Reconstrucción Orográfica

por Diego Y Lenin Carvajal Y Espitia

Fecha de entrega: 28-mar-2023 11:34p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2049715436
Nombre del archivo: FDC-125_INFORME_FINAL_DE_PROYECTO.pdf (2.4M)
Total de palabras: 13881
Total de caracteres: 83795

Reconstrucción orográfica en la zona alta de la subcuenca del río Tona como aporte a la seguridad hídrica y la planeación del territorio

Monografía

Diego Armando Carvajal Rueda. C.C: 1 098 654 222
Lenin Gerardo Espitia Quiroga. C.C: 91 283 442

Unidades Tecnológicas De Santander
Facultad De Ciencias Naturales E Ingenierías
Ingeniería En Topografía
Bucaramanga 07-03-2023

Reconstrucción orográfica en la zona alta de la subcuenca del río Tona como aporte a la seguridad hídrica y la planeación del territorio.

Monografía

Diego Armando Carvajal Rueda. C.C: 1 098 654 222
Lenin Gerardo Espitia Quiroga. C.C: 91 283 442

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo

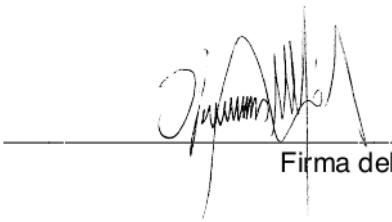
Director
Clara Inés Torres Vásquez

Grupo De Investigación Medio Ambiente Y Territorio - GRIMAT

Unidades Tecnológicas De Santander
Facultad De Ciencias Naturales E Ingenierías
Ingeniería En Topografía
Bucaramanga 07-03-2023

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título
De Ingeniero Topógrafo
Según acta #1 del Comité de Proyectos de Grado
Del 14-02-2023
Docente evaluador: Ing. Germán Alberto Suárez
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

A Dios por guiar nuestras vidas, por permitirnos llevar a cabo esta monografía y culminar con éxito este ciclo educativo.

A nuestros familiares y amigos, quienes estuvieron apoyándonos incondicionalmente en este proceso, han sido nuestra mayor motivación para no rendirnos y continuar con aún más fuerza.

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el amor, la confianza y el apoyo brindado en todo momento, en especial durante el proceso académico.

Nuestros sinceros agradecimientos a Clara Inés Torres Vásquez Docente, Geóloga y Magister, directora de esta monografía, gracias por su dedicación, colaboración y compromiso. A los demás docentes que, a través de sus conocimientos y experiencias, nos han permitido aprender y formarnos como profesionales íntegros.

Finalmente, gracias a nuestra alma mater Unidades Tecnológicas de Santander, por su compromiso con la sociedad de formar grandes y excelentes profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 10

INTRODUCCIÓN 11

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 13

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13
1.2. JUSTIFICACIÓN 15
1.3. OBJETIVOS 16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 16
1.4. ESTADO DEL ARTE 17

2. MARCO REFERENCIAL 22

2.1. MARCO CONCEPTUAL 22
2.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO 22
2.1.2. CARTOGRAFÍA TEMÁTICA. 23
2.1.3. CUENCA HIDROGRAFÍA 23
2.1.4. ECOSISTEMA 24
2.1.5. GEOMORFOLOGÍA 24
2.1.6. IMAGEN SATELITAL 25
2.1.7. RELIEVE 25
2.1.8. OROGRAFÍA 25
2.2. MARCO TEÓRICO 26
2.3. MARCO LEGAL 32

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION 34

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO 36

4.1. UBICACIÓN SUBCUENCA RIO TONA. 36
4.2. CONDICIONES GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS 37
4.2.1. GEOLOGÍA 37
4.2.2. GEOMORFOLOGÍA 38
4.3. ADQUISICIÓN DEM 42
4.3.1. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 42
4.4. VARIABLES TOPOGRÁFICAS 44
4.4.1. PENDIENTE 45
4.4.2. ALTITUD 46

4.4.3. HILLSHADE 48

5. RESULTADOS 51

5.1. PENDIENTES 51
5.2. ALTITUD 53
5.3. HILLSHADE 55

6. CONCLUSIONES 57

7. RECOMENDACIONES 58

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema Metodológico 35
Figura 2. Ubicación Subcuenca Rio Tona 36
Figura 3. Veredas Subcuenca Rio Tona..... 37
Figura 4. Fallas Geológicas Subcuenca Rio Tona..... 38
Figura 5. Alaska Satellite Facility..... 42
Figura 6. Subcuenca Rio Tona - Alaska Satellite Facility 43
Figura 7. Filtros de Busqueda - Alaska Satellite Facility 43
Figura 8. Modelo digital de Elevación - Subcuenca Rio Tona..... 44
Figura 9. Model Builder - Pendientes Subcuenca Rio Tona 46
Figura 10. Model Builder - Pisos altitudinales Subcuenca Rio Tona..... 48
Figura 11. Arctoolbox – Hillshade..... 49
Figura 12. Mapa de pendientes - Subcuenca Rio Tona..... 52
Figura 13. Diagrama de pendientes - Subcuenca Rio Tona. 53
Figura 14. Mapa de Pisos Altitudinales - Subcuenca Rio Tona. 54
Figura 15. Diagrama de Pisos Altitudinales - Subcuenca Rio Tona..... 55
Figura 16. Mapa de Sombras - Subcuenca Rio Tona..... 56

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Normatividad ambiental en Colombia. 32
Tabla 2. Unidades Geomorfológicas Subcuenca Rio Tona 39
Tabla 3. Variables de parametrización. 45
Tabla 4. Clasificación de Pendientes 45
Tabla 5. Clasificación Pisos Térmicos 47
Tabla 6. Tabla de pendientes (Áreas) 51
Tabla 7. Tabla de pisos altitudinales (Áreas) 53

RESUMEN EJECUTIVO

La presente monografía consiste en un análisis de información existente y que se debe tener en cuenta para la reconstrucción de un modelo orográfico en la subcuenca del Rio Tona. La metodología consistió en la descripción Geológica y Geomorfológica de la zona con la información existente suministrada por la CDMB y en la generación de cartografía temática de pendientes, pisos altitudinales, mapa de sombras mediante el Modelo digital de elevación previamente obtenido de ALOS PALSAR.

Esta monografía presenta los modelos de geoprocesamiento elaborados en la herramienta ModelBuilder del software ArcGIS, permitiendo realizar la clasificación de pendientes según los rangos establecidos por el IGAC y los rangos de los pisos altitudinales propuestos por el IDEAM respectivamente, con el fin de impactar de forma directa a la comunidad dando herramientas para la adecuada planeación del territorio en pro del desarrollo sostenible y la conservación de la Subcuenca Rio Tona.

Palabras Claves: Planeación Territorial, Geomorfología, Modelo digital de Elevación, Orografía.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país en el que su superficie terrestre no es del todo uniforme. El relieve colombiano influye en muchos aspectos como: en el clima, en la fauna, la agricultura, la ganadería, la minería, incluso en la población y en sus costumbres. (Rodriguez Jimenez, 1976). El estudio del relieve es la orografía.

Estas condiciones orográficas del país han modelado las cuencas en una gran diversidad de formas y tamaños, dando lugar a sistemas hidrográficos complejos. Las cuencas constituyen una variedad de ecosistemas los cuales otorgan bienes y servicios invaluables a la comunidad como lo son: el suministro de agua, regulación del caudal de los ríos, mantenimientos de los regímenes hidrológicos, entre otros; es por eso que aportar cartografía temática facilita entender y gestionar el territorio, contando con elementos de juicio a la hora de elaborar los planes territoriales en beneficio de la sociedad, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región

.

Por lo tanto, el objetivo principal de esta monografía es analizar la información existente para la reconstrucción de la orografía de la subcuenca del Río Tona mediante el uso de sistemas de información geográfica e información existente para aportar al fortalecimiento de la seguridad hídrica y a la planeación del territorio. Este tipo de estudios cuenta con antecedentes como lo es la “Corrección de la precipitación por orografía mediante modelación inversa en cuencas de la Cordillera De La Costa” , (Rojas, Muñoz, & Tume, 2016), los “Aportes a la conservación estratégica de los pasamos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de paramo a escala 1:100.000”, **(Sarmiento Pinzón, Sarmiento Giraldo, Zapata Jiménez, & Cadena Vargas, 2013)**, también el “Modelo SIG para la Zonificación Agroecológica de Cultivos. Estudio de caso Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas, Huila, Colombia” (Alarcón Trujillo, 2019).

Finalmente, como resultado de esta monografía se realizaron mapas temáticos de pendientes, pisos altitudinales, mapa de sombras mediante el Modelo digital de elevación, para llevar a cabo esta monografía se utilizaron los softwares ArcGIS, QGIS.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas las actividades antrópicas han ejercido mayor presión sobre los ecosistemas naturales, causando efectos ambientales negativos los cuales disminuyen cada vez más la calidad de vida del ser humano. (Bocco, Mendoza, Priego, & Burgos, 2009).

Una extensa superficie del país presenta problemas de erosión hídrica, degradación de los suelos, áreas expuestas a riesgos naturales. Según el IDEAM todos los suelos de los departamentos del país presentan algún grado de degradación por erosión, el departamento de Santander presenta 79.4% (IDEAM, 2017). La degradación de los suelos con lleva a una serie de dinámicas de orden ambiental, económico y social, como el aumento de amenazas naturales (deslizamientos, crecientes, sedimentación, inundaciones y sequías, entre otras), (IDEAM, 2019). Entre las causas de la degradación y la gestión insostenible de los suelos en el país se tienen: el desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su recuperación, restauración y rehabilitación, procesos de planeación y de ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta las características de los suelos, debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de los suelos, desarticulación institucional y carencia de normas e instrumentos para la gestión sostenible del suelo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia). Lo anterior indica que en Colombia dichos problemas se deben al uso inapropiado del territorio, lo cual impide el aprovechamiento de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas. En este sentido, el reconocimiento de un territorio y los recursos naturales con los que cuenta, permite identificar qué tipo de actividades pueden implementarse, ofreciendo una visión integral.

Los estudios hidrológicos, la evaluación y manejo de cuencas es una de las herramientas más importantes. Los estudios morfométricos y orográficos ayudan a conocer las características morfológicas de las cuales posee una cuenca hidrográfica. Muchos factores inciden en el comportamiento de una cuenca: relieve, tipo de terreno, ubicación, extensión, etc., dichas características aportan una idea, cada una por su cuenta, de las propiedades que tiene la misma. De acuerdo con (FEA, 2006), una cuenca hidrográfica es donde se pueden hacer compatibles las actividades humanas con la interacción e interdependencia de todos los recursos naturales que la integran; por ello es indispensable que la macro y la micro planeación inmediatas y futuras sobre el aprovechamiento se basen en esta referencia natural (Aguilar Sánchez & Godínez Martínez, 2019).

La cuenca hidrográfica objeto del presente proyecto corresponde a la subcuenca del rio Tona, está ubicada en el Departamento de Santander, territorialmente se distribuye un 91% al municipio de Tona y un 9% a Bucaramanga, tiene un área de 193.8 Km2 (CDMB, 2005). El uso de suelos en esta zona mayormente va dirigido a actividades de agropecuaria como cultivos de café, hortalizas y pastos para ganadería. Es una zona biodiversa, rica en flora y fauna; la cuenca hidrográfica se caracteriza por la buena calidad del agua, sus caudales y zonas boscosas. Sin embargo, en Los últimos años la subcuenca del rio Tona ha experimentado modificación en los ecosistemas naturales, lo anterior debido a la expansión urbana, cambios de uso del suelo, los cuales contribuyen a la transformación orográfica de la zona (CDMB, 2005).

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se estable la siguiente pregunta de investigación ¿Qué importancia tiene la reconstrucción orográfica en la subcuenca del Rio Tona en el fortalecimiento de la seguridad hídrica y en la planeación del territorio desde la Ingeniería en topografía?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En muchas cuencas hidrográficas a nivel nacional se observan problemas serios de carácter ambiental, como el inadecuado manejo forestal, el desarrollo de actividades agropecuarias insostenibles, la contaminación de fuentes hídricas, la presencia de riesgos naturales, la poca presencia de organizaciones sociales que velen por el bienestar de la cuenca y la falta del monitoreo ambiental, entre otros.

Por lo tanto, tener un conocimiento certero de la disponibilidad de recursos hídricos se vuelve un tema de importancia y necesidad. Para lograr esto es necesario recopilar información referente a su meteorología, pluviometría, geomorfología y orografía. El hecho de aportar cartografía temática que facilite la identificación espacial de las zonas de aptitud, permite tener elementos de juicio a la hora de dirigir apuestas productivas regionales, impulsadas por entes públicos o iniciativas privadas. Cabe mencionar que los Andes colombianos pertenecen al trópico, por lo tanto, presentan un relieve complejo y unas interacciones poco entendidas entre el suelo, la vegetación y la atmósfera. Son zonas con altas pendientes y con información orográfica limitada (Alarcón Trujillo, 2019)

La subcuenca del Rio Tona no es la excepción, esta subcuenca nace entre los páramos de Pescadero y Santurbán (cercanías del Cerro del Albedrío) con elevaciones máximas de 3850 m y con un área aferente de 208 km2. Esta subcuenca hidrográfica es la principal zona de abastecimiento de agua o recurso hídrico para Bucaramanga y su área metropolitana (CDMB, 2005). Dentro de esta zona se ha presentado un notable crecimiento poblacional que se refleja en la adaptación del paisaje natural con el desarrollo de algunas obras de infraestructura como por ejemplo: la construcción de la represa de Tona que tiene como fin regular los caudales del rio sobre todo en épocas de invierno donde los caudales crecen en exceso, de igual manera se ha presentado cambios en el uso de suelos

contribuyendo en la transformación de los ecosistemas, debido a esto es necesario llevar a cabo una reconstrucción orográfica del área de estudio.

La presente propuesta es importante ya que pretende dejar un producto como lo es la reconstrucción orográfica de la subcuenca del Rio Tona , esto en beneficio de la comunidad, teniendo en cuenta que estos estudios permiten tener conocimiento del territorio mismo en cuanto aptitud del suelo, recurso hídrico, amenazas. Lo anterior como aporte en el fortalecimiento de la seguridad y en la planeación del territorio. Este proyecto se desarrollará bajo las líneas de investigación del grupo GRIMAT, como lo son, gestión territorial, geomática y cambio climático, en busca del análisis y la evaluación del ambiente y el territorio para el beneficio de las comunidades

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Reconstruir la orografía de la subcuenca del Río Tona mediante el uso de información secundaria y sistemas de información geográfica, para aportar al fortalecimiento de la seguridad hídrica y a la planeación del territorio.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones y características físicas de la subcuenca del rio Tona, Santander mediante el estudio de información existente de las unidades geológicas y geomorfológicas.
- Determinar la orografía de la subcuenca del río Tona mediante el uso de imágenes satelitales y fotogrametría digital para aportar elementos de caracterización de la subcuenca del Rio Tona.

- Generar cartografía que represente el relieve de la subcuenca del Río Tona como aporte a la planeación del territorio.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Para llevar a cabo el estado del arte se revisaron artículos y proyectos de investigación referentes al tema. En estas se identificaron metodologías, procesos, resultados. A continuación, se presentan algunos trabajos:

El primer proyecto investigativo corresponde **"Caracterización y modelo hidrometeorológico en la cuenca del rio Atulapa, Guatemala"** Estos modelos juegan un papel fundamental en el control y monitoreo del recurso hídrico. El análisis de distribución de las diferentes variables meteorológicas, reflejan los cambios en la disminución o aumento de un registro a causa de factores como: la altitud, el relieve del terreno y la presión atmosférica.
El área de estudio de esta investigación corresponde a la cuenca del rio Atulapa el cual tiene una extensión de 42.72 km2. El principal rio tiene una longitud de 17.60 km. Para llevar a cabo el modelo hidrometeorológico se recopilo registros meteorológicos desde 1971 al 2016. Para evaluar los registros se utilizó modelos de regresión, dichos registros poseen comportamiento orográfico.
Los modelos hidrometeorológicos generados representaron la variabilidad climática en la cuenca en forma bidimensional, permitiendo un control y monitoreo del recurso hídrico en la cuenca, para la planificación del uso sostenible. (Santos, Faustino, & Quezada, 2017)

El siguiente proyecto es "**Corrección De La Precipitación Por Orografía Mediante Modelación Inversa En Cuencas De La Cordillera De La Costa**" Se llevo a cabo en las cuencas costeras de Chile, para cada cuenca se consideró como punto de

control las estaciones fluviométricas controladas por la DGA. Debido a su ubicación, extensión y elevación, la Cordillera de Nahuelbuta es capaz de modificar la distribución de la precipitación, incrementando el producto del efecto orográfico.

Llevaron a cabo la modelación inversa, la cual les permitió cuantificar el efecto orográfico sobre las precipitaciones y posteriormente corregir las precipitaciones medias anuales calculadas a partir de las estaciones pluviométricas operadas por la DGA.

Este proyecto plantea varias conclusiones entre ellas que la falta de estaciones pluviométricas, causa que la precipitación ponderada en cada cuenca no se estime correctamente, repercutiendo en el desarrollo de actividades agrícola, de ganadería, forestales, proyectos de gran envergadura, o para cualquier fin que dependa básicamente de la existencia de los recursos hídricos, esto por no tener un buen conocimiento general de las precipitaciones (Rojas, Muñoz, & Tume, 2016).

El tercer proyecto de investigación **"Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela"** dentro de los objetivos de este proyecto estaba Determinar y analizar la hipsometría de la cuenca del Chama y sus mayores subcuencas y estimar el valor de elementos climáticos asociados estrechamente a la altitud y redefinir los pisos térmicos en la cuenca del Chama.

Para llevar a cabo dicho análisis realizaron actividades previas tales como la . Elaboración del mapa base a escala 1:100.000, Uso de cartografía complementaria, Mediciones sobre el mapa base.

Dentro de los resultados expuestos se observa que la hipsometría de las 4 mayores subcuencas presenta una distribución de áreas unimodal pero con simetría variada según sus características particulares. En general, la asimetría de las subcuencas es negativa en la zona de las sierras y positiva fuera de ellas. En relación a la a la variación altitudinal de la temperatura media se definieron seis pisos térmicos en la cuenca del río Chama: caluroso, fresco, templado, frío, muy frío y gélido. La amplitud

de cada piso es de 5 °C y la variación altitudinal es próxima a 850 m. La nomenclatura empleada en esta nueva clasificación es rigurosamente térmica. (Silva Leon).

El cuarto proyecto recibe el nombre de **"Modelo SIG para la Zonificación Agroecológica de Cultivos. Estudio de caso Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas, Huila, Colombia."** Este tuvo como objetivo general "*Construir un modelo de geoprocesamiento empleando ModelBuilder que automatice los procesos para la zonificación agroecológica de los cultivos: cacao Theobroma cacao, caña Saccharum officinarum y guanábano Annona muricata., a partir de las condiciones agroecológicas de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas."*
Lo anterior, porque resulta preocupante el deterioro de la cuenca, el cual se refleja en la disminución abrupta del caudal medio del río, de allí la importancia de crear estrategias de manejo agropecuario y ambiental que permitan frenar dicho deterioro.

El proyecto se enmarcó dentro del enfoque metodológico cuantitativo descriptivo, en el área de formación SIG, específicamente en la línea de investigación "análisis y modelamiento espacial"
El modelo de geoprocesamiento se construyó y ejecutó desde la herramienta ModelBuilder del software ArcGIS Desktop versión 10.5. El uso de tecnología SIG permitió generar cuatro modelos de geoprocesamiento en ModelBuilder, para la automatización de procesos que involucran la ZAE, Modelo orográfico, climático, edáfico y finalmente la integración de los tres modelos mencionados para la zonificación agrícola.

La propuesta metodológica permitió generar la zonificación agroecológica para los cultivos de Guanábana, Cacao y Caña, encontrando que en la cuenca hidrográfica del rio Las Ceibas existen 6735,97 ha con aptitud moderada para la explotación del

cultivo de caña panelera, 4408,85 para la producción de Guanábana y 2184,03 ha para Cacao. (Alarcón Trujillo, 2019)

El quinto proyecto corresponde a la **"Caracterización climatológica de la cuenca alta del Río Bogotá"** su objetivo general consistía en realizar la caracterización climatológica de la cuenca alta del río Bogotá y establecer la relación entre el comportamiento de las variables meteorológicas y los niveles y caudales hídricos del sistema.

Para establecer la caracterización climatológica del área de estudio usaron los datos de las estaciones meteorológicas, operadas por la CAR y el IDEAM en los 14 municipios que hacen parte de la cuenca alta del río Bogotá, buscando que las estaciones contaran con series de precipitación, temperatura, evaporación, humedad relativa, brillo solar, velocidad y dirección del viento.

La clasificación climática del área que comprende la cuenca alta del río Bogotá, se determinó utilizando el método basado en las teorías propuestas por Caldas y Lang, en el cual se tienen en cuenta los parámetros temperatura, elevación y precipitación. Al realizar la caracterización climatológica del área de estudio, se evaluó el nivel de cobertura de cada parámetro según la red meteorológica disponible. (Boada Cuevas , 2011)

La última investigación recibe el nombre de **"Aportes a la conservación estratégica de los pasamos de Colombia: Actualización de la cartografía de los complejos de paramo a escala 1:100.000"** a cargo del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, cuyo objetivo principal era el mapeo y caracterización socio ecosistémica de los ecosistemas de paramos del país

mediante métodos y fuentes de información oficiales, aportando criterios técnicos para su delimitación.

Para llevar a cabo dicha actualización tomaron como punto de partida las fuentes de información secundaria tal como las Variables Bioclimática, Localidades de paramo, Zonificación hidrografía, entre otras fuentes, procedieron a realizar procesos sistemáticos tal como la reconstrucción de la distribución altitudinal, luego procesos analíticos tales como: Modelos de distribución geográfica, umbrales climáticos, modelos integrados y finalmente los procesos resolutivos como la Identificación de necesidades de ajuste o adición de nuevas áreas de páramo.

Para el mapeo preliminar se realizó un trazado de limites inferiores del páramo con base en la cartografía existentes, se definieron límites y criterios, este límite propuesto fue puesto en consideración de funcionarios de las CAR, Parques Nacionales Naturales y ONG.

Como resultado se obtuvieron 5 modelos de identificación preliminar de áreas de paramos en el país, los métodos de modelación permitieron identificar las áreas actuales cubiertas por vegetación zonal de paramo e incluir la franja de transición hacia otros ecosistemas

Ahora bien, en este estudio se pueden aprecias otros indicadores de estado de conservación, indicadores asociados a la actividad minera en paramos.

Concluyeron que la delimitación del páramo para efectos de gestión efectiva y sostenible se debe considerar como la funcionalidad de los ecosistemas de alta montaña. La identificación de los limites inferiores define un espacio concreto que contribuye a implementar los mecanismos legales vigentes para su protección, atendiendo a la gran importancia de estos ecosistemas para la sociedad. (Sarmiento Pinzón, Sarmiento Giraldo, Zapata Jiménez, & Cadena Vargas, 2013)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Conceptual

Considerando el tema de esta investigación, el marco hace alusión al concepto de orografía y a otros conceptos importantes relacionados al tema para el entendimiento de este documento.

2.1.1. Cambio Climático

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el "cambio climático" como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), [el término como tal] denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el "cambio climático" como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), [el término como tal] denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. (Díaz Cordero, 2012)

2.1.2. Cartografía Temática.

Para definir la Cartografía temática, se debe definir inicialmente que es Cartografia, la cual es la disciplina que estudia los diferentes métodos, sistemas, operaciones científicas y técnicas que permiten representar en un plano la superficie terrestre y los fenómenos o hechos que se desarrollan sobre ella. El producto de la representación recibe el nombre de cartografía, mapa o carta. (IGAC, 2016)

Ahora bien, la cartográfica temática, mapa temático o de propósito particular es aquel cuyo objetivo es localizar características o fenómenos particulares. El contenido puede abarcar diversos aspectos: desde información histórica, política o económica, hasta fenómenos naturales como el clima, la vegetación o la geología. El mapa base utilizado en la elaboración de los mapas temáticos es el topográfico o de propósito general simplificado. (Instituto Geográfico Nacional de España).

2.1.3. Cuenca Hidrografía

Según el decreto 1729 de 2002, se entiende por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.
Ahora bien, una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Se entiende por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.

Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea divisoria de aguas, sus límites serán extendidos subterráneamente más allá de la línea superficial de divorcio hasta incluir la de los acuíferos subterráneos cuyas aguas confluyen hacia la cuenca deslindada. (Diario oficial, 2002)

2.1.4. Ecosistema

El término “ecosistema” fue acuñado por Tansley en 1935 como el “complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente” en un lugar determinado, y propuesto además como una de las unidades básica de la naturaleza. Desde su planteamiento, Tansley resaltó la idea de ecosistema como “unidad básica de la naturaleza”. Algunos años después se refirió al ecosistema como una entidad reconocible autocontenida, al identificarlo como un nivel de organización superior o, en el marco de la teoría de sistemas, una categoría más entre los sistemas físicos que componen el universo, desde el átomo hasta las galaxias (Tansley, 1935).

Algunos autores lo definen como *“Cualquier parte de la superficie terrestre donde la biocenosis se mantiene uniforme, como también lo hacen las partes correspondientes de la atmosfera, litosfera, hidrosfera y pedosfera, y en donde, consecuentemente, la interacción de estas partes se mantiene uniforme”* (Soukatchev, 1954).

2.1.5. Geomorfología

La geomorfología es una ciencia natural que se encarga del estudio del relieve de la superficie terrestre y su nombre es derivado de tres palabras griegas: ge-tierra, morfé-forma y logos-estudio. Las formas del relieve terrestre surgen por la interacción de los procesos exógenos o de superficie y los procesos endógenos al actuar sobre las rocas que afloran en la superficie terrestre, dando como resultado la formación de rasgos del relieve de diferentes órdenes que van desde las grandes estructuras planetarias como son los océanos y continentes, hasta las pequeñas cárcavas y formas cársticas de carácter local. (Rodriguez Infante, 2000)

2.1.6. Imagen Satelital

Una imagen satelital es el resultado que se obtiene del capturar la radiación emitida o reflejada por la superficie de la tierra mediante un sensor colocado a bordo de un satélite artificial. Existen diferentes tipos de imágenes satelitales las cuales poseen varias características como colores, resolución, elevación, etc. La calidad de la fotografía tomada depende del instrumento utilizado y de la altitud. (Sanchez Jara, 2012).

2.1.7. Relieve

El relieve es el objeto formal de estudio de la geomorfología, y desde la mitad del siglo XX esta ciencia se considera como un baluarte en el estudio y análisis del territorio a través del estudio del origen, forma, dinámica, evolución y distribución de las formas de la superficie terrestre. Los fundamentos y alcances de esta ciencia no se han limitado al estudio morfológico (cualitativo) y morfográfico (cuantitativo) de las diferentes geoformas, sino que se ha constituido como la piedra angular para el estudio de problemas específicos relacionados con la evaluación del medioambiente, el estudio del impacto natural, de los riesgos, los paisajes y el ordenamiento territorial entre otros. (Espinosa & Arroyo, 2011).

2.1.8. Orografía

Como orografía se denomina la rama de la Geografía Física que analiza, describe y clasifica las formas del relieve terrestre. Asimismo, la orografía puede referirse al conjunto de elevaciones y montañas existentes de una zona, región o país. La palabra, como tal, se forma a partir de la raíz griega ὄρος (óros), que puede traducirse como ‘montaña’, y el sufijo “-grafía”, que significa ‘descripción’.

La orografía, en este sentido, es un campo de estudio que aporta conocimiento sobre las condiciones y circunstancias del relieve terrestre. Asimismo, se encarga de la representación cartográfica de la orografía de una zona o región, lo cual nos permite visualizar y comprender su relieve a la hora de plantear obras de infraestructura, como carreteras, vías férreas, puentes o represas.

Como tal, la orografía ofrece informaciones muy útiles sobre las características del suelo y el subsuelo, así como de los recursos hídricos, minerales y agrícolas con que cuenta una región. En este sentido, distintas disciplinas, como la agricultura, la minería, la ingeniería, la hidrografía, entre otras, se valen de los conocimientos proporcionados por la orografía.

Por otro lado, la orografía también incide en las condiciones climáticas de las regiones, influyendo en aspectos tales como la nubosidad, la velocidad de los vientos o la intensidad y duración de las precipitaciones. (Significado de Orografía, s.f.)

2.2. Marco Teórico

El relieve representa la expresión del conjunto de procesos que originan y modelan la superficie terrestre (Espinosa Rodriguez, Balderas Plata, & Baro Suarez, 2018), se entiende que el relieve es el objeto formal de estudio de la geomorfología, y desde la mitad del siglo XX esta ciencia se considera como un baluarte en el estudio y análisis del territorio a través del estudio del origen, forma, dinámica, evolución y distribución de las formas de la superficie terrestre. (Espinosa & Arroyo, 2011) .

Ahora bien, la orografía es el campo de estudio que aporta conocimiento sobre las condiciones y circunstancias del relieve terrestre es importante mencionar que la orografía también incide en las condiciones climáticas de las regiones, influye en

varios aspectos como la nubosidad, la velocidad e intensidad de los vientos, la duración de las precipitaciones, entre otros. (Significado de Orografía, s.f.)

La representación cartográfica de la orografía de una zona o región, nos permite visualizar y comprender su relieve a la hora de plantear obras de infraestructura, como carreteras, vías férreas, puentes o represas, contar con esta información actualizada permite a los entes territoriales llevar a cabo una planeación adecuada del territorio, dentro de los fundamentos teóricos de la política Colombiana encontramos:

- **Ley 388 de 1997 Plan de Ordenamiento Territorial**

En el capitulo 2 articulo 6 de esta ley se estipula que el ordenamiento del territorio municipal y distrital tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, mediante:

1. La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales.
2. El diseño y adopción de los instrumentos y procedimientos de gestión y actuación que permitan ejecutar actuaciones urbanas integrales y articular las actuaciones sectoriales que afectan la estructura del territorio municipal o distrital.
3. La definición de los programas y proyectos que concretan estos propósitos.

El ordenamiento del territorio municipal y distrital se hará tomando en consideración las relaciones intermunicipales, metropolitanas y regionales; deberá atender las condiciones de diversidad étnica y cultural, reconociendo el pluralismo y el respeto

a la diferencia; e incorporará instrumentos que permitan regular las dinámicas de transformación territorial de manera que se optimice la utilización de los recursos naturales y humanos para el logro de condiciones de vida dignas para la población actual y las generaciones futuras

También se encuentra en el artículo 10. Los determinantes de los planes territoriales relacionados con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. (Congreso de Colombia, 1997).

- **Ley 99 de 1993 Ordenamiento ambiental del territorio.**

En esta ley se contempla en el articulo 1. Los principios Generales Ambientales. Alguno de ellos es:

1. El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Rio de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
2. La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.
3. . Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.
4. El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.

5. La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.
6. Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial. (Congreso de Colombia, 1993)

- **Ley 1523 del 2012 Política de Gestión del Riesgo.**

La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Esta ley adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. (Congreso de Colombia, 2012). La finalidad de la Ley 1523 de 2012 para la gestión del riesgo en Colombia es reglamentar las medidas preventivas y las acciones correctivas que se podrán tomar en caso de presentarse un desastre que pueda llegar a considerarse calamidad pública.

- **Decreto 1729 de 2002 Cuencas hidrográficas, uso y manejo sostenible.**

El decreto anteriormente mencionado en el Articulo 4 contempla que “La ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible

de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos" (Congreso de Colombia, 2002).

La ordenación de cuencas se hará teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes principios y directrices:

1. El carácter de especial protección de las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de aguas y zonas de recarga de acuíferos, por ser considerados áreas de especial importancia ecológica para la conservación, preservación y recuperación de los recursos naturales renovables.
2. Las áreas a que se refiere el literal anterior, son de utilidad pública e interés social y por lo tanto deben ser objeto de programas y proyectos de conservación, preservación y/o restauración de las mismas.
3. En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso y deberá ser tenido en cuenta en la ordenación de la respectiva cuenca hidrográfica.
4. Prevención y control de la degradación de la cuenca, cuando existan desequilibrios físicos o químicos y ecológicos del medio natural que pongan en peligro la integridad de la misma o cualquiera de sus recursos, especialmente el hídrico.
5. Prever la oferta y demanda actual y futura de los recursos naturales renovables de la misma, incluidas las acciones de conservación y recuperación del medio natural para asegurar su desarrollo sostenible.
6. Promover medidas de ahorro y uso eficiente del agua.
7. Considerar las condiciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar el ordenamiento de la cuenca.

8. Los regímenes hidro climáticos de la cuenca en ordenación.

- **Decreto 3600 de 2007 Determinantes de Ordenamientos del suelo rural.**

Articulo 2. Con el fin de garantizar el desarrollo sostenible del suelo rural, en los procesos de formulación, revisión y/o modificación de los planes de ordenamiento territorial, los municipios y distritos deberán dar cumplimiento a las determinantes que se desarrollan en el presente decreto, las cuales constituyen normas de superior jerarquía en los términos del artículo 10 de la Ley 388 de 1997. (Congreso de Colombia, 2007)

En el articulo 4 contempla las áreas de conservación y protección ambiental, las cuales son:

1. Las áreas del sistema nacional de áreas protegidas.
2. Las áreas de reserva forestal.
3. Las áreas de manejo especial.
4. Las áreas de especial importancia ecosistémica, tales como páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna.

- **Decreto 2372 de 2010, Art. 29, Ecosistemas estratégicos.**

Artículo 29. *Ecosistemas estratégicos.* Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de especial importancia ecológica gozan de protección especial, por lo que las autoridades ambientales deberán adelantar las acciones tendientes a su conservación y manejo, las que podrán incluir su designación como áreas protegidas bajo alguna de las

categorías de manejo previstas en el presente decreto. (Congreso de Colombia, 2010)

2.3. Marco Legal

El marco legal que existe en Colombia con respecto al ordenamiento del recurso hídrico la conservación de los recursos naturales que estas proveen, es bastante completo, a continuación, se presenta la normatividad ambiental

Tabla 1. Normatividad ambiental en Colombia.

Norma	Descripción
Ley 388 de 1997	En esta ley se encuentra en el artículo 10. Los determinantes de los planes territoriales relacionados con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. (Congreso de Colombia, 1997)
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA y se dictan otras disposiciones. Define el marco legal y asigna funciones en relación con la formulación la Política Nacional Ambiental, ordenamiento Territorial y Manejo de Cuencas, obras de infraestructura, control de contaminación, definición y aplicación de tasas de uso del agua y retributivas, licencias ambientales, concesiones de agua, permisos y vertimientos, seguimiento de la calidad del recurso hídrico y conservación de cuencas. (Congreso de Colombia, 1997)

Ley 1523 del 2012	Adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. (Congreso de Colombia, 2012)
Decreto 1729 de 2002	Establece las finalidades, principios y directrices para la Ordenación y manejo de Cuencas Hidrográficas, la competencia para su aclaración, procedimiento, acciones y plazos para sus cumplimientos. (Congreso de Colombia, 2002)
Decreto 2372 de 2010	Por el cual se reglamenta el Decreta Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreta 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. (Congreso de Colombia, 2010)
Ley 1930 de 2019	Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. El objeto de la ley es establecer como ecosistemas estratégicos los páramos, así como fijar directrices que propendan por su integralidad, preservación, restauración, uso sostenible y generación de conocimiento. (Congreso de Colombia, 2018)
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. (Congreso de Colombia, 2012)
Decreto 1449 de 1977	Este decreto establece obligaciones a los propietarios de predios para la conservación, protección y

	aprovechamiento de las aguas, bosques, fauna terrestre, acuática y suelos. (Congreso de Colombia, 1977)

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

La presente monografía se enmarcó en una investigación de tipo descriptiva y de revisión, en el área de formación SIG, en la línea de implementación de tecnologías geomáticas. A continuación, se describen las fases en que se va a realizar el proyecto:

- Fase 1: Descripción de la zona de estudio

En esta fase se describe la zona de estudio, ubicación y características más relevantes de la subcuenca del rio Tona tales como: Veredas, Uso del Suelo, entre otros.

- Fase 2: Diagnostico. Condiciones Geológicas y Geomorfológicas.

En esta fase se enmarcará las condiciones geológicas y geomorfológicas actuales de la zona de estudio, tomando como fuente principal de información la Base de datos suministrada por Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

- Fase 3: Adquisición de Imagen Satelital y DEM

  - Modelo digital de elevación nos permiten obtener información sobre la morfología del relieve de forma objetiva. Por lo tanto en esta fase de la

monografía mostraremos el procedimiento para la obtención del modelo digital de elevación y la preparación del mismo para obtener la información morfológica del relieve de la subcuenca del Rio Tona.

- Fase 4: Presentación de Resultados

En esta fase se muestran los resultados obtenidos de la información procesada, la cartografía temática y se plantearan las conclusiones y recomendaciones.

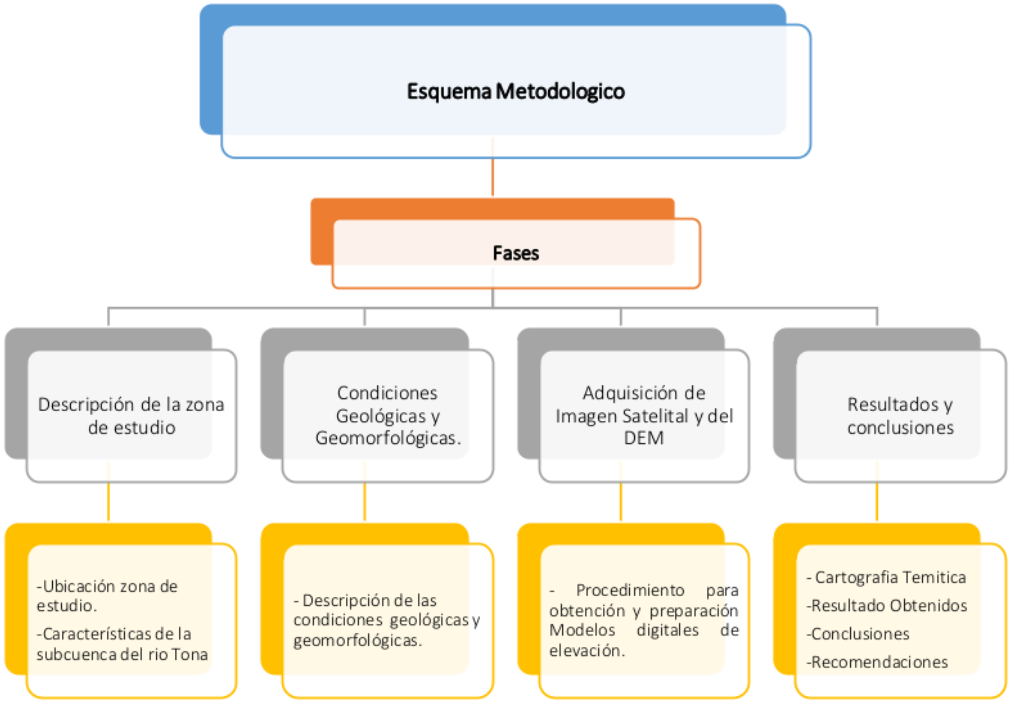


Figura 1. Esquema Metodológico
Fuente: Propia

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. Ubicación Subcuenca Rio Tona.

La subcuenca de Rio Tona está localizada en los municipios Tona y Bucaramanga, departamento de Santander, su área es de 193.8 km2 , el 91% del área pertenece territorialmente a Tona y el 9% al municipio de Bucaramanga. (CDMB - Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2005).

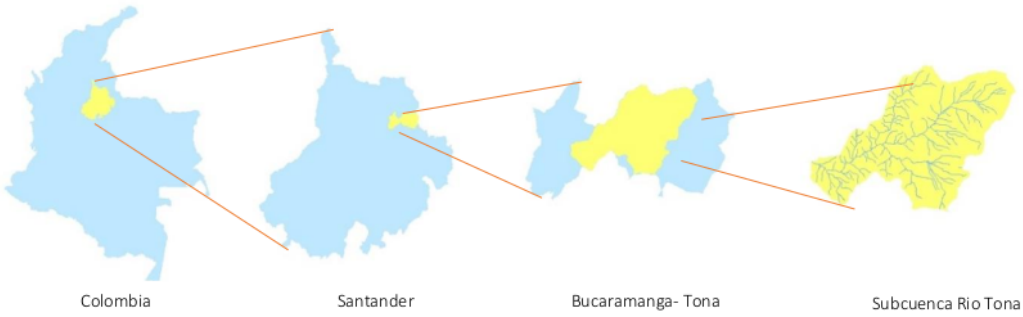


Figura 2. Ubicación Subcuenca Rio Tona
Fuente: Propia

La microcuenca del río Tona la conforman de 19 veredas de las cuales 13 pertenecen al municipio de Tona y 6 a Bucaramanga.



Municipio	Nombre Vereda
Tona	Babilonia
	Armania
	Vegas
	El Quemado
	Palmar
	Tembladal
	Pitones
	Pirgua
	Alisal
	Gurumales
	Caragua
	Ucata
	Montechiquito
Bucaramanga	San José
	Retiro Grande Acueducto
	Retiro Chiquito
	Monserrate
	El Gualilo
	Retiro Grande Parte Baja

Figura 3. Veredas Subcuenca Rio Tona.
Fuente: Propia

4.2. Condiciones Geológicas y Geomorfológicas

4.2.1. Geología

La microcuenca del río Tona es una cuenca intermontana localizada entre las cuencas sedimentarias de Maracaibo y del Valle Medio del Magdalena Medio, que tienen como basamento el denominado Macizo de Santander localizado al oriente de la falla de Bucaramanga y al occidente del sistema de fallas de Servita y Chitagá, en la cordillera oriental de Colombia. El principal rasgo geológico lo constituyen los cerros de composición ígneo metamórfica y el sistemas de fallas de dirección sur norte que los separan afectan principalmente las rocas ígneo metamórficas del macizo de Santander, los procesos geomorfológicos antiguos principales corresponden a los flujos de escombros y lodos producto de los deshielos procedentes del páramo de Guariba - Pescadero, que conformaron las terrazas fluvio glaciares y/o coluvio aluviales, colgadas, que se extienden hasta 4 kilómetros aguas abajo del municipio de Tona. (CDMB - Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2005).

- Fallas Geológicas.

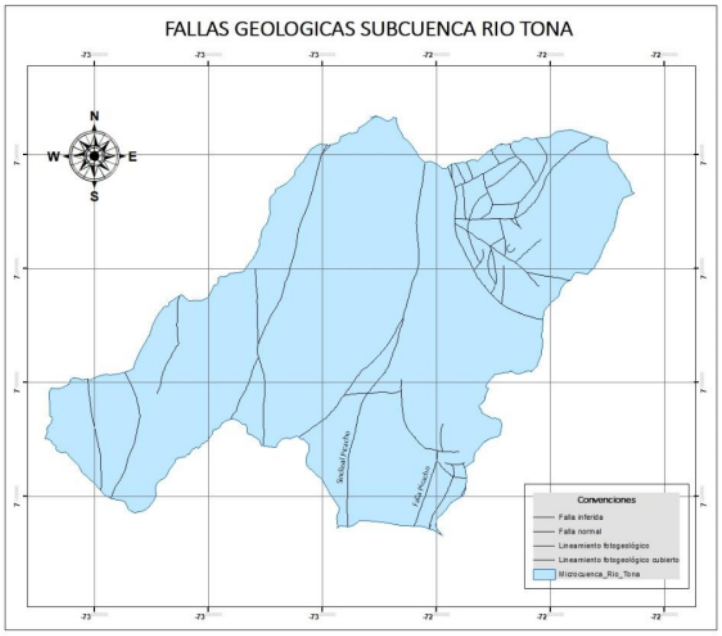


Figura 4. Fallas Geológicas Subcuenca Rio Tona
Fuente: CDMB 2005

4.2.2. Geomorfología

La subcuenca del rio Tona se localiza en la Provincia Fisiográfica Cordillera Oriental y se distribuye en los pisos térmicos extremadamente frío, muy frío, frío y medio. (CDMB - Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2005). En el área de estudio se encuentran las siguientes Unidades Geomorfológicas.

Tabla 2. Unidades Geomorfológicas Subcuenca Rio Tona		
Ambiente Denudacional		Cima (Dc)
		Cono flujos de detritos (Dfe)
		Sierra denudada (Dsd):
		Sierra residual (Dsr)
Ambiente Fluvial		Terraza de acumulación antigua (Ftan)
		Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas)
Ambiente Glacial		Artesa glacial (Gag)
		Espolón glaciado (Gee)
Ambiente Estructural		Ladera estructural (Sle)
		Ladera estructural sierra homoclinal (Ssh)

Fuente: CDMB 2005

Ambiente Denudacional: Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos. (Servicio Geológico Colombiano, (s.f.))

- Cima (Dc): Superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas que bordean algunas divisorias de agua. Presentan pendientes planas a inclinadas con anchos entre 200 a 800 metros, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. Su origen se establece a partir de procesos meteorización, erosión intensa y actividad antrópica.
- Cono flujos de detritos (Dfe): Estructura en forma de cono o lóbulo, con laderas convexas de longitudes cortas a largas y pendientes que varían entre inclinadas a abruptas. Su depósito tiene rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de U, trenes de bloques rocosos y sectores con bloques individuales de gran dimensión. Su origen es relacionado al transporte torrencial de sedimentos clasto soportados.
- Sierra denudada (Dsd): Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas,

con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. Su origen es relacionado a procesos de erosión acentuada en sustratos rocosos ígneos y metamórficos

- Sierra residual (Dsr): Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen los procesos de meteorización intensa en unidades generalmente ígneas, asociada con suelos residuales con espesores mayores a 3 metros. Su origen es relacionado a procesos de meteorización intensa en sustratos rocosos ígneos y metamórficos (Servicio Geológico Colombiano, (s.f.))

Ambiente Fluvial: Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

- Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas): Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas sub-recientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10°donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen es relacionado a la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes.
- Terraza de acumulación antigua (Ftan): Superficie alomada en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas moderadamente largas, cóncavas a convexas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” que

localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. (Servicio Geológico Colombiano, (s.f.))

Ambiente Glacial Y Periglacial: Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados a la erosión intensa ocasionada por el movimiento de las masas de hielo en zonas de alta montaña durante épocas glaciales o en la actualidad. Estos eventos modelaron el sustrato rocoso preexistente, generando grandes cantidades de sedimento que fueron trasportados o acumulados en las laderas adyacentes.

- Espolón glaciado (Gee): Salientes simétricas agudas de morfología alomada y laderas cortas a largas, de formas rectas inclinadas a abruptas, dispuestas perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, limitadas por valles en forma de "U", cuyo origen obedece a procesos glaciales. Hacia la parte alta pueden presentar agujas y circos glaciales. (Servicio Geológico Colombiano, (s.f.))

Ambiente Estructural: Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

- Ladera estructural (Sle): Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno. De longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). (Servicio Geológico Colombiano, (s.f.))

4.3. Adquisición DEM

4.3.1. Modelo Digital de Elevación

El Modelo digital de Elevación se adquirió a través del satélite ALOS PALSAR y de descargo de forma gratuita de la pagina ALASKA SATELLITE FACILITY.

El satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) fue desarrollado para ayudar en las áreas de mapeo, precisión cartográfica y monitoreo ambiental. ALOS cuenta con tres tipos de sensores: el radiómetro PRISM (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping) capaz de obtener imágenes tridimensionales de la superficie terrestre, el radiómetro multiespectral AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-2) y el sensor de microondas PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), capaz de tomar imágenes durante el día y la noche sin la interferencia de la nubosidad.

Pasos:

1. Se ingreso al siguiente Link https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#

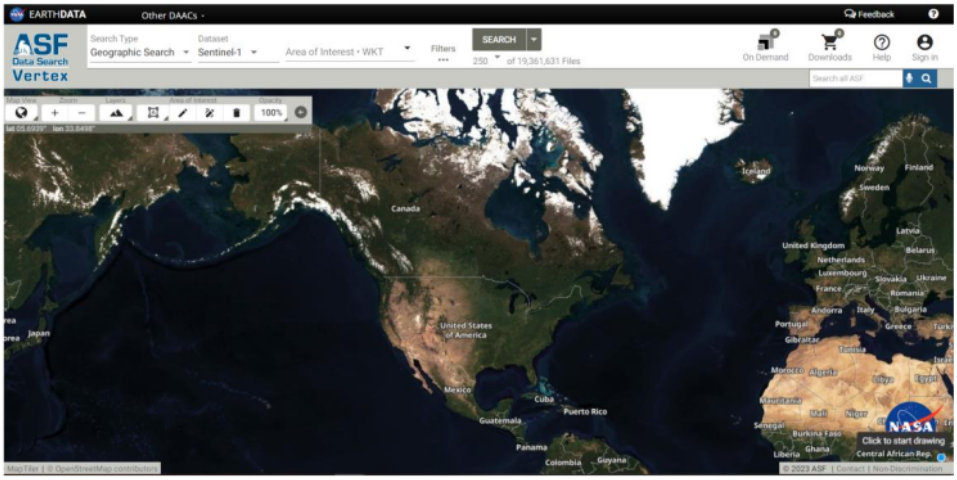


Figura 5. Alaska Satellite Facility
Fuente: Alaska Satellite Facility

2. Se selecciona la zona de estudio, se elige la opción de satélite en este caso el ALOS PALSAR.

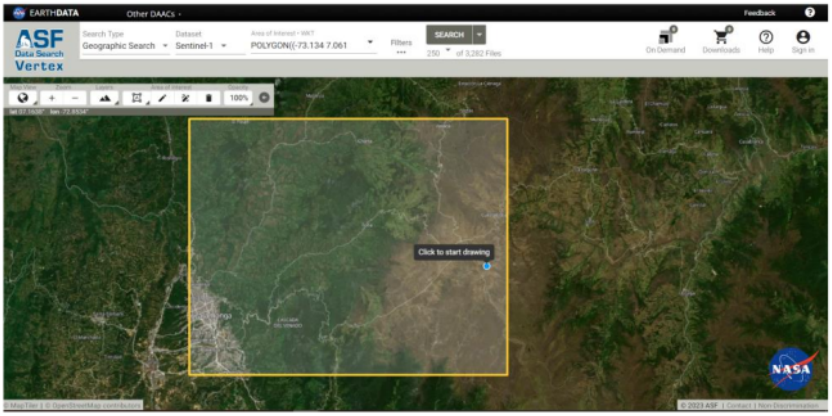


Figura 6. Subcuenca Rio Tona - Alaska Satellite Facility
Fuente: Alaska Satellite Facility

3. Buscar y se filtra la información con FBD.

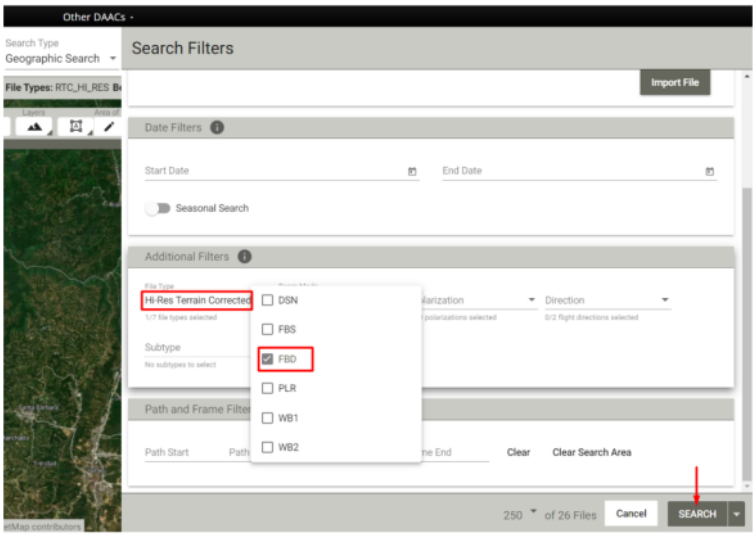


Figura 7. Filtros de Búsqueda - Alaska Satellite Facility
Fuente: Alaska Satellite Facility

4. Una vez con la descarga realizada se visualiza en ArcMap 10.8 software en el cual se va a trabajar la información geográfica obtenida, a continuación, se muestra el MDE.

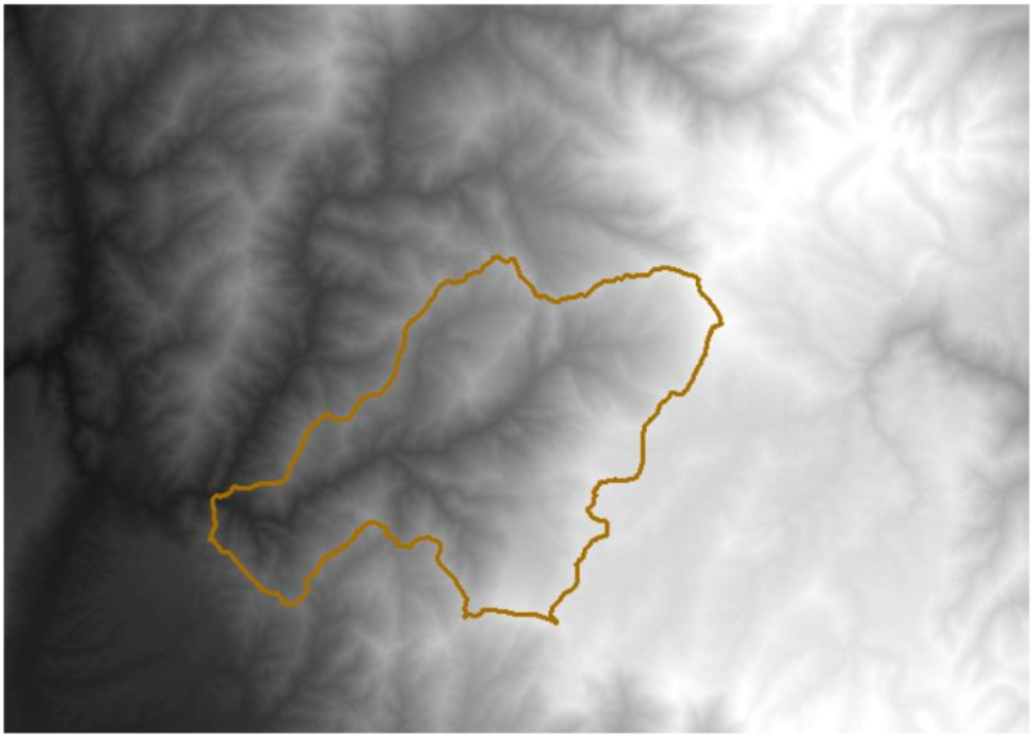


Figura 8. Modelo digital de Elevación - Subcuenca Rio Tona.
Fuente: ALOS PALSAR

4.4. Variables Topográficas

La descripción del relieve a partir del MDE se realiza mediante un conjunto de medidas que definen las características Geométricas del terreno a distintas escalas. Este proceso se conoce como parametrización del relieve. Las variables que se incluirán en la parametrización son :

Tabla 3. Variables de parametrización.

	Factor	Variable
Orografia	Altitud	Modelo digital de Elevación (m)
	Pendiente	Modelo Digital de Pendientes (%)

4.4.1. Pendiente

El mapa de pendientes de la subcuenca del Rio Tona se obtuvo a partir del modelo digital descargado de Alos Palsar. Para realizar el análisis de la información se estableció la clasificación de pendientes según la resolución N° 2965 de septiembre 12 de 1995, emitida por el IGAC, así:

Tabla 4. Clasificación de Pendientes

.

Rangos (%)	Descripción
0 - 3	A nivel
3 - 7	Ligeramente inclinada
7 - 12	Moderadamente inclinada
12 - 25	Fuertemente inclinada
25 - 50	Ligeramente escarpada o Ligeramente empinada
50 - 75	Moderadamente escarpada o M. empinada
> 75	Fuertemente escarpada o Fuertemente empinada

Fuente: IGAC

A continuación, se presenta el modelo empleado para generar el mapa de pendientes, en este se encuentran los geo procesos: Extract by Mask – Slope – Reclassify – Raster to Polygon.

- Extract by Mask: Extrae las celdas de un ráster que corresponden al área definida (Subcuenca Rio Tona)

- Slope : Identifica la pendiente (gradiente o pendiente) de cada celda de un ráster.
- Reclassify: Esta herramienta permite reclasificar los valores de pendiente del raster, se realizó según la Tabla 4. Clasificación de Pendientes.

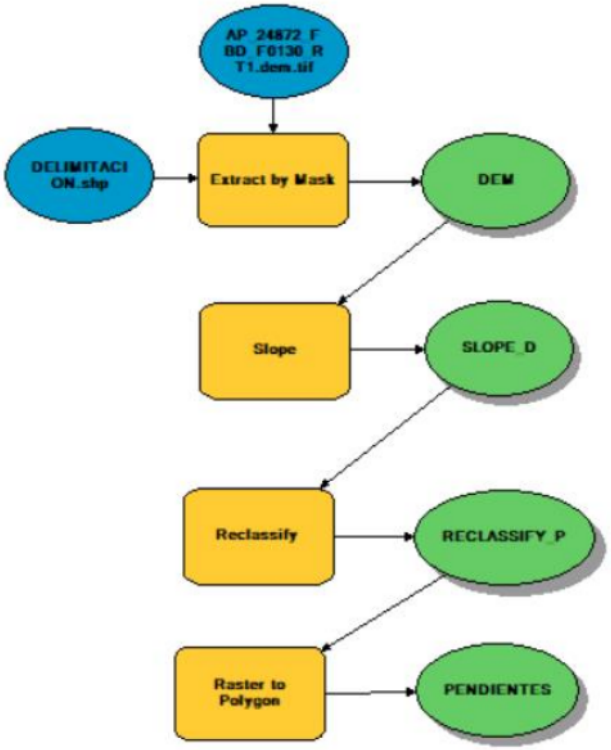


Figura 9. Model Builder - Pendientes Subcuenca Rio Tona
Fuente: Propia

4.4.2. Altitud

La clasificación de los pisos altitudinales o bioclimáticos presentes en la subcuenca del Rio Tona se realizó a partir de los rangos propuestos en el Manual El Medio Ambiente en Colombia del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, IDEAM. En el cual presentan 5 categorías expuestas en la siguiente Tabla.

Tabla 5. Clasificación Pisos Térmicos

Pisos	Altitud (msnm)
Cálido	< 1000
Templado	1000 - 2000
Frio	2000 - 3000
Páramo	3000 - 4000
Glacial	>4000

- El **piso cálido** comprende las zonas localizadas entre los 0 y 1000 metros de altura sobre el nivel del mar; estas áreas presentan una temperatura promedio superior a los 24 grados centígrados. (IDEAM, 2011)
- El **piso templad**o comprende todas las áreas ubicadas entre los 1.000 y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar, presenta temperaturas que oscilan entre los 18 y 24 °C. (IDEAM, 2011)
- El **piso frío** corresponde a las zonas localizadas entre los 2.000 y 3.000 metros de altura sobre el nivel del mar, presenta temperaturas que oscilan entre los 12 y 18 °C. (IDEAM, 2011)
- El **piso páramo** se presenta en las áreas situadas entre los 3.000 y 4.000 metros de altura sobre el nivel del mar, presenta temperaturas que oscilan entre los 12 y 0 °C. (IDEAM, 2011)
- El **piso gelico o glacial** corresponde a las zonas con alturas superiores a los 4.000 metros sobre el nivel del mar. (IDEAM, 2011)

A continuación se presenta el modelo empleado para generar la reclasificación de altitud, en este se encuentran: Reclassify – Raster to Polygon.

- Reclassify: Esta herramienta permite reclasificar los valores de altitud del raster, se realizó según la Tabla 5. Clasificación Pisos Térmicos

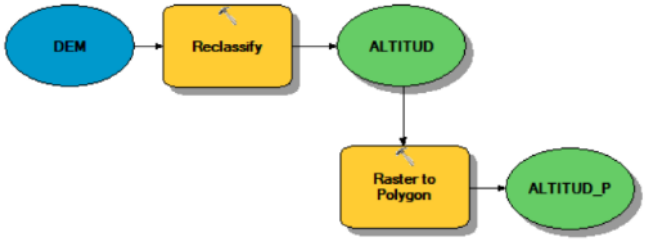


Figura 10. Model Builder - Pisos altitudinales Subcuenca Rio Tona
Fuente: Propia

4.4.3. Hillshade

Los archivos Hillshade responden a modelos digitales de terreno cuya función es la representación de sombras a lo largo de la geografía del territorio. Mediante los Modelos digitales de elevación y sus valores altitudinales, se logra simular este tipo de modelos para mostrar la geografía por medio de sombras proyectadas sobre las laderas.}

Esta información permite mejorar la calidad visual de los mapas, asignando valores de claridad a cada pixel dependiendo su posición en el espacio y generando una sensación de profundidad a través de los contrastes cromáticos. (Proyecto Pandora y Asociación Geoinnova, 2021)

La herramienta encargada de llevar a cabo nuestro ráster de sombras se encuentra en la ruta 3D Analyst Tools > Ráster Surface > Hillshade.

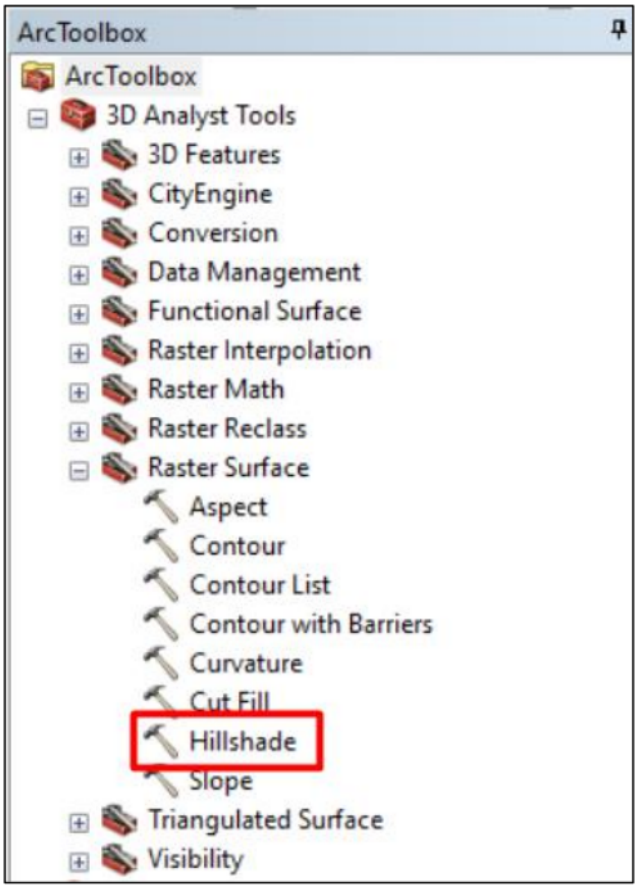
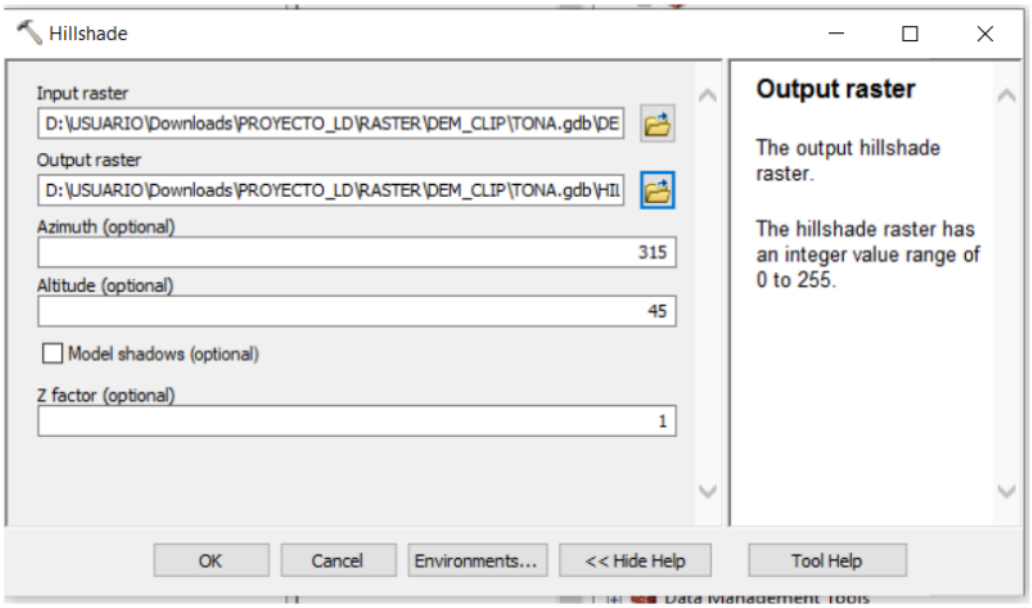


Figura 11. Arctoolbox – Hillshade
Fuente: ArcGIS 10.8

Al dar clic en este Geo proceso se abre un cuadro de dialogo en el cual se introducirán los datos, en Input ráster se cargara el Modelo digital de elevación y en output ráster se ubicara la ruta en la que se guarda en archivo de sombra..


Hillshade
Input raster
D:\USUARIO\Downloads\PROYECTO_LD\RASTER\DEM_CLIP\TONA.gdb\DE
Output raster
D:\USUARIO\Downloads\PROYECTO_LD\RASTER\DEM_CLIP\TONA.gdb\Hil
Azimuth (optional)
315
Altitude (optional)
45
Model shadows (optional)
Z factor (optional)
1
Output raster
The output hillshade raster.
The hillshade raster has an integer value range of 0 to 255.
OK
Cancel
Environments...
<< Hide Help
Tool Help

5. RESULTADOS

5.1. Pendientes

Tabla 6. Tabla de pendientes (Áreas)

	Rangos (%)	Descripción	Área (ha)
	0 - 3	A nivel	25.1
	3 - 7	Ligeramente inclinada	130.0
	7 - 12	Moderadamente inclinada	392.7
	12 - 25	Fuertemente inclinada	2368.8
	25 - 50	Ligeramente escarpada o Ligeramente empinada	8091.2
	50 - 75	Moderadamente escarpada o M. empinada	5729.2
	> 75	Fuertemente escarpada o Fuertemente empinada	2531.8

Al finalizar el geo proceso se logró obtener el mapa de pendientes de la subcuenca Rio Tona, el cual permite cuantificar el comportamiento espacial de los gradientes o inclinaciones presentes, la caracterización de la cuenca muestra que el 42 % del área tiene pendientes clasificadas como Ligeramente escarpada o Ligeramente empinada, seguido del 29,7% Moderadamente escarpada o M. empinada, 13.1% Fuertemente escarpada o Fuertemente empinada, 12.3% Fuertemente inclinada, 2 % Moderadamente inclinada, 0.7% Ligeramente inclinada y solo el 0.1% corresponden a pendientes clasificadas a nivel. A continuación, se presenta el mapa.

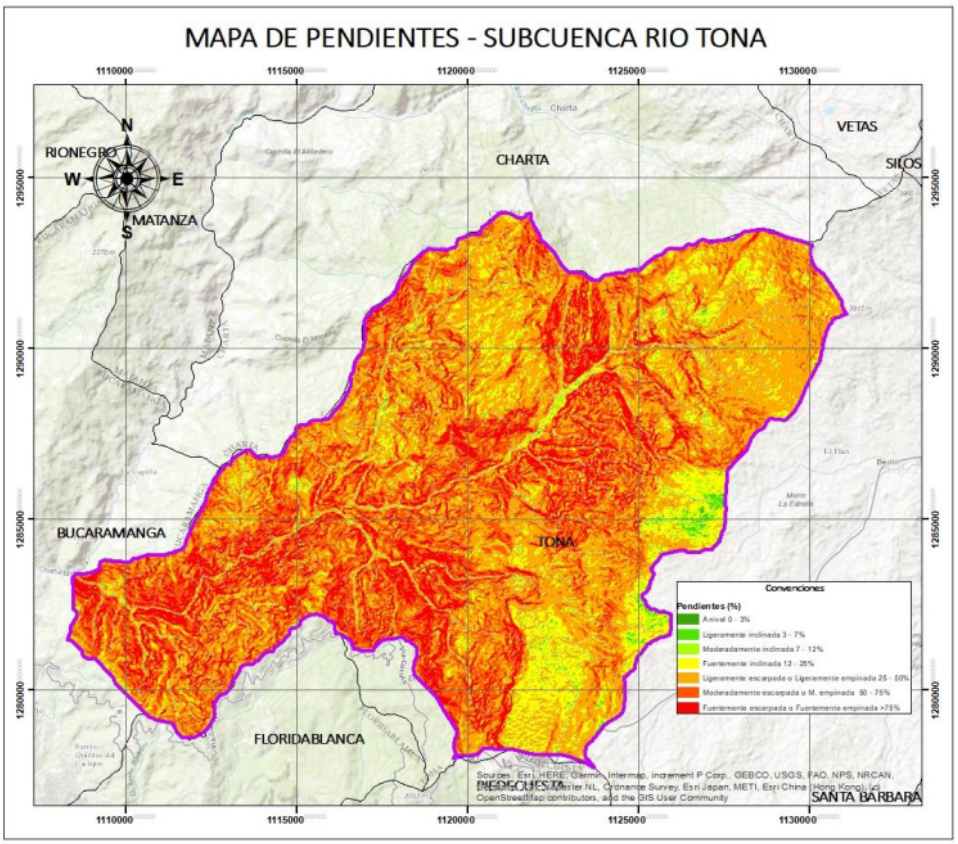


Figura 12. Mapa de pendientes - Subcuenca Rio Tona.
Fuente: Propia

La figura a continuación muestra los tipos de pendientes y su porcentaje con relación al área total de la Subcuenca Rio Tona.

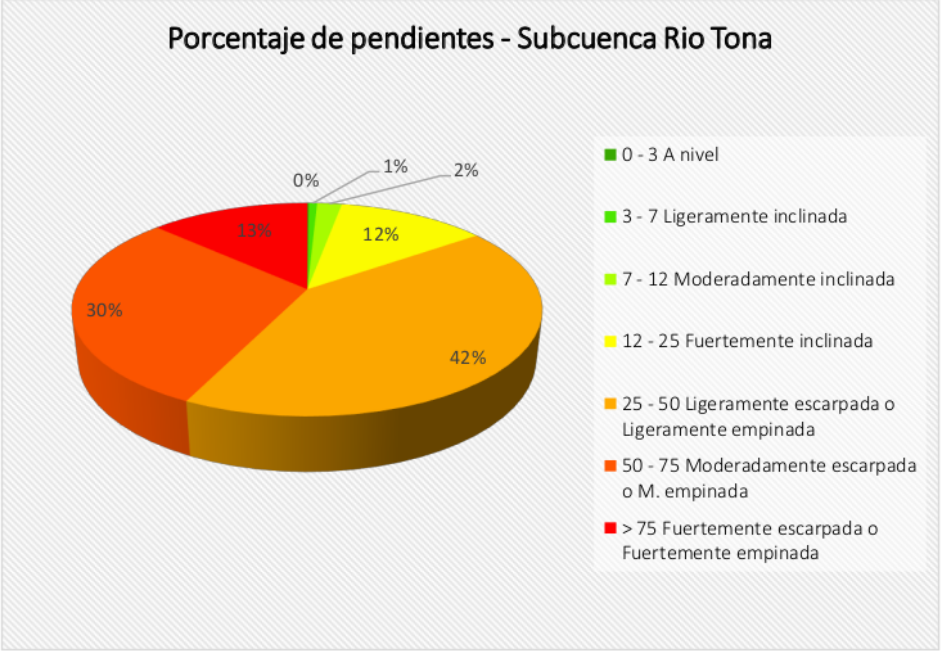


Figura 13. Diagrama de pendientes - Subcuenca Rio Tona.
Fuente: Propia

5.2. Altitud

Tabla 7. Tabla de pisos altitudinales (Áreas)

	Altitud (msnm)	Pisos	Área (ha)	%
	< 1000	Cálido	185.6	1.0
	1000 - 2000	Templado	6656.9	34.4
	2000 - 3000	Frio	8377.7	43.3
	3000 - 4000	Páramo	4135.2	21.4
			19355.4	100.0

Para obtener el mapa de Pisos Altitudinales se llevó a cabo un geo proceso de Reclasificación, los valores de altitud del ráster se establecieron de acuerdo a los rangos propuestos en el Manual El Medio Ambiente en Colombia del Instituto de

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Esta caracterización muestra que el 43.3% del área de la Subcuenca de Rio Tona presenta piso altitudinal Frio, el 34.4% es templad, el 21.4% se encuentra en piso Páramo y solo el 1% es cálido. A continuación, se presenta el mapa.

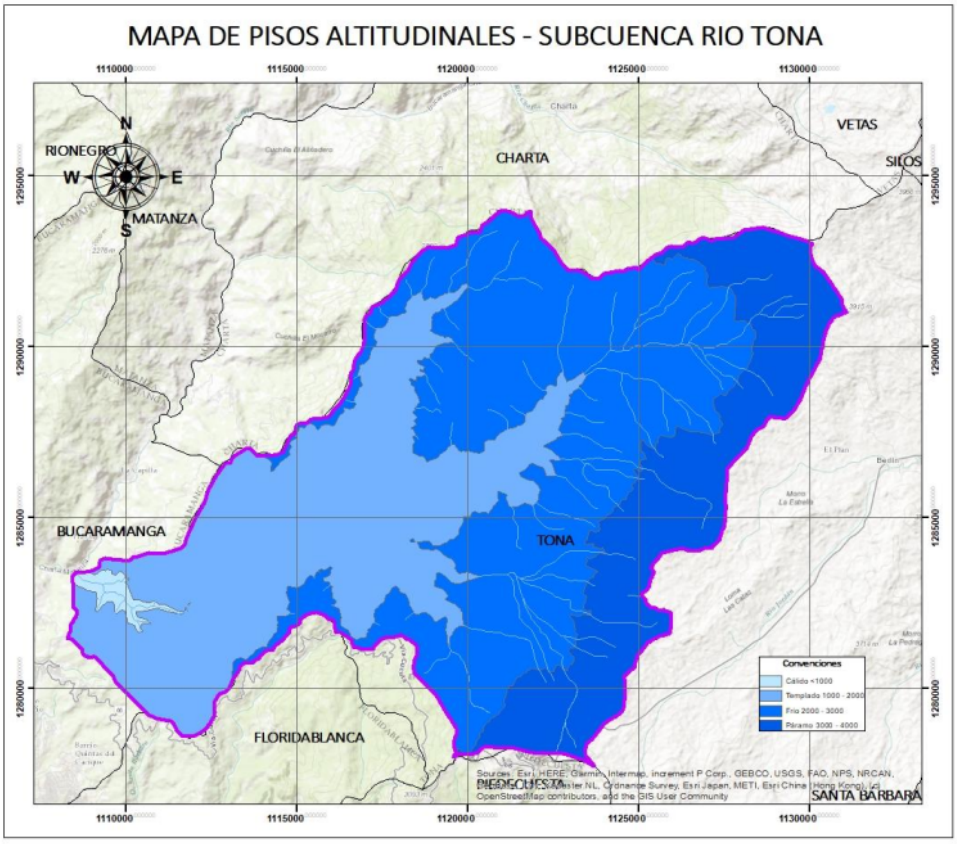


Figura 14. Mapa de Pisos Altitudinales - Subcuenca Rio Tona.
Fuente: Propia

La figura a continuación muestra los pisos altitudinales y su porcentaje con relación al área total de la Subcuenca Rio Tona.

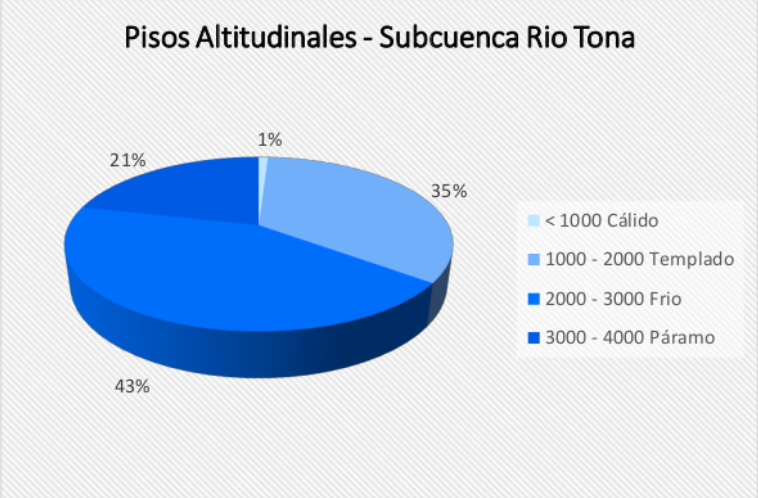


Figura 15. Diagrama de Pisos Altitudinales - Subcuenca Rio Tona
Fuente: Propia

5.3. Hillshade

Como resultado del geo proceso se obtiene un mapa con la morfología del relieve mediante sombras en las laderas de la geografía de la zona de trabajo. A continuación, se presenta el mapa.

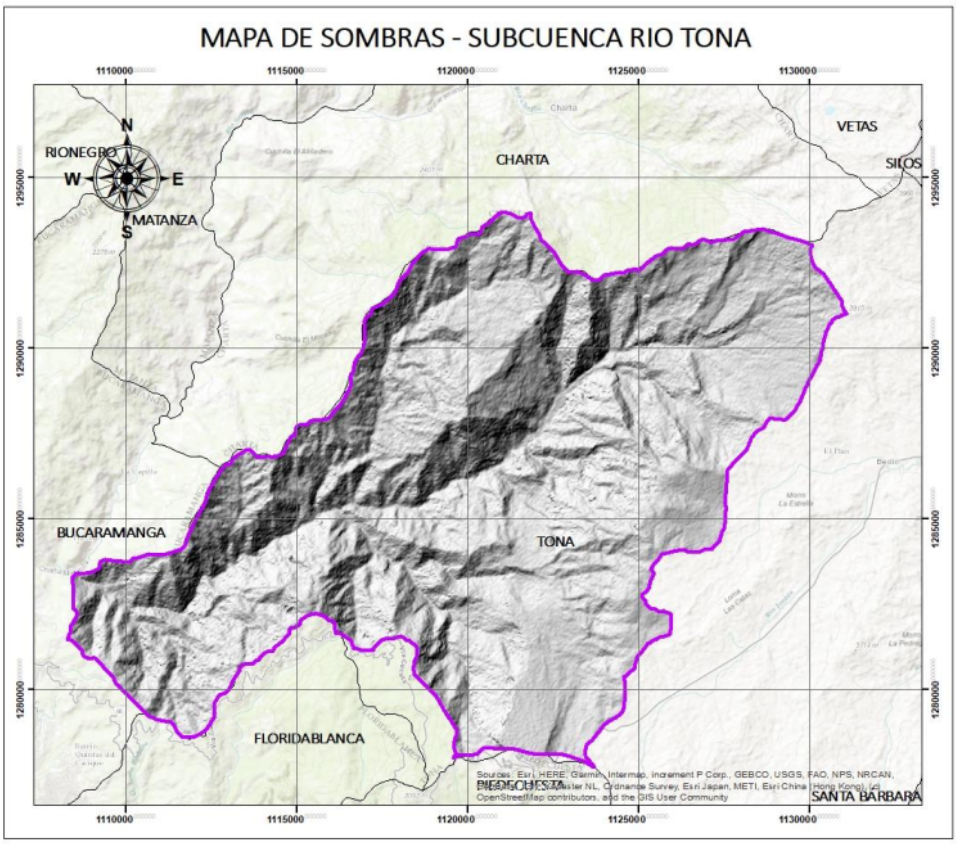


Figura 16. Mapa de Sombras - Subcuenca Rio Tona.
Fuente: Propia

6. CONCLUSIONES

El uso de Modelos digitales de elevación del satélite ALOS PALSAR es muy frecuente en estos tipos de investigación por su accesibilidad, a través de geo procesos empleados sobre el modelo digital se logró identificar los tipos de pendientes, también que el rango de 25 - 50% de pendiente es el rango con mayor representación en el área de estudio, cuyo porcentaje es de 42 % clasificada como Ligeramente escarpada o Ligeramente empinada. Lo anterior permite contar con datos y elementos de juicio que aportan al fortalecimiento de la seguridad hídrica y a la planeación del territorio.

También se concluye que el uso de los Sistemas de Información Geográfica permite generar diversos modelos partiendo de las necesidades de la comunidad o de las preocupaciones de entes territoriales, facilitando así la simulación de diferentes escenarios, automatizando procesos, dando elemento de juicio a la planeación territorial, al desarrollo sostenible tanto ambiental como económico de una región, siendo una herramienta fundamental en la toma de decisiones potencien ese desarrollo.

Finalmente se concluye a partir de la elaboración de Cartografía temática ,que esta facilita la comprensión del comportamiento espacial de una región, permitiendo identificar y solucionar problemas ambientales, sociales y económicos.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda que previamente a la formulación de este tipo de proyectos, se lleve a cabo visitas a campo con el fin de conocer las condiciones del suelo, clima, relieve para la zona de estudio, lo anterior aporta experiencia y conocimiento del entorno dando mayor criterio y elementos de juicio en los procesos.

También se recomienda ampliar esta investigación con información adicional, integrando nuevas variables que permitan obtener mejores resultados y recopilar cartografía temática. Este tipo de metodologías se pueden enfocar en otros estudios como la identificación y delimitación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar la subcuenca.

Finalmente se sugiere que este tipo de estudios se realicen en las subcuencas colindantes con el fin de fortalecer a nivel regional la planeación del territorio, potenciando el desarrollo y la sostenibilidad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Sánchez, G., & Godínez Martínez, G. (2019). Reordenamiento Territorial: Transformación De Una Zona Rural- Agrícola Por La Presa "Constitución De 1917". Obtenido de http://ru.iiec.unam.mx/4664/1/4-197-Aguilar-Godinez%20-%20copia.pdf

Alarcón Trujillo, V. F. (2019). Modelo SIG para la Zonificación Agroecológica de Cultivos. Estudio de caso Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas, Huila, Colombia. Manizales. Recuperado el 2022, de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/5746

Boada Cuevas , P. A. (2011). Caracterización climatológica de la cuenca alta del Río Bogotá. Recuperado el 2022, de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/86?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F86&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages

CDMB - Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (Diciembre de 2005). *PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO AMBIENTAL MICROCUENCA RIO TONA*. Obtenido de https://economia.uniandes.edu.co/sites/default/files/webproyectos/santurban/PLAN-DE-ORDENAMIENTO-Y-MANEJO-RIO-TONA.pdf

Congreso de Colombia. (27 de junio de 1977). Decreto 1449 de 1977. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1503

Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. Recuperado el 2023, de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf

Congreso de Colombia. (24 de julio de 1997). Ley 388 de 1997. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-388-1997.pdf

Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1997). Ley 99 de 1997. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf

Congreso de Colombia. (6 de agosto de 2002). Decreto 1729 de 2002. Obtenido de https://www.redjurista.com/Documents/decreto_1729_de_2002_ministerio_del_medio_ambiente.aspx#/

Congreso de Colombia. (20 de septiembre de 2007). Decreto 3600 de 2007. Recuperado el 2023, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=26993

Congreso de Colombia. (1 de julio de 2010). Decreto 2372 de 2010. Obtenido de https://www.curaduriados.com/wp-content/uploads/11.4-DECRETO-2372-DE-2010.pdf

Congreso de Colombia. (01 de julio de 2010). Decreto 2372 de 2010. Recuperado el 2023, de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39961

Congreso de Colombia. (2 de agosto de 2012). Decreto 1640 de 2012. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/decreto-1640-2012.pdf

Congreso de Colombia. (24 de abril de 2012). Ley 1523 de 2012. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html

Congreso de Colombia. (27 de julio de 2018). Ley 1930 de 2018. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87764

Diario oficial. (6 de agosto de 2002). Decreto 1729 de 2002. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534#:~:text=El%20car%C3%A1cter%20de%20especial%20protecci%C3%B3n,de%20los%20recursos%20naturales%20renovables.

Díaz Cordero, G. (2012). El Cambio Climatico. República Dominicana. Recuperado el 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf

Espinosa Rodriguez, L. M., Balderas Plata, M. Á., & Baro Suarez, J. E. (2018). El relieve, factor para la génesis, desarrollo y gestión del riesgo. México. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10453975008

Espinosa, L., & Arroyo, K. (2011). Geomorfología en México. Una visión histórica, metodológica y aplicada.

IDEAM. (Bogotá de 2011). El medio ambiente en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/preliminares.pdf

IGAC. (2016). Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital. Recuperado el https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/documento_especificaciones_tecnicas_cartografia_basicas.pdf

Instituto Geográfico Nacional de España. (s.f.). Conceptos Cartográficos. Obtenido de https://www.ign.es/web/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf

Proyecto Pandora y Asociación Geoinnova. (agosto de 2021). Sombreado de Laderas midiante archivos Hillshade. Obtenido de https://geoinnova.org/wp-content/uploads/2021/08/GF32.-Mapas-sombras-Hillshade-1.pdf

Rodriguez Infante, A. (2000). Geomorfologia. Obtenido de https://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1661/RodriguezG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodriguez Jimenez, G. (diciembre 22 de 1976). Colombia, Tierra nuestra (Geografia).

Sanchez Jara, P. (24 de octubre de 2012). La Teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales. Cuenca, Ecuador.

Sarmiento Pinzón, C. E., Sarmiento Giraldo, M. V., Zapata Jiménez, J. A., & Cadena Vargas, C. E. (2013). Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de los complejos de páramo a

escala 1:100.000. Recuperado el 2022, de http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31406

Servicio Geológico Colombiano. ((s.f.)). Glosario de Unidades y Subunidades Geomorfológicas.

Significado de Orografía. (s.f.). Recuperado el 6 de enero de 2023, de https://www.significados.com/orografia/

Soukatchev, V. N. (1954). Quelques problèmes théoriques de la phytocénologie. Essais de botanique.

Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. Ecology. Recuperado el 2022

Reconstrucción Orográfica

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	0%	7%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

1%

★ José López Oliva. "El seguro ecológico y la responsabilidad ambiental en Colombia", FapUNIFESP (SciELO), 2015

Publicación

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 5 words
Excluir bibliografía	Activo		