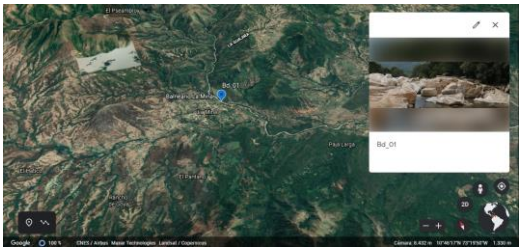
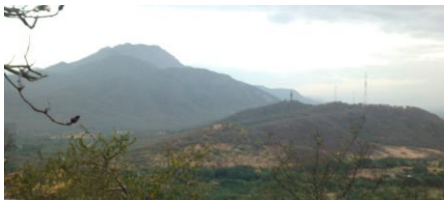
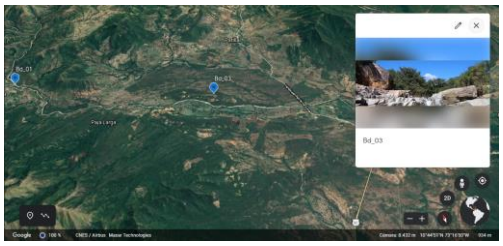
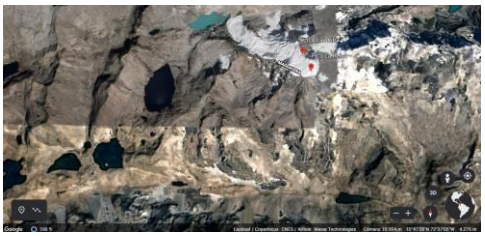
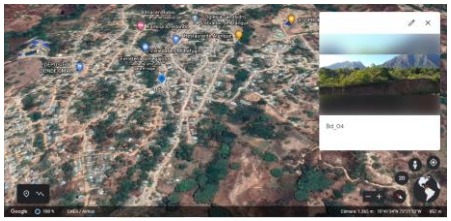


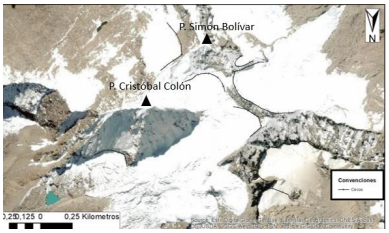
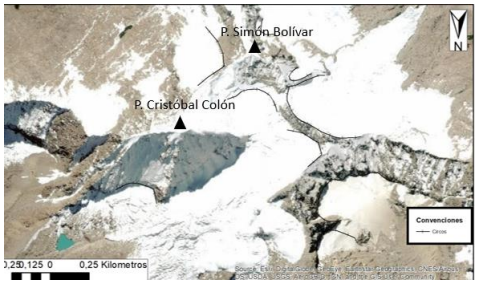
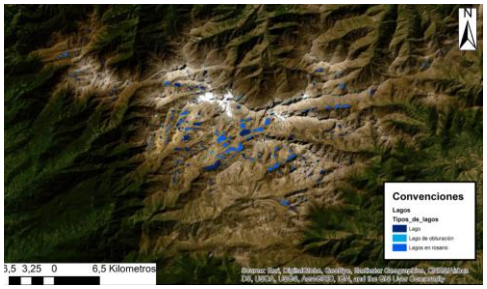
Ilustración 7.Mapa de localización de sitios de interés para cada una de las cuencas, elaboración propia a partir de ArcGis y datos del IGAC.

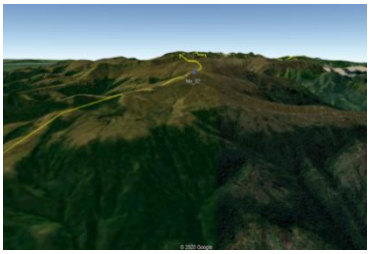
FOTOGRAFÍA	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
		**CÓDIGO** Gp_01 **NOMBRE** Sirena y balneario de Hurtado **COORDENADAS** 10º 30´03´´N 73º 16´14´´W
Tomado de: https://www.colombia.com/turismo/pop_zoom/cesar1_zoom.htm	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Gp_02 **NOMBRE** Intersección río Guatapurí- río Cesar **COORDENADAS** 10º 25´34´´N 73º 11´46´´ W
Tomado de: Google Earth	Tomado de: Google Earth	

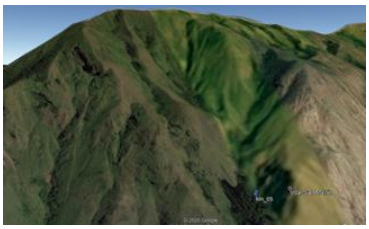
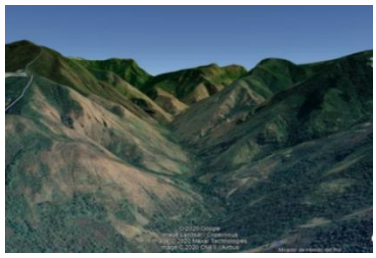
<table>
<tr><td> </td><td>  </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Gp_03
NOMBRE
Resguardo indígena Kankuamo
COORDENADAS
10º 29´59´´ N
73º 16´10´´W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Resguardo_ind%C3%ADgena_Kankuamo#/media/Archivo:Souldesatanquez.jpg</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Gp_04
NOMBRE
Parque Lineal
COORDENADAS
10º 30´02´´ N - 73ª 15´45´´ W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16642752</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Gp_05
NOMBRE
Playa Maravilla
COORDENADAS
10º 29´55´´N
73º 15´47´´ W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: https://elpilon.com.co/una-playa-en-el-rio-guatapuri/</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td>CÓDIGO
Gp_06
NOMBRE
Lagunas Tarullal
COORDENADAS
10º 27´06´´ N
73º 13´01´´W</td></tr>
</table>

Tomado de: https://twitter.com/FrancoOvalle/status/871746304703168512/photo/1	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Gp_07 **NOMBRE** Morrenas **COORDENADAS** 10º 27´06´´ N 73º 13´01´´W
Tomado de: PIZARRO D. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Gp_08 **NOMBRE** Nebusimake **COORDENADAS** 10º 34´15´´N 73º 32´53´´W
Tomado de: https://www.flickr.com/photos/nadianaranjor/5201803531	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Gp_09 **NOMBRE** Chemesquemena **COORDENADAS** 10º 42´50´´ N 73º 24´03´´ W
Tomado de: Google Earth	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_01 **NOMBRE** Balneario La Mina **COORDENADAS** 10º 42´19´´N 73º17´03´´W

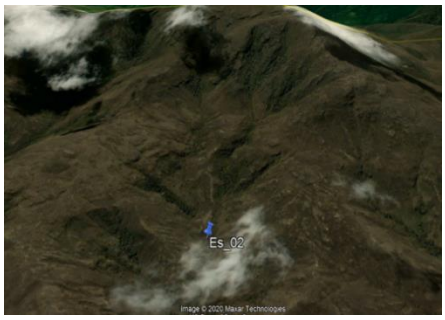
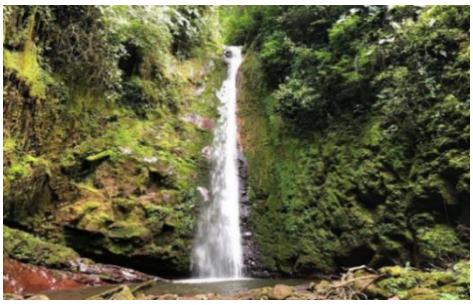
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_02 **NOMBRE** Mirador de Santo Ecce Homo **COORDENADAS** 10º30´31´´N 73º15´43´´W
Tomado de: https://www.tripadvisor.co/Attraction_Review-g1009235-d12241621-Reviews-Mirador_de_Santo_Ecce_Homo-Valledupar_Cesar_Department.html	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_03 **NOMBRE** Río Candela **COORDENADAS** 10º 40´49´´N 73º 13´44´´W
Tomado de: https://mapio.net/pic/p-65793539/	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_04 **NOMBRE** Morrenas en el valle del Río Badillo **COORDENADAS** 10º 48´36´´N 73º 37´38´´W
Tomado de: FUENTE: PIZARRO D. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_05 **NOMBRE** Atanquez **COORDENADAS** 10º 41´47´´N

		73º 21´19´´ W
Tomado de: https://sites.google.com/site/atanqueztierrahermosa/	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_06 **NOMBRE** Pico Colon **COORDENADAS** 10º 50´05´´N 73º41´29´´ W
Tomado de: PIZARRO D. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_07 **NOMBRE** Pico Simón Bolívar **COORDENADAS** 10º 50´05´´N 73º41´29´´ W
Tomado de: PIZARRO D. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Bd_08 **NOMBRE** Lagos **COORDENADAS** 10º 47´54´´N 73º 40´01´´W

Tomado de: PIZARRO D. (2019). CARACTERIZACIÓN DE LAS GEOFORMAS ACTUALES Y HEREDADAS DEL AMBIENTE GLACIAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Mn_01 **NOMBRE** Cerro Pintao **COORDENADAS** 10°23'21.32"N 72°54'33.02"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Mn_02 **NOMBRE** Cerro El Avión **COORDENADAS** 10°21'18.53"N 72°54'21.99"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Mn_03 **NOMBRE** Cueva El Descanso **COORDENADAS** 10°22'55.96"N 72°54'46.81"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Mn_04 **NOMBRE** Estratos El Venao **COORDENADAS** 10°23'1.52"N 72°58'48.30"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	

		**CÓDIGO** Mn_05 **NOMBRE** Chorro E´ La Vela **COORDENADAS** 10°24'13.38"N 72°56'48.87"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Mn_06 **NOMBRE** Mirador de Hondo del Rio **COORDENADAS** 10°22'53.15"N 72°59'54.45"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Mn_07 **NOMBRE** Barranco Rocas Blancas **COORDENADAS** 10°21'44.60"N 73° 0'49.82"W
Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Mn_08 **NOMBRE** Cascada El Tucán **COORDENADAS** 10°23'20.78"N 73° 0'48.30"W
Tomado de: Google Earth	Tomado de: Google Earth	

<table>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Mn_09
NOMBRE
Banco e´ Fósiles La Roca
COORDENADAS
10°23'38.47"N
73° 2'46.55"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: Foto de autoria propia</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Mn_10
NOMBRE
Cueva Coco Loco
COORDENADAS
10°24'3.17"N
73° 3'5.08"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: http://manaure11a.blogspot.com/2018/04/historia-de-nuestro-municipio.html</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Mn_11
NOMBRE
Cueva Los Siete Caballeros
COORDENADAS
10°23'56.64"N
73° 6'5.87"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: http://manaure11a.blogspot.com/2018/04/historia-de-nuestro-municipio.html</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td>CÓDIGO
Es_01
NOMBRE
Mirador El Potrero
COORDENADAS
10° 7'47.13"N
72°57'43.73"W</td></tr>
</table>

Tomado de: Foto de autoria propia	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Es_02 **NOMBRE** Escaleras del Cielo **COORDENADAS** 10°10'15.67"N 72°55'38.64"W
Tomado de: https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/	Tomado de: Google Earth	
		**CÓDIGO** Es_03 **NOMBRE** Cascada La duda alta **COORDENADAS** 10° 6'25.22"N 72°58'46.16"W
Tomado de: https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/	Tomado de: Google Earth	
		CÓDIGO Es_04 **NOMBRE** Pozo Azul **COORDENADAS** 10° 4'33.81"N 73°13'25.22"W
Tomado de: https://twitter.com/codazzi_online/status/1272563419838828544?lang=ca	Tomado de: Google Earth	

<table>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Es_05
NOMBRE
Cascada 7 de agosto
COORDENADAS
10° 6'4.99"N
73° 2'25.09"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de:
https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Es_06
NOMBRE
Mirador alto del cielo
COORDENADAS
10°22'53.15"N
72°59'54.45"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de:
https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td rowspan="2">CÓDIGO
Es_07
NOMBRE
Pozo Cristal
COORDENADAS
10° 8'21.36"N
73° 0'22.44"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de:
https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td> </td><td>
</td><td rowspan="2">CÓDIGO
Es_08
NOMBRE
Cascada Tres Tiros
COORDENADAS
10°10'40.72"N
72°57'3.30"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: https://www.instagram.com/explore/locations/797842301/</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
<tr><td> </td><td>
</td><td rowspan="2">CÓDIGO
Es_09
NOMBRE
Cerro Pintao La Duda
COORDENADAS
10°14'55.05"N
72°54'40.78"W</td></tr>
<tr><td>Tomado de: Foto de autoria propia</td><td>Tomado de: Google Earth</td></tr>
</table>

Tabla 3.Lista de geomorfositios finales PNN SNSM y SP

5.2. Clasificación Geomorfológica

El mapa geomorfológico se generó con base a la metodología de Benito-Calvo et al. (2009), la cual fue modificada para mejor adaptación a la zona de estudio, además, se empleó la clasificación geomorfológica del servicio geológico colombiano (SGC) (https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=Mapa%20Geomorfol%C3%B3gico%20Aplicado%20a%20Movimientos%20en%20Masa). Utilizando el mapa de geomorfología se procedió a identificar las unidades presentes en la zona de estudio, las cuales se clasificaron según el tipo de ambiente morfogenético que más estuviera acorde a la unidad, posteriormente se reclasifico el mapa en cinco clases según el índice de importancia, y como criterio de enfoque se tomaron los valores más altos de geodiversidad donde los servicios ecosistémicos de estos ambientes morfogénicos brindaran un mayor beneficio ambiental a la cuenca Cesar-Ranchería y a la región en general, todo esto por medio del análisis heurístico. Esta clasificación se dividió de la siguiente manera: 1 representa muy baja importancia de geodiversidad en zonas con ambientes con presencia de intervenciones antrópicas, 2 es baja geodiversidad y corresponde a zonas con

ambientes morfogénicos denudacionales, 3 es media geodiversidad y corresponde a las zonas con ambientes morfogénicos estructurales y fluviales, 4 es alta geodiversidad y corresponde a las zonas con ambientes tanto eólicos como marinos y 5 es muy alta geodiversidad y corresponde a las unidades kársticas y glaciales.

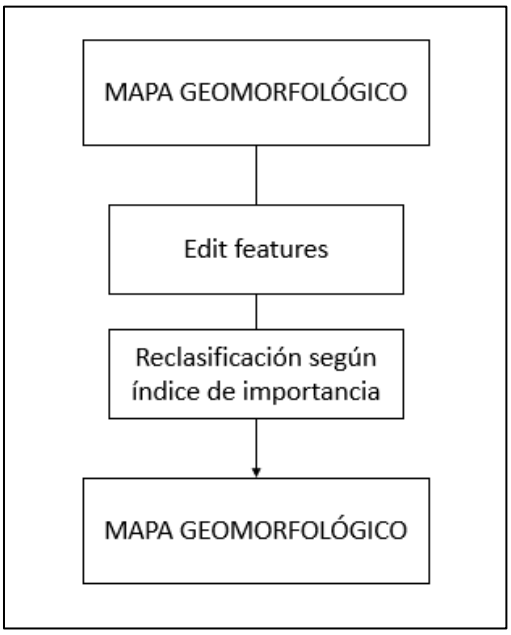


Ilustración 8. Flujograma metodológico clasificación Geomorfológica

UNIDAD	INDICE
Antropogénico	1
Denudacional	2
Estructural	3
Fluvial	
Eólico	4
Marino	
Kárstico	5
Glacial	

Tabla 4. Reclasificación Geomorfológica cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo.

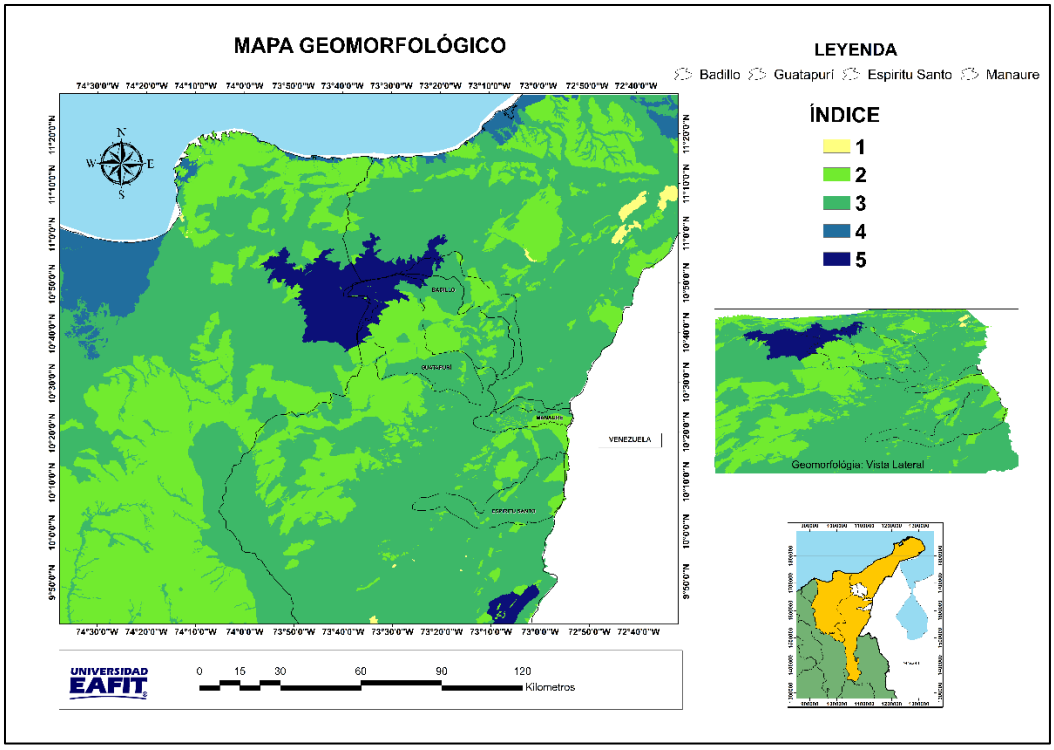


Ilustración 9. Mapa Geomorfológico cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo.

El mapa de esta reclasificación se analizó mediante el estudio de las definiciones geomorfológicas y la historia evolutiva de la cuenca Cesar-Ranchería, esto permitió la elaboración del mapa presentado en la Ilustración 9. Con base al mapa resultante se puede observar como para las 4 subcuencas se presentan valores de índice de geodiversidad 3, 4 y 5, lo cual indica que la zona de estudio presenta una geodiversidad respecto a esta clasificación, de moderada a alta y los valores más altos corresponden a las zonas de mayor elevación de la zona de estudio donde se localización las zonas de subpáramo, paramo, periglaciar y glaciar. Para complementar la información de la zona se anexan los mapas de rugosidad, relieve relativo, pendientes y curvatura de ambas cuencas (Ver mapas anexos).

5.3. Clasificación Geológica

La cuenca Cesar-Ranchería se originó como producto de tres sucesos tectónicos en el norte de Los Andes que permitieron su evolución, los cuales son: 1- Orogenia Greenville o colisión Orinoquense, 2- Orogenia Paleozoica tipo cordillera y 3- el Aulacógeno de Bolívar (Cediel, Shaw, & Caceres, 2003), además de presentar espesores variantes presenta una forma asimétrica y su interacción estructural está definida por las placas Nazca, Caribe y Suramérica, las cuales controlaron la formación de un sistema de fallas como el de Santa Marta-Bucaramanga y Oca y el levantamiento de la Serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta (ANH, 2009). Dentro

de esta cuenca se localizan dos unidades fisiográficas muy importantes para la región, SNSM y SP, las cuales están geológicamente definidas como orógenos heterogéneos que incluyen formaciones con edades desde el precámbrico hasta el cuaternario y se compone de litologías tanto marinas como continentales, variando en el tipo de roca según la zona de formación y/o depositación, además de la presencia de fósiles y varios recursos minerales (Wokittel, 1957).

El mapa geológico se realizó con base en la propuesta metodológica de Benito-Calvo (2009) y se adaptó según las necesidades del trabajo. Primero se generó la geología de la zona, a la escala del área de estudio y posteriormente se reclasifico en 5 clases según su nivel de importancia, dichas unidades se definieron teniendo en cuenta los criterios de edad, naturaleza y conexión con la evolución de la cuenca Cesar-Ranchería visto a través de la opinión del análisis heurístico. El mapa resultante de esta reclasificación se analizó mediante el estudio de las definiciones geológicas de las unidades, tal interpretación permitió obtener la reclasificación geológica final la cual se puede observar en los mapas resultantes presentados en la Ilustración 11 y 12.

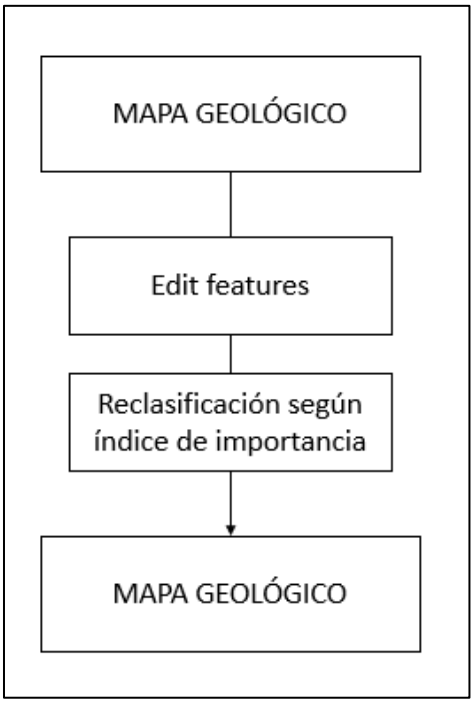


Ilustración 10. Flujograma metodológico clasificación Geológica

La reclasificación de la geología de la cuenca de los ríos Badillo y Guatapurí ilustrada en la tabla 5 y 6, se observa en el mapa (Ilustración 11) cómo los valores de 1 y 2 son mínima importancia de la unidad y están compuestos litológicamente en gran parte por rocas sedimentarias, mientras que por otro lado los valores de 3 indican las zonas con valores de importancia media y corresponden principalmente a rocas ígneas y sedimentarias y finalmente los valores de 4 y 5

corresponden a la máxima importancia de la unidad, respecto a geodiversidad y se componen litológicamente casi su totalidad por rocas sedimentarias y en menor proporción ígneas. Con base a esto se puede decir que para las cuencas de los ríos Badillo y Guatapurí hay predominancia de valores de 4 y, además, en la cuenca del río Guatapurí también se manifiestan considerablemente valores de 5, lo cual significa que esta zona cuenta con una geodiversidad considerablemente alta respecto a las unidades presentes. Para la cuenca de los ríos Manaure y Espíritu Santo se realizó la reclasificación ilustrada en la tabla 5 y 6, donde los valores de 1 y 2 son mínima importancia de la unidad y están compuestos litológicamente en gran parte por depósitos sedimentarios y abanicos aluviales , por otro lado los valores de 3 no se encuentra en estas cuencas y finalmente los valores de 4 y 5 son máxima importancia de la unidad, respecto a geodiversidad y se componen litológicamente en casi su totalidad por rocas sedimentarias y en menos proporción ígneas. Con base a esto se puede decir que para ambas cuencas hay predominancia de valores de 4 y 5, lo cual significa que estas cuencas en su mayoría cuentan con zonas de geodiversidad considerablemente alta.

CUENCA	PERIODO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Río Badillo	Cuaternario	Abanicos y depósitos coluviales	1
		Depósitos y llanuras aluviales	2
	Paleógeno	Rocas ígneas	3
	Cretácico	Rocas sedimentarias	4
	Jurásico	Rocas ígneas	4
	Triásico	Rocas sedimentarias e ígneas	4
	Pérmico	Rocas sedimentarias e ígneas	5
	Carbonífero	Rocas sedimentarias	5
	Devónico	Rocas sedimentarias	5
	Mesoproterozoico	Rocas metamórficas	5
Río Guatapurí	Cuaternario	Abanicos y depósitos coluviales	1
		Depósitos glaciares	1
		Depósitos y llanuras aluviales	2
	Paleógeno	Rocas ígneas	3
	Cretácico	Rocas ígneas	4
	Jurásico	Rocas sedimentarias e ígneas	4
	Triásico	Rocas sedimentarias e ígneas	4
	Pérmico	Rocas sedimentarias e ígneas	5
	Carbonífero	Rocas sedimentarias	5
	Devónico	Rocas sedimentarias	5
	Mesoproterozoico	Rocas metamórficas	5

Tabla 5.Tabla reclasificación geología cuenca ríos Badillo y Guatapurí

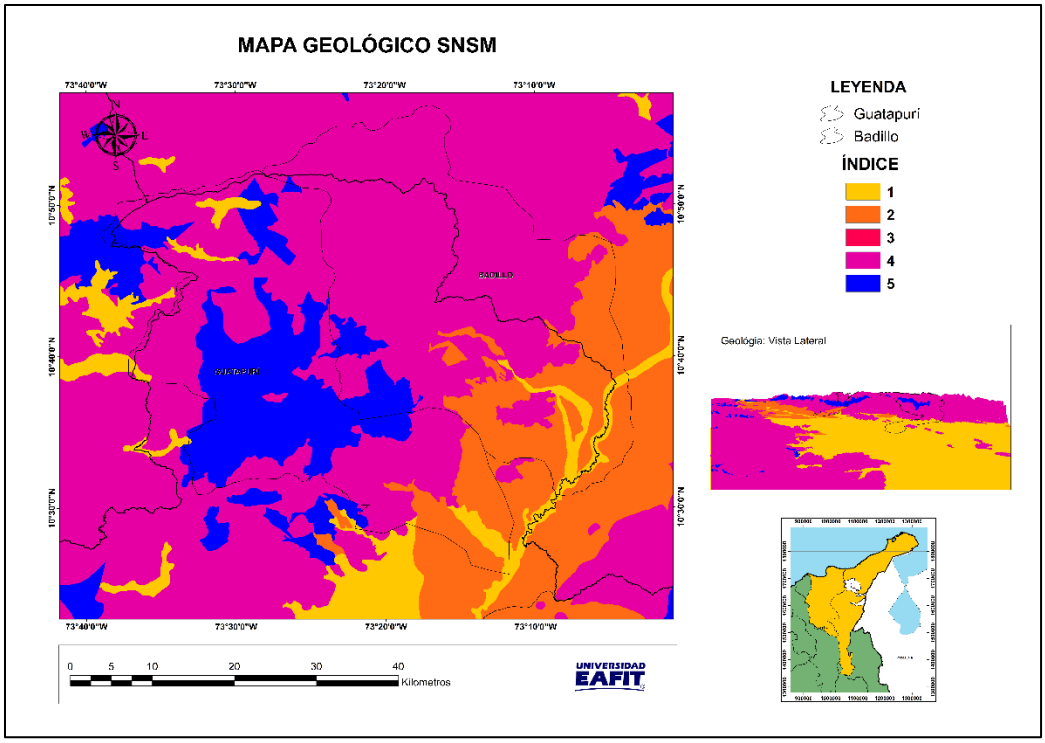


Ilustración 11.Mapa Geológico Cuenca río Badillo y río Guatapurí.

CUENCA	PERIODO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Río Manaure	Cuaternario	Depósitos coluviales	1
		Abanicos aluviales	2
	Cretácico	Rocas sedimentarias	4
	Jurásico	Rocas sedimentarias e ígneas	4
	Pérmico	Rocas sedimentarias	5
	Carbonífero	Rocas sedimentarias	5
	Devónico	Rocas sedimentarias	5
	Ordovícico	Rocas sedimentarias	5
	Cámbrico	Rocas sedimentarias	5
Río Espíritu Santo	Cuaternario	Abanicos aluviales	2
	Cretácico	Rocas sedimentarias	4
	Jurásico	Rocas sedimentarias e ígneas	4
	Pérmico	Rocas sedimentarias	5
	Devónico	Rocas sedimentarias	5
	Ordovícico	Rocas sedimentarias	5
	Cámbrico	Rocas sedimentarias	5

Tabla 6.Tabla reclasificación geología cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo

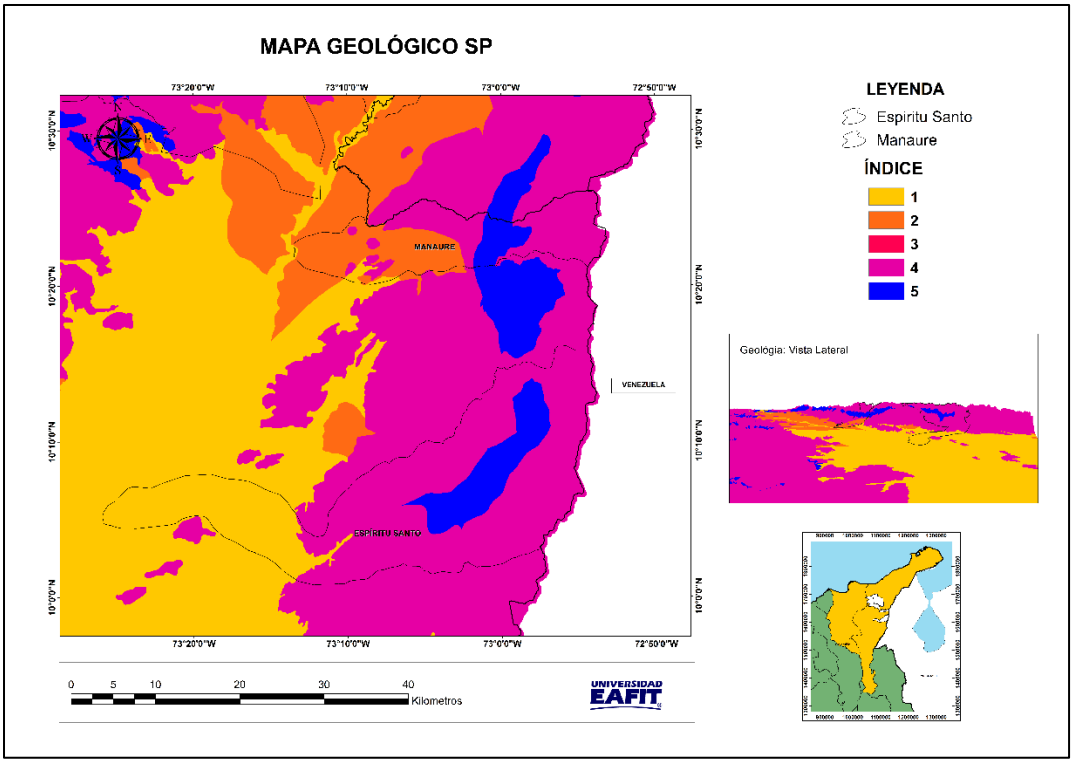


Ilustración 12.Mapa Geológico Cuenca río Manaure y río Espíritu Santo

5.4. Clasificación Morfoclimática

El mapa morfoclimático se realizó con base a la metodología de Benito-Calvo et al. (2009), y se modificó para una mejor adaptación a la zona de estudio y mejores resultados. Para la generación de este mapa se aplicó la clasificación en base al DEM (Ilustración 14), datos de precipitación media y datos de temperatura media anual obtenidos de la página del IDEAM; teniendo en cuenta estas tres variables más la reclasificación según las zonas de vida de Holdrige se realizó una reclasificación de las zonas según el índice de importancia de la geodiversidad donde se les asigno valores entre 1 y 5, además, se omitió el uso de la evapotranspiración y/o humedad relativa ya que se sigue el lineamiento de la metodología de (Benito-Calvo et al., 2009) la cual solo emplea las variables de precipitación, temperatura media y altura, y se considera que para esta zona en específico, haciendo empleo de dichas variables, se obtendrán los resultados esperados. El mapa resultante de esta clasificación se realizó implementando además las de zona de vida de Holdrige, tal interpretación permitió la obtención de la reclasificación morfoclimática final, la cual se observa en los mapas presentados en la Ilustración 16 y 18.

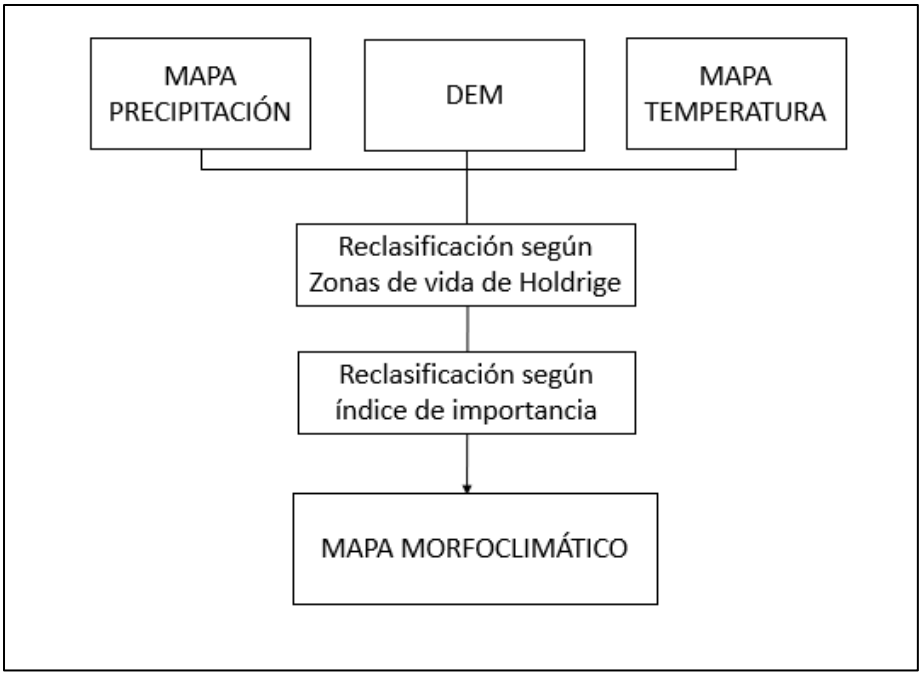


Ilustración 13.Flujograma metodológico clasificación Morfoclimática

El mapa resultante morfoclimático se realizó mediante la reclasificación presentada en la Tabla 7 y 8 con base a los mapas de precipitación y temperatura (Ilustración 14 y 16), donde se obtuvo que los valores de 1 corresponden a Bosque muy seco tropical, los cuales tienen una temperatura media alta, una precipitación anual baja y una altitud baja, los valores de 2 corresponden a Bosque húmedo subtropical y Bosque muy seco tropical que tienen una temperatura promedio media-alta y precipitaciones anuales baja-media, así como altitudes baja-media, los valores de 3 corresponden a zonas de Bosque muy húmedo montano y bosque seco tropical bajo que tienen una temperatura promedio baja-media, promedios anuales de lluvias altos y una altitud media, finalmente para los valores de 4 y 5, son Bosque muy húmedo montano y Bosque pluvial montano (comparten las características de un páramo y subpáramo) para SP y zona Periglaciar y zona Glaciar para SNSM con precipitaciones y alturas altas y bajas temperaturas. Con base a esta interpretación y observando los mapas se puede corroborar como las zonas glaciares, periglaciares, de páramo y de subpáramo se presentan en las zonas más altas, en la cabecera de las cuencas en estudio y es donde se localizan las unidades más frágiles del sistema, siendo además donde nacen los ríos principales de las mismas, enmarcándolo como área de riqueza hídrica para la región. Para complementar la información de la zona de estudio y una mejor visualización de la información se presentan los mapas de precipitación y temperatura de ambas cuencas en la Ilustración 15 y 17.

CLASIFICACIÓN	ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE
1	Bosque muy seco tropical

2	Bosque muy seco tropical
3	Bosque seco tropical
4	Periglaciar
5	Glaciar

Tabla 7. Reclasificación zonas de vida de Holdridge cuenca ríos Badillo y Guatapurí.

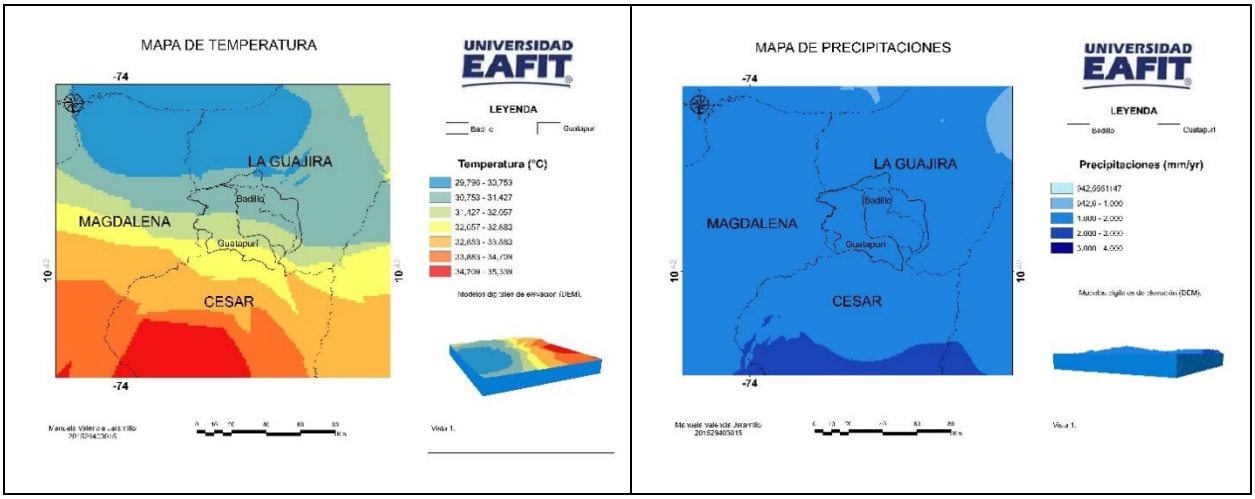


Ilustración 14. Mapas temperatura y precipitación cuenca ríos Badillo y Guatapurí

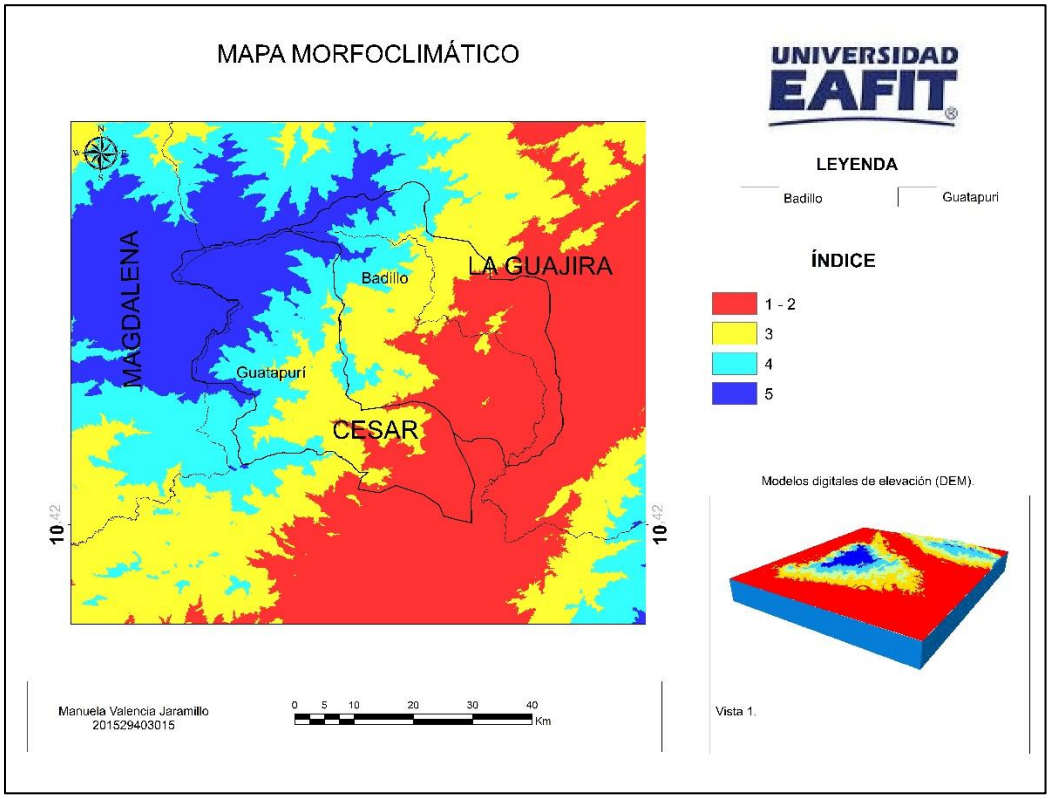


Ilustración 15.Mapa Morfoclimático cuenca ríos Badillo y Guatapurí.

CLASIFICACIÓN	ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE
1	Bosque seco tropical
2	Bosque húmedo subtropical
3	Bosque muy húmedo montano bajo
4	Bosque muy húmedo montano
5	Bosque pluvial montano

Tabla 8. Clasificación zonas de vida de Holdridge cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo

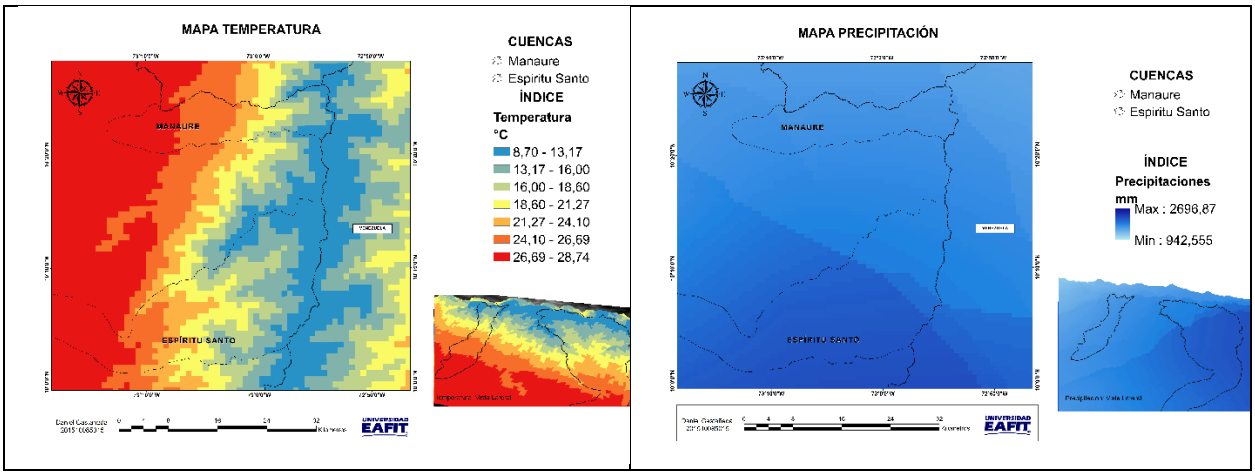


Ilustración 16.Mapas temperatura y precipitación cuenca ríos Manaure y Espíritu Santo

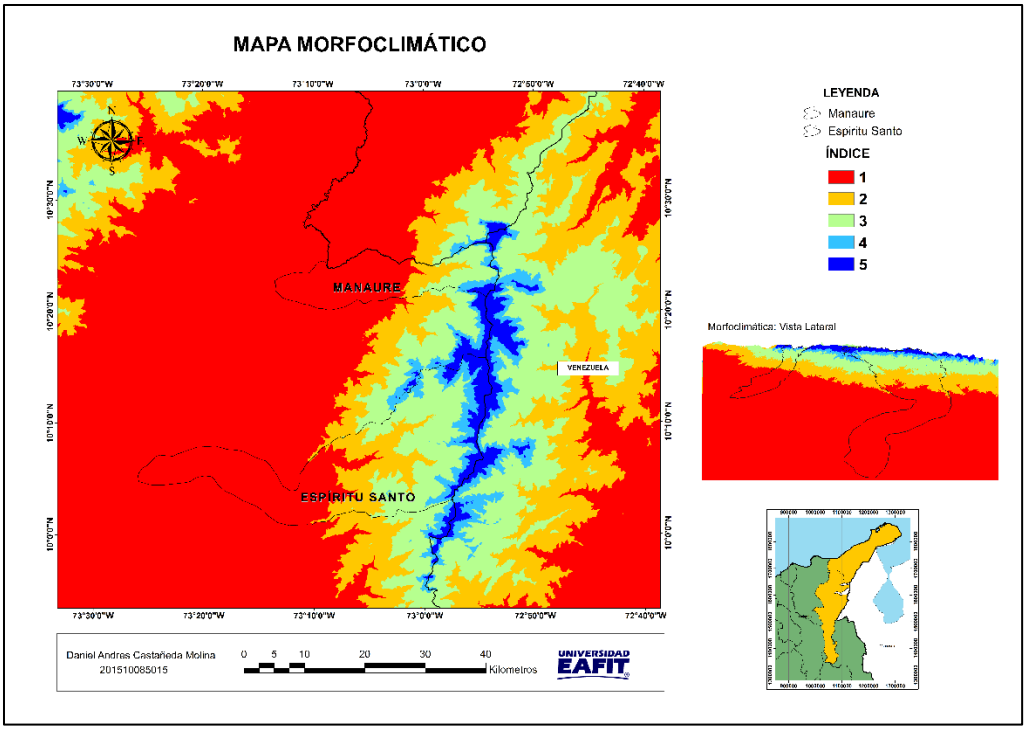


Ilustración 17.Mapa Morfoclimático Cuenca río Manaure y río Espíritu Santo

5.5. Cálculo de la geodiversidad

Según el mapa resultante de geodiversidad, elaborado mediante la metodología de la ilustración 18 y reclasificado con base a la tabla 9, se puede observar cómo en las cuencas Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu santo los valores más altos de clasificación 4 y 5 están asociados a la zona periglaciar y glaciar de la Sierra Nevada de Santa Marta y la zona de páramo y subpáramo de la Serranía del Perijá, donde la topografía, altura y barreras orográficas tienen una relación directa con las variaciones microclimáticas y los pisos térmicos presentes en estas, la riqueza de fauna y flora característicos de ambiente endémico y frágil están presente allí, además de contar con la máxima riqueza paisajística, resultado de un complejo geo contexto histórico del Bloque Maracaibo.

Por otro lado, los valores medios correspondientes a 3 están asociados a las zonas transicionales del orógeno, donde las pendientes y la rugosidad presentan valores intermedios y su piso térmico corresponde a zona de bosque seco tropical; así como la mayoría de las franjas de rocas sedimentarias e ígneas que forman complejas geoformas modeladas por los ríos tributarios de las cuencas Guatapurí, Badillo, Manaure y Espíritu Santo.

Finalmente, los valores más bajos de clasificación 1 y 2 están en las zonas de bosque seco tropical y húmedo subtropical, en donde los cauces principales desembocan sus aguas y depositan sedimentos, siendo estas zonas las que reportan menor geodiversidad y menores alturas. Con base a lo anterior se obtiene que las cuencas de los ríos Guatapurí, Badillo, Manaure y Espíritu Santo presentan valores acordes a su gran potencial geo turístico y de alta importancia como patrimonio geológico para la región. Los mapas resultantes se pueden observar en la Ilustración 19 y 20.

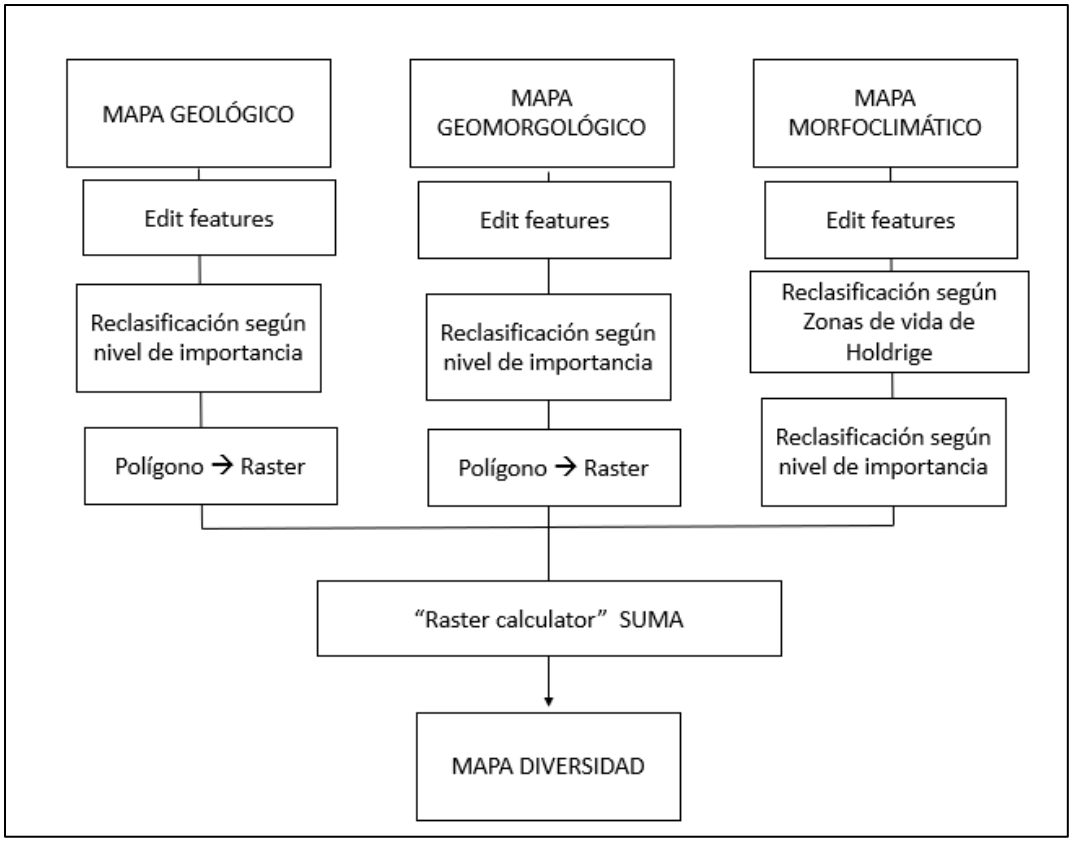


Ilustración 18.Flujograma metodológico para el cálculo de la geodiversidad.

CLASIFICACION	VALORES
1	3-5
2	5-7
3	7-8
4	8-11
5	11-15

Tabla 9.Asignación de valores de pesos y reclasificación del mapa de geodiversidad a partir de lo visto en (NAJWER A., 2016) para las cuencas del rio Badillo, Espíritu Santo, Manaure y Guatapurí.

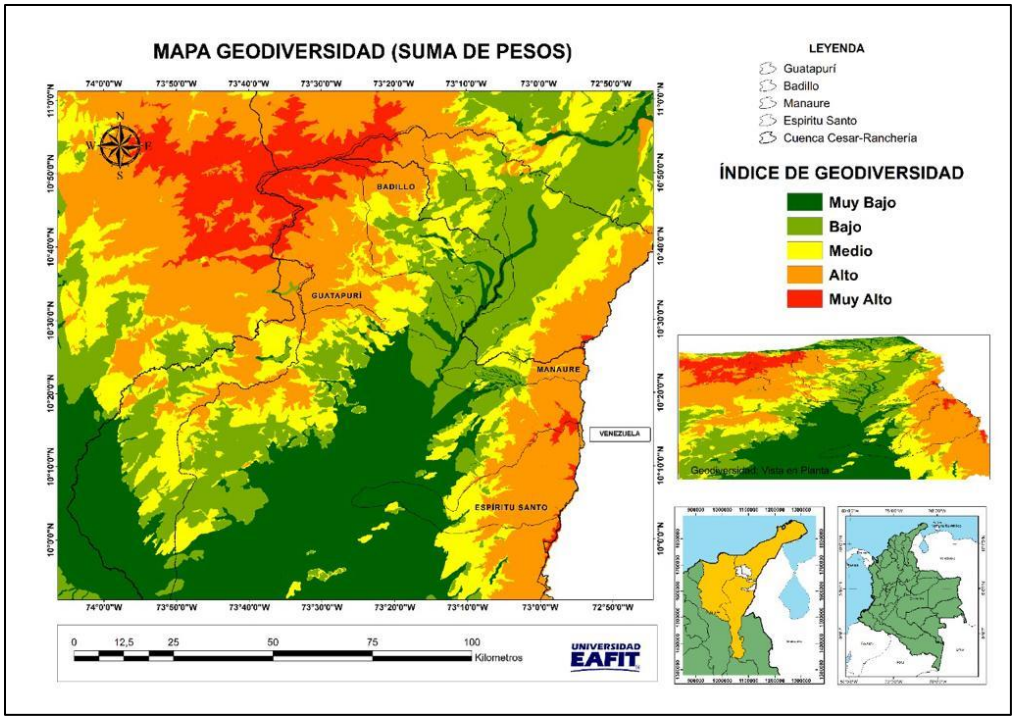


Ilustración 19.Mapa Geodiversidad cuenca ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo.

6. Discusión

El presente proyecto, genera una de la primeras herramientas necesarias, en este gran esfuerzo, que se vienen emprendiendo por parte del grupo de Investigación en Geología Ambiental, en cabeza de la profesora María Isabel Marín, para el acompañamiento a la comunidades indígenas en la Sierra Nevada de Santa Marta y la baja Guajira, para la formulación ante el servicio geológico Colombiano y la UNESCO de geoparque aspirante, se espera que un horizonte de cinco años, se vea consolidado este megaproyecto.

La cuenca de los ríos Badillo, Guatapurí, Manaure y Espíritu Santo, representan zonas de gran importancia ecosistémica y de geodiversidad ya que además de poseer todos los pisos térmicos presenta una alta riqueza respecto a flora y fauna y además presenta parte relevante de la geología del bloque Maracaibo. Estas cuencas están localizadas sobre una zona declarada como parque Nacional Natural por INDERENA (1971), además de ser declaradas zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente en 2018. Los ríos principales de las cuencas en estudio de la SNSM son de gran importancia hídrica en el departamento del Cesar, estos nacen del deshielo glaciar de la SNSM, en Pico Bolívar y Pico Colon y suministran agua a todos los pobladores aledaños de la zona. Sobre ambas cuencas también se localizan varias tribus indígenas ancestrales del país de gran importancia cultural e histórica para

el patrimonio colombiano, las cuales consideran la zona como un “territorio de espacio sagrado”, dentro de estas tribus están: Pueblo Kogi, Arhuaco, Wiwa y Kankuamo, entre otras (Consorcio Guatapurí- Cesar, 2017). Hacia la cuenca del río Manaure según lo propuesto por (Wokittel, 1957) la elevación más alta, según los mapas existentes, son Cerro Pintado, este cerro tiene el aspecto de una altiplanicie formada por estratos casi horizontales, cortados por los profundos cañones de los ríos Villanueva y Manaure, siendo estos afluentes en el lado colombiano y Cerro El Avión. Hacia la cuenca del río Espíritu Santo, se encuentran los nacimientos importantes de agua que abastecen a las comunidades de Agustín Codazzi y el corregimiento de Casacara gracias a su grado de conservación actual, y al ser el hogar de dos etnitas indígenas los yuko-yupkas y los Baris, etnias que están casi extinguidas (IDEAM-MinAmbiente, 2006), conservan diversidad de individuos de flora y fauna en las zonas de vida bh-ST, bmh-MB y bmh-M y bp-M, que corresponden a las zonas de páramo ubicadas por encima de la cota 3.000. Otros ecosistemas estratégicos son Cerro Pardo, Cerro Cara de Hombre y el Cerro Mira Flores (CORPOCESAR, 2009).

6.1. Análisis de la resolución de la geodiversidad

Para la ejecución del análisis de la cuantificación de la geodiversidad en el PNN SNSM y SP se empleó el estudio de (Najwer, 2016) , sin embargo, se realizaron algunas modificaciones de esta para una mejor obtención de los resultados, bajo las indicaciones de la directora del proyecto. Para los mapas se empleó una extrapolación de los tamaños de pixel 30x30 del DEM, así como capas climáticas de tamaño de 30x30 en pixel, siendo así de mayor resolución que el mapa de variables climáticas de (Najwer, 2016) además, los datos climáticos empleados fueron extraídos de la página del IDEAM (http://www.ideam.gov.co), para un periodo de 29 años entre 1981 y 2010, donde posteriormente se calculó la media anual (Fick, 2017), y por último, la escala geológica que se empleo fue de 1:100.000 y no 1:50.000 como la empleada por (Najwer, 2016) en Polonia. Por tanto, la calidad de los datos suministrados para procesar y crear el mapa resultante de geodiversidad al ser de calidad y resolución variable, el algoritmo de ArcGis (software de SIG) proceso el resultado con el tamaño del ráster de la capa de información que contenga la menor calidad de resolución. Lo que indica que para obtener en el futuro una mejor resolución se debe mejorar la escala del mapa climático, el cual en este caso es el de menor resolución. Sin embargo, el mapa resultante se convierte en la primera aproximación del cálculo de la geodiversidad a escala regional y local, resaltando aquellos lugares de mayor importancia, los cuales coinciden en su mayoría con los polígonos establecidos por Unidad de Parques Nacional Naturales de Colombia.

Adicionalmente, con el fin de tener una mejor visión de la geodiversidad de la zona de estudio, se realizaron dos mapas resultantes de geodiversidad, uno basado en la reclasificación por defecto con “natural breaks”, en 5 clases el cual es elegido por el software y el otro basado en la

superposición de pesos de (Najwer, 2016) (Ilustración 20). Las diferencias fueron pocas, indicando que a la escala regional con cartografía 1:100.000, ambas aproximaciones son válidas, sin embargo, se puede observar como por medio de la reclasificación por defecto se genera una disminución en 4, el cual corresponde índice de geodiversidad alto y se reemplaza por 3, el cual corresponde a índice de geodiversidad medio. Con base a esto se considera que, por medio de la suma de pesos de los mapas previamente obtenidos y reclasificados de geología, geomorfología y morfoclima se obtienen mejores resultados, para este caso en particular.

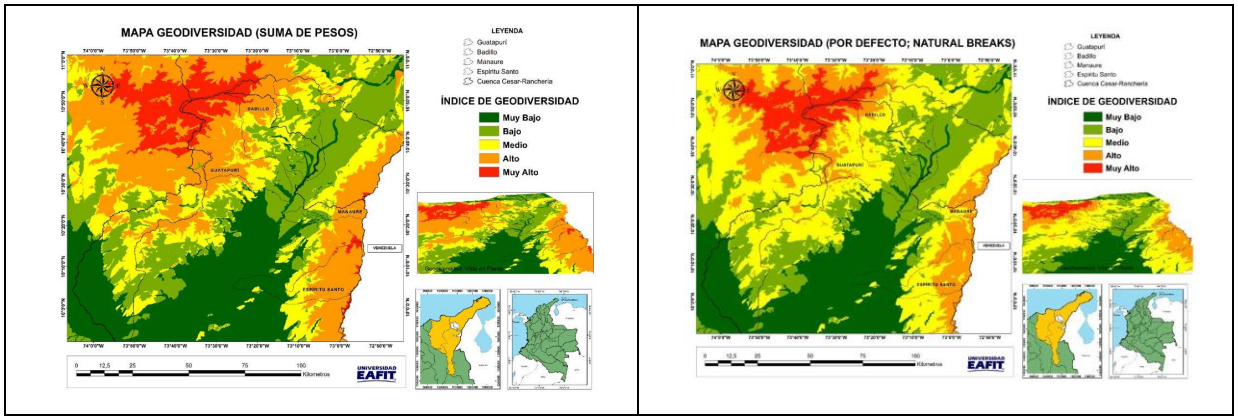


Ilustración 20.Mapas de Geodiversidad reclasificados por método de superposición de pesos y Natural Breaks

6.2. Valor Cultural vs Valor Socioeconómico

Entendiendo el contexto de la región donde se ubica la SNSM y la SP, se habla de una zona biodiversa, económicamente rica en recursos naturales y minerales, con un patrimonio cultural y étnico donde se arraigan pueblos ancestrales, el potencial de geoconservación y la gestión integral del patrimonio geológico se hace aún más imperante. Para ello en el presente estudio realizó la superposición de los polígonos existente de resguardos indígenas, títulos mineros vigentes y en proceso de solicitud y así como las áreas de protección a los drenajes principales en la zona, con el fin de adicionar otros parámetros al mapa de cuantificación de la geodiversidad.

Zona de Resguardo, se definen como "…*aquellas zonas naturales y/o ecosistémicas que presentan altos valores respecto a biodiversidad, ecología y cultura, las cuales se han conservado de manera voluntaria por las comunidades locales y/o indígenas a través de normas de manejo y costumbres tradicionales de los pobladores*" (Riascos de la Peña, 2008). En Colombia, las zonas de resguardo están definidas como instituciones legales y sociopolíticas de carácter especial, conformado por 1 o más comunidades indígenas, las cuales por medio del título de propiedad colectiva tienen la capacidad de poseer y regir el territorio y darle un manejo autónomo, todo lo anterior amparado por el articulo 21 decreto 2164/95 (Riascos de la Peña, 2008). Según el decreto 662 de 1977, en Colombia generalmente se declaran zonas de parques nacionales

naturales bajo la constitución de la reserva indígena que esté presente en el territorio y por medio de la cual se debe garantizar el respeto por la permanencia, el bienestar de la comunidad y el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en la zona. En Colombia existen 18 áreas de parques naturales y 40 resguardos indígenas, todos cobijados por el decreto mencionado anteriormente. Para los años 80 se constituyeron cerca del 80% de resguardos del país, siendo un total de aproximadamente 600 (Riascos de la Peña, 2008). Al mismo tiempo el impacto económico, ambiental, social y cultural que puede ocasionarse a una comunidad indígena o negra por la explotación de recursos naturales dentro de su territorio, está regulado en el marco del decreto 1320 de 1998, por el cual se reglamenta de manera especial la consulta previa a las comunidades indígenas y negras tradicionales mediante un procedimiento específico que permite a las autoridades ambientales ejercer su competencia en esa materia y cumplir con el art. 76 de la ley 99 de 1993 (Mininterior, 1998). Según se expresa en art.3 de dicho decreto, cuando el proyecto, obra o actividad se pretenda realizar en zonas no tituladas y habitadas en forma regular o permanente por comunidades indígenas o negras susceptibles de ser afectadas con el proyecto, le corresponde al Ministerio del Interior certificar la presencia de dichas comunidades, el pueblo al que pertenecen su representación y ubicación geográfica (Mininterior, 1998).

Zonas de explotación minera, las zonas de explotación minera deben tener previsto un proceso de abandono y cierre de la mina, que incluya la recuperación del paisaje y la inversión social, por lo cual se hace necesario explorar herramientas como la protección del Patrimonio geológico-minero dentro de dicho proceso. Además, según lo propuesto en (CAR, s.f.) el plan de manejo de recuperación y restauración ambiental – PMRRA, es un instrumento de manejo y control ambiental que comprende estrategias, acciones y técnicas aplicables en zonas intervenidas por la minería con el fin de corregir, mitigar, y compensar los impactos y efectos ambientales ocasionados, que permitan adecuar las áreas hacia un cierre definitivo y uso post minería, y esta se establece como zonas no compatibles con la minería en una post-operación. Con el establecimiento del PMRRA, se busca la recuperación, reconformación y protección de la diversidad e integridad del medio ambiente y a su vez se garantiza la conservación de áreas de especial importancia ecológica, con el firme propósito de respetar el uso y aprovechamiento de nuestros recursos naturales, de tal forma que los mismos no se agoten y puedan ser disfrutados por nuestras generaciones futuras (CAR, s.f.). La normativa de estas está dada por: Ley 99 de 1993, Resolución 0222 de 1994 y Resolución 1197 de 2004, emanadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy MinAmbiente. Es importante resaltar que los impactos ambientales generados por la actividad minera en el país son los mayores causantes del deterioro y perdida de los recursos naturales renovables y por tanto genera la imposibilidad de disfrutar de un ambiente sano por parte de la humanidad (CAR, s.f.).

Ronda hídrica o hidráulica, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se define como "*un área de especial importancia ecológica de dominio público inalienable, imprescriptible e inembargables que juegan un papel fundamental desde el punto de vista ambiental*". Según La Guía para el Acotamiento de las Rondas hídricas de los Cuerpos Agua de acuerdo con lo establecido en el artículo 206 de la ley 1450 de 2011 también se detalla como: "*zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua*". Las Corporaciones Autónomas Regionales, establecidas por la ley 99 de 1993, tendrán a su cargo la definición de las políticas ambientales, el manejo de los elementos naturales, las normas técnicas para su conservación, preservación y recuperación de los elementos naturales del espacio público (Minambiente-UNAL, 2017). Teniendo en cuenta el marco constitucional y legal expuesto en materia ambiental y de ordenamiento y uso del suelo, se concluye que las Corporaciones Autónomas Regionales, los grandes centros urbanos a que se refiere el artículo 66 de la ley 99 de 1993 y los establecimientos públicos creados por el artículo 13 de la Ley 768 de 2002, son las entidades competentes para delimitar la ronda de que trata el literal d del artículo 83 del decreto ley 2811 de 1974, (Una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua), la cual se constituye una determinante ambiental de conformidad al artículo 10 de la ley 388 de 1997 que debe ser tenida en cuenta como de superior jerarquía por los municipios y distritos (Minambiente-UNAL, 2017).

El mapa resultante, se convierte a su vez en una evidencia de los conflictos de interés existentes en la zona de la SNSM y SP, donde valores altos de geodiversidad 4 y 5 están superpuestos con títulos mineros vigentes o en solicitud de ser aprobados; a su vez se identifica la sustracción de terreno en la mayoría de las reservas y la explotación de recursos en zonas de resguardo. Para procesos futuros en torno a la gestión integral del patrimonio geológico, entidades como el Servicio Geológico, la ANLA, las Corporaciones Autónomas Regionales y el MinAmbiente, como entidades de reguladoras deberán concertar mesas de diálogo que permitan llevar a cabo proceso de geoconservación deben involucrar los componentes bióticos, abióticos y culturales, teniendo en cuenta a su vez como hacer partícipes a la industria minera hacia la construcción de corredores de patrimonio geológico y minero, que podrían llevarse a cabo durante su operaciones de cierre y de retribución a las comunidades que han sido de alguna forma impactadas por las operaciones mineras final, se puede observar los mapas resultantes de aplicar esta metodología en la Ilustración 21.

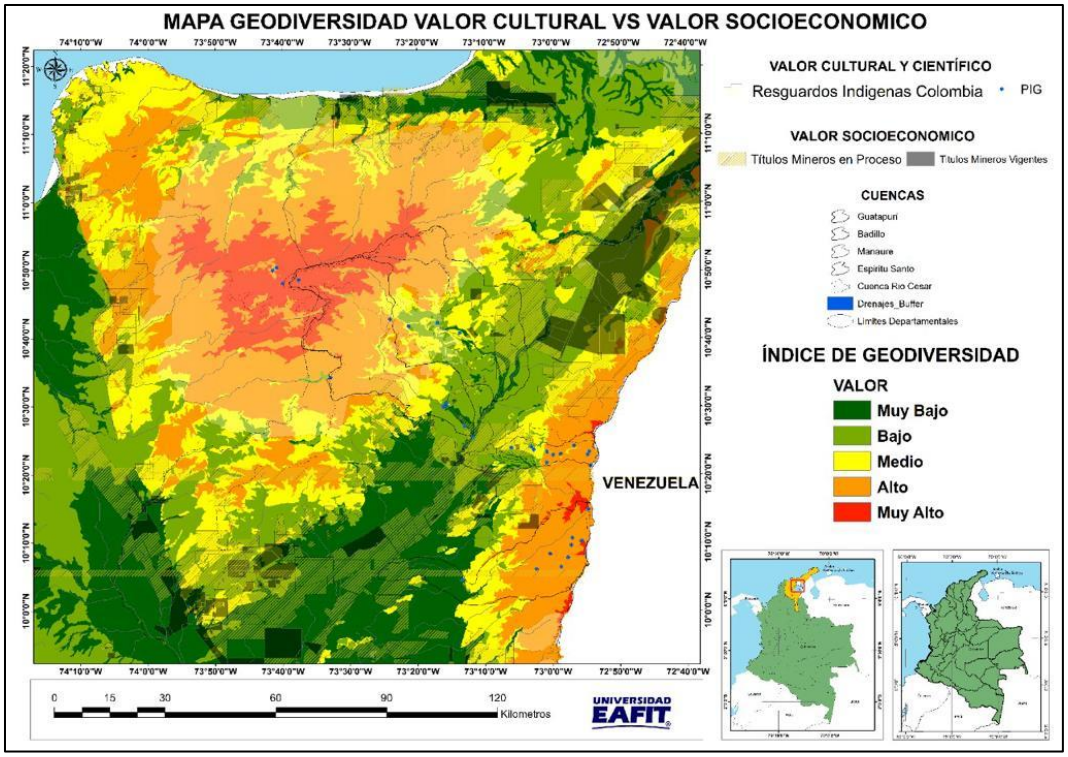


Ilustración 21.Mapa Geodiversidad. Valor cultural VS valor socioeconómico

Adicionalmente, los PIG's inventariados se convierten en una importante base de datos para la gestión local del patrimonio geológico, con miras hacia el futuro cercano de la consolidación del geoparque Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá. Con el fin de generar procesos de comunicación geocientífica, adicional a esto se dispuso la realización de un infográfico sobre la evolución de la Cuenca Cesar-Ranchería presentado en la Ilustración 22 y generado a partir de la información recolectada para el desarrollo del presente proyecto. Se propone que hacía futuro, se logre hacer una conexión entre los PIG´s inventariados y georutas, que permitan navegar por la maravillosa historia de la formación de dichas cuencas.

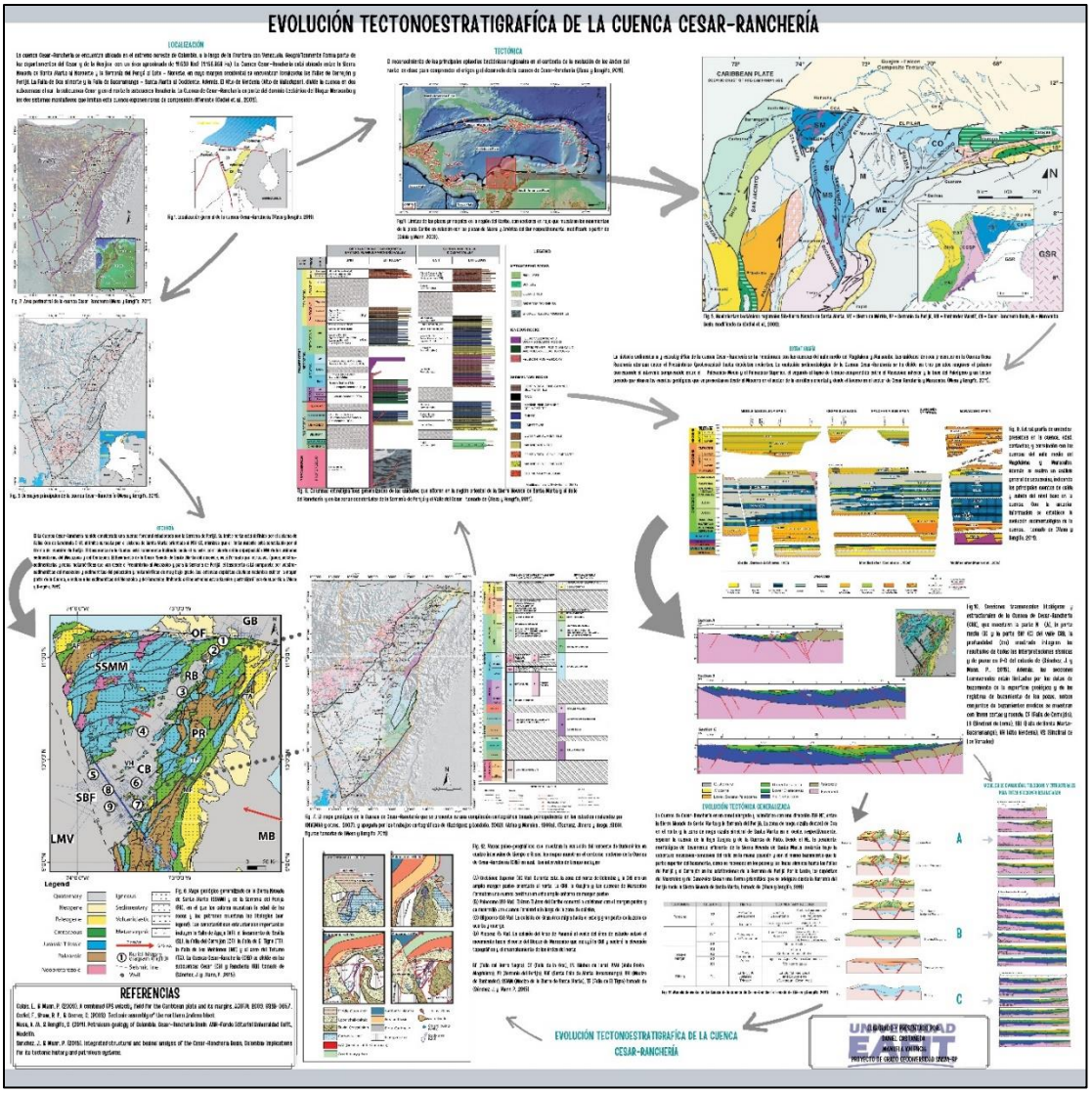


Ilustración 22.Evolución Tectonoestratigráfica cuenca Cesar-Ranchería

7. Conclusiones

El análisis de la geodiversidad por medio de mapas elaborados en el software ArcGIS, empleando la clasificación multicapa y la modificación de datasets permite la interpretación, cuantificación, descripción y comparación de los distintos elementos del paisajes con base a criterios geomorfológicos, geológicos y morfoclimáticos, siendo esta una herramienta útil y objetiva para el entendimiento de la geocomplejidad de la evolución de la corteza; Otra de las aplicaciones que tiene el análisis de la geodiversidad es el uso de esta información para la gestión del territorio cuyo propósito sea una mejor caracterización, protección, conservación y manejo del patrimonio geológico. Es importante resaltar que la conservación de los elementos geológicos es complementaria con la bioconservación para el equilibrio natural del sistema. Por último, se destaca que la evaluación de los elementos geológicos y geomorfológicos es necesaria ya que

permite la interpretación de la evolución de La Tierra, su historia y comportamiento a través del tiempo.

Con base a los resultados obtenidos en los mapas y posterior análisis de los mismos, se puede concluir que tanto la cuenca del rio Badillo como la cuenca del rio Guatapurí son de gran importancia respecto a la geodiversidad en el caribe colombiano, teniendo en cuenta el enfoque del trabajo, en donde las zonas de pisos térmicos altos y medios corresponden a zonas glaciares y periglaciares, que además de brindar recursos naturales importantes para el hábitat de la flora, fauna y pobladores de la zona, permite interpretar la evolución geológica de la SNSM a través del tiempo gracias a sus geoformas actuales y heredadas, representadas en la superficie del terreno. Tanto la riqueza paisajística como la diversidad ecológica del área son el resultado de procesos que actuaron sobre el terreno en el pasado y algunos de los cuales siguen teniendo influencia en el presente. La cuenca de los ríos Guatapurí y Badillo representan altos valores de geodiversidad y biodiversidad acordes con el gran potencial geoturístico y geohistórico de la región, por lo cual se considera vital su geoconservación e iniciar procesos de recuperación en las zonas degradadas producto de actividades antrópicas.

Por medio de los resultados obtenidos de los mapas y el análisis de sus componentes, se determinó que las cuencas de los rio Manaure y Espíritu Santo poseen rasgos de geodiversidad alto respecto a la región Caribe, y un contexto climático único que genera variaciones de pisos térmicos marcados por la presencia de fauna y flora endémicas de la zona, posee ecosistemas de paramo y subpáramo que crean y sustentan las fuentes hídricas de la región, así mismo mantienen el habita idóneo para ser un corredor ecológico y biodiverso, las estructuras, plegamientos y geoformas modeladas por la incisión de estos afluentes sirve para entender la evolución geológica de la SP y el modelamiento del paisaje recientes. Además, los cambios abruptos del relieve permiten entender la fragmentación y unión de los terrenos geológicos que interactúan en la zona, resaltando también la presencia de actividad erosiva alta producto de una edad de levantamiento orogénico reciente. Las cuencas de los ríos Manaure y Espíritu Santo, son zonas con un alto potencial de geositios, que alimentan la riqueza del patrimonio geológico del país y lo hacen ser zonas idóneas para la geoconservación y preservación.

8. Recomendaciones

Para estudios futuros se sugiere una mejora en tres aspectos principales:

Primero, aumentar de la calidad de los raster, los cuales sirven de insumo para generar un mapa de geodiversidad más acertado a la realidad, para esto se sugiere mejorar la resolución del raster morfoclimático a partir de balances hídricos a largo plazo donde se incluya la evapotranspiración y humedad relativa, además de promedios mensuales multianuales de precipitación y temperatura, desarrollar un raster morfométrico a partir de las variables morfométricas de relieve relativo, rugosidad, curvatura y pendientes, calibrándolo junto con el DEM, mejorar la escala de información de las unidades geológicas para obtener una mayor resolución del raster geológico y generar un raster a partir de información hidrológica que caracterice los procesos hídricos que modelan el paisaje de la zona de estudio.

El segundo, es el mejoramiento del mapa resultante de la cuantificación de geodiversidad a partir de la aplicación de métricas del paisaje para acercar y calibrar el mapa a una representación mucho más acertada a la realidad de la zona de estudio, para esto se propone el uso del software FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, para obtener un resultado, menos subjetivo en el mapa final de geodiversidad.

El tercero, radica en cambiar la estructura de análisis de la metodología de una heurística a cuantitativa, además de hacer el cálculo numérico del valor cultural y científico de los PIG´s.

9. Referencias

Alvarez, J., Ardila, C., Brito, J., Manjarrez, J., Berbesi, C., & Daza, C. (2017). *Informe estudio microcuenca tramo del río Badillo.*

ANH. (2009). *Informe Final Cuenca Cesar-Ranchería.*

Argyriou, N., Teeuw, R., & Apostolos , S. (2017). *GIS-based landform classification of Bronze Age archaeological sites on Crete Island.*

Benito-Calvo, A., Perez-Gonzales, A., Magri, O., & Mesa, P. (2009). Assessing regional geodiversity: the Iberian peninsula. *Earth Surf.*

Brilha, J. (2005). *Património geológico e geoconservação : a conservação da natureza na sua vertente geológica.*

Brilha, J. (2018). Geoheritage: inventories and evaluation. (E. B. Reynard, Ed.) *Geoheritage: Assessment, Protection, and Management, 1*, 69-86.

CAR. (s.f.). *Plan de manejo de recuperación y restauración ambiental (PMRRA)*. Obtenido de https://www.car.gov.co/: https://www.car.gov.co/vercontenido/1186

Carcavilla, L., Duran, J., & Lopez-Martinez, J. (2008). *Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico.* Madrid.

Carcavilla, L., Lopez-Martinez, J., & Duran, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos.

Castaño, C. (1999). *Sierras y serranías de Colombia*. Recuperado el 19 de septiembre de 2020, de Sierras y serranías de Colombia, capítulo 9: http://www.imeditores.com/banocc/sierras/

Cediel, F. e. (2019). *Geology and Tectonics of Northwestern South America.* (R. P. Fabio Cediel, Ed.) Medellín, Colombia: Springer.

Cediel, F., Shaw, R., & Caceres, C. (2003). *Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En C. Bartolini, R. T. Buffler, & J. F. Blickwede (Eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation, and Plate Tectonics, AAPG Memoir 79.*

Colmenares, F., Mesa, A. M., Roncancio, J., Arciniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A., . . . Vargas, A. F. (2007). *GEOLOGÍA DE LA PLANCHAS 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26,27, 33 Y 34. PROYECTO: "EVOLUCIÓN GEOHISTÓRICA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA".* Bogotá D.C.

Consorcio Guatapurí- Cesar. (2017). *FORMULACION POMCA RIO GUATAPURI.* VALLEDUPAR.

Consorcio Pomca Quindio. (2018). *POMCA del rio La Vieja.*

CORPOCESAR. (2009). *Fase Prospectiva Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la subcuenca hidrográfica del río Magiriaimo, municipios de Agustín Codazzi, La Paz y San Diego en el departamento del Cesar.* Ejecutivo, Cesar, Valledupar.

Fick, S. a. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology, 37 (12)*, 4302-4315. doi:https://doi.org/10.1002/joc.5086

Galán, C., Viloria, A., & Herrera, F. (1992). *Rasgos ecológicos y climáticos de Mesa Turik, Sierra de Perijá, Venezuela. Sociedad venezolana de Espeleología.*

Gelvez-Chaparro, J., Barajas-Rangel, D., Herrera-Ruiz, J., & Ríos-Reyes, C. (2020). *Introducción al Geopatrimonio kárstico del municipio de El Peñón (Santander), Colombia. Boletín de Geología, 42(2), 147-167.*

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, 1*, 13-25.

IDEAM. (s.f.). Obtenido de Obtenido de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/sierra-nevada-santa-marta

IDEAM-MinAmbiente. (2006). Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019679/SerraniadelosMotilones.pdf

Instituto Humboldt – CORPOCESAR. (2014). *Estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales para la identificación y delimitación del entorno regional del complejo del páramo de la serranía del Perijá, en el departamento del cesar, a escala 1:100.000.* Resumen Ejecutivo, Cesar, Valledupar.

Lazala, M. (2007). *Geología. En: J. O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica V. La alta montaña de la serranía de Perijá.*

Minambiente-UNAL. (mayo de 2017). *http://www.andi.com.co/.* Obtenido de GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA: http://www.andi.com.co/Uploads/Guia_AcotamientoRondas_Hidricas_CP.pdf

Minenergía. (2018). *Decreto Número 1353 del 31 de Julio de 2018. Ministerio de Minas y Energía.*

Mininterior. (1998). *https://www.mininterior.gov.co/.* Obtenido de DECRETO 1320 DE 1998: https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/co-decreto-1320-98-consulta-previa-indigenas-_2.pdf

Najwer. (2016). Geodiversity and biodiversity of the postglacial landscape (dębnica river catchment, Poland). *Quaestiones Geographicae, 35(1)*, 5–28.

Nieto, L. (2001). *Geodiversidad: propuesta de una definición integradora.*

Parques Nacionales Naturales- MinAmbiente. (2005). *PMA SNSM.*

Plataforma Educativa Magnaplus. (s.f.). Obtenido de https://www.magnaplus.org/articulo/-/articulo/AD3565/sistema-morfoclimatico#:~:text=Se%20conoce%20como%20sistema%20morfoclim%C3%A1tico,que%20predominan%20en%20esas%20zonas.

Rangel, C. (2007). *La alta montaña de Perijá: consideraciones finales. En: J.O. Rangel-Ch. (ed.). Colombia Diversidad Biótica V. La alta montaña de la serranía de Perijá.*

Riascos de la Peña, J. C. (2008). *Caracterización de las áreas indigenas y comunitarias para la Conservación en Bolivia, Ecuador y Colombia."Understanding and Promoting Community Conserved Areas (CCAS) for Conservation of Biodiversity and Sustainable, Natural Resources in Andean Region".* Colombia.

Sánchez-Botello, C., Velandia, G., Ríos-Reyes, C., Manco-Jaraba, D., Rojas-Martínez, E., & Castellanos-Alarcón, O. (2018). *Geological occurrence of the ecce homo hill´s cave, chimichagua (cesar), Colombia: an alternative for socio-economic development based on geotourism.*

SGC. (2020). Obtenido de https://www2.sgc.gov.co/patrimonio/Paginas/normativa.aspx

Sharples, C. (1993). *A Methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes; Report to Forestry Commission, Tasmania.*

Tavera, M., Estrada, N., Errázuriz, C., & Hermelin, M. (2017). *Georutas o itinerarios geológicos: un modelo de geoturismo en el Complejo Volcánico Glaciar Ruiz-Tolima, Cordillera Central de Colombia.*

UNESCO. (2010). *Directrices y criterios para Parques Nacionales interesados en recibir asistencia de la UNESCO para integrar la Red Mundial deGeoparques (GGN) .*

Viloria de la hoz, J. (2005). *SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA: ECONOMÍA DE SUS RECURSOS NATURALES.*

Viloria, J. (2011). Economía extractiva y pobreza en la ciénaga de Zapatosa. (M. Aguilera, Ed.) *Banco de la República: Colección de Economía Regional*.

Wiedenbein, F. (1993). *Ein Geotopschutzkonzept für Deutsch-land. In: Geotopschutz Probleme: der Methodik und der Praktischen.Saarbrucken, Germany: University of Saarland.*

Wimbledon, W. (2012). *Geoheritage in Europe and its conservation* (Vol. 405). Oslo, Nuruega: ProGEO. doi:10.18814/epiiugs/2013/v36i1/010

Wokittel, R. (1957). *Bosquejo geográfico y geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta y la Sierra Nevada de Perijá. Boletín Geológico.*

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

10. Anexos

ANEXO 1. Geodatabase SP Y SNSM.

ANEXO 2. Listado de Puntos de Interés Geológico PIG-SNSM Y PIG-SP.

ANEXO 3. Mapas SNSM Y SP.

ANEXO 4. Evolución Tectonoestratigráfica Cuenca Cesar-Ranchería (CRB).