Análisis del relieve y cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro Santander, con programación Model Builder

Proyecto de Investigación

Laura Valentina Santos Camacho.

CC 1102634187

Jesús Antonio Pérez Niño

CC 1095918339

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

Facultad de ciencias Naturales e Ingenierías

Ingeniería en Topografía

BUCARAMANGA 6/03/2026

Análisis del relieve y cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro Santander, con programación Model Builder

Proyecto de Investigación

Laura Valentina Santos Camacho.

CC 1102634187

Jesús Antonio Pérez Niño

CC 1095918339

Trabajo de Grado para optar al título de

Ingeniero Topógrafo

DIRECTOR

Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación – **GRIMAT**

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

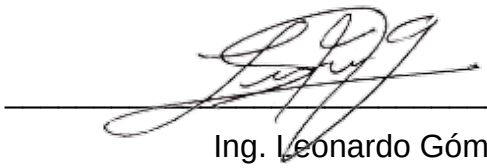
Facultad de ciencias Naturales e Ingenierías

Ingeniería en Topografía

BUCARAMANGA 6/03/2026

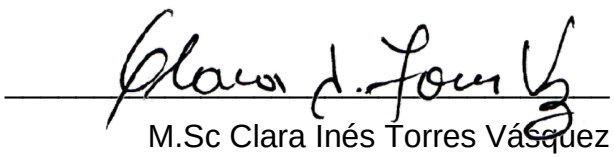
Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo
Según acta #6 del Comité de Proyectos de Grado
Del 13 de marzo de 2026
Docente evaluador: Ing. Leonardo Favio Gómez Mejía
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Ing. Leonardo Gómez Mejía

Firma del Evaluador



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez

Firma del Director

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo, en primer lugar, a nuestras familias, quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y motivación han sido la fuerza que nos impulsó a culminar este proyecto. A nuestros docentes y compañeros de la carrera de Ingeniería Topográfica, quienes con su guía y colaboración contribuyeron significativamente a nuestro crecimiento académico y personal. Finalmente, dedicamos este esfuerzo a la comunidad del municipio de Rionegro, Santander, esperando que los resultados de esta investigación puedan aportar al conocimiento, la planificación y la gestión sostenible de sus recursos naturales, en especial de sus cuencas hidrográficas y su relieve, como un legado para las futuras generaciones.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos un profundo agradecimiento a la profesora Clara Inés Torres, directora del proyecto, por su guía constante, sus enseñanzas y su acompañamiento a lo largo de todo el proceso. Su apoyo no solo fue fundamental en lo académico, sino también en la forma de orientar cada etapa del trabajo, aportando claridad y confianza en los momentos necesarios. La verdad, su disposición y compromiso dejaron una huella importante en el desarrollo de este proyecto.

De igual manera, se agradece a la Universidad por la formación brindada y por proporcionar los espacios y recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a los docentes del programa de Ingeniería en Topografía, por sus enseñanzas, aportes y acompañamiento a lo largo del proceso formativo, los cuales fueron fundamentales para la construcción de los conocimientos aplicados en este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 11

INTRODUCCIÓN 13

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 15

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
1.2. JUSTIFICACIÓN 17
1.3. OBJETIVOS 18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

2. MARCO REFERENCIAL 19

2.1. MARCO CONCEPTUAL 19
2.1.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) 19
2.1.2. MODEL BUILDER 19
2.1.3. PROGRAMACION VISUAL 20
2.1.4. PROGRAMACIÓN EN PYTHON PARA ANÁLISIS ESPACIAL 20
2.1.5. ANÁLISIS DE RELIEVE MEDIANTE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (MDE) 20
2.1.6. HIDROLOGÍA COMPUTACIONAL Y DELIMITACIÓN DE CUENCAS 21
2.1.7. GESTIÓN DEL TERRITORIO Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL: PBOT DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO Y POMCA DEL RÍO LEBRIJA 21
2.1.8. AUTOMATIZACIÓN Y REPRODUCIBILIDAD EN ANÁLISIS GEOESPACIAL 22
2.1.9. TELEDETECCIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL 22
2.1.10. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS 22
2.1.11. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES 23
2.1.12. MORFOMETRÍA 23
2.1.13. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA 23
2.2. MARCO LEGAL 25
2.3. MARCO AMBIENTAL 29
2.3.1. CARACTERIZACIÓN FISIOGRÁFICA Y USOS DEL SUELO 29
2.3.2. PROBLEMÁTICA DE DEGRADACIÓN Y RIESGOS 30
2.3.3. APORTE A LA GESTIÓN AMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD 30

2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 31

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO 36

3.1. ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE RIONEGRO, SANTANDER 36
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA 36

3.1.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA 37
3.2. IDENTIFICACIÓN DE INSUMOS GEOESPACIALES 41
3.2.1. DESCARGA Y OBTENCIÓN DE DATOS 45
3.2.2. VERIFICACIÓN DE CALIDAD Y CONSISTENCIA 46
3.2.3. PROCESAMIENTO DE LOS DATOS 46
3.2.4. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS CON LA FORMA DE LA CUENCA 47
3.2.5. ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOESPACIAL 52

4. RESULTADOS 53

4.1. ANÁLISIS DE TERRENO 53
4.1.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE PENDIENTES 53
4.2. PROCESOS MORFODINÁMICOS 56
4.2.1. PROCESOS ACTIVOS 56
4.2.2. MOVIMIENTOS EN MASA 59
4.2.3. ORIENTACIÓN O ASPECTO EN Q-GIS 60
4.2.4. MAPA HIPSOMÉTRICO 67
4.2.5. ELABORACIÓN DE MAPA DE PENDIENTE A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA MODELBUILDER 73
4.3. DELIMITACIÓN DE UNA UNIDAD HIDROGRÁFICA SUBSIGUIENTE 76

CONCLUSIONES 86

RECOMENDACIONES 87

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Esquema Metodológico del Proyecto* 34

Figura 2. *Mapa Zona De Estudio* 37

Figura 3. *División Política del Municipio de Rionegro 2021 (Barrios)* 39

Figura 4. División Política del Municipio de Rionegro 2021 (Veredas) 40

Figura 5. *Alaska Vertex* 41

Figura 6. *Colombia en mapas* 42

Figura 7. *Departamentos* 43

Figura 8. *Municipios* 44

Figura 9. *Suelos Santander* 45

Figura 10. Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos máximos de precipitación 48

Figura 11. *Patrones de drenaje de tipo Erosional* 51

Figura 12. Organización de la base de datos 52

Figura 13. Mapa Pendiente Zona Alta 54

Figura 14. Mapa Pendiente Zona Media 55

Figura 15. Mapa Sismicidad 57

Figura 16. Análisis de Amenazas Mediante Estudio Del Relieve 58

Figura 17. Mapa De Pendientes Con Los Ríos Y Curvas De Nivel 59

Figura 18. Mapa de Litología Rionegro, Santander 60

Figura 19. Mapa De Aspecto 62

Figura 20. Mapa De Aspecto Con Fallas 64

Figura 21. Mapa De Aspecto Con Fallas Y Ríos 66

Figura 22. Mapa Hipsométrico 67

Figura 23. Mapa De Clima 69

Figura 24. Mapa Geomorfológico 70

Figura 25. Mapa Hipsométrico Y Fallas Geológicas 71

Figura 26. Ejemplo del diagrama ModelBuilder 73
Figura 27. Mapa De Pendiente ModelBuilder 74
Figura 28. Modelo ModelBuilder Pendiente 75
Figura 29. DEM y Punto De Desfogue 76
Figura 30. Flow Direction 77
Figura 31. Flow Accumulation 78
Figura 32. Raster Calculator 79
Figura 33. Stream Link 80
Figura 34. Watershed 81
Figura 35. Stream Order y Stream to Feature 82
Figura 36. Raster to Polygon y Clip 83
Figura 37. Cuenca Delimitada 84
Figura 38. Delimitación MoldelBuilder Zona Alta Rionegro (Santander) 84
Figura 39. Delimitación MoldelBuilder Zona Media Rionegro (Santander) 85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz Marco Legal..... 26

Tabla 2 Valores interpretativos del factor forma..... 49

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo desarrollar un modelo automatizado mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente Model Builder en ArcGIS y QGIS, para el análisis espacial del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro, ubicado en la subzona hidrográfica del río Lebrija. Este enfoque buscó mejorar la eficiencia, precisión y aplicabilidad de los estudios orientados a la gestión territorial sostenible.

La metodología se estructuró en varias fases que incluyeron la recolección y organización de información geoespacial, el análisis morfométrico del relieve a partir de modelos digitales de elevación, y la delimitación de cuencas hidrográficas mediante procesos hidrológicos automatizados. Posteriormente, se diseñaron flujos de trabajo en Model Builder que integraron herramientas como generación de pendientes, dirección y acumulación de flujo, y delimitación de unidades hidrográficas. Finalmente, se elaboraron productos cartográficos y se documentó el proceso mediante una guía metodológica.

Como resultados, se obtuvo una base de datos geoespacial estructurada, mapas temáticos del relieve, red de drenaje y delimitación de cuencas, así como un modelo automatizado capaz de replicar los procesos de análisis con diferentes insumos. La implementación del modelo permitió optimizar tiempos de procesamiento y mejorar la consistencia de los resultados frente a métodos manuales.

En conclusión, el uso de herramientas automatizadas en SIG demostró ser una estrategia efectiva para el análisis territorial, evidenciando que la calidad de los insumos y la correcta estructuración del modelo son factores determinantes en la precisión de los resultados. Asimismo, se resalta que la automatización no sustituye

el criterio técnico, sino que lo fortalece, facilitando la toma de decisiones en procesos de planificación y gestión ambiental.

PALABRAS CLAVE. Model Builder, SIG, cuencas hidrográficas, relieve, automatización.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la gestión del territorio ha adquirido una importancia creciente debido a la presión ejercida por factores como la expansión urbana, el uso intensivo de recursos naturales y la vulnerabilidad frente a fenómenos naturales. Para responder a estos retos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas clave, ya que permiten integrar, procesar y analizar información espacial en función de la planificación y la gestión ambiental (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2020).

El marco normativo colombiano respalda el uso de estos instrumentos en los procesos de ordenamiento. La Ley 388 de 1997 establece la función pública del urbanismo y la necesidad de armonizar el desarrollo económico con la protección del ambiente. Asimismo, la Ley 99 de 1993 dio origen al Sistema Nacional Ambiental (SINA), fortaleciendo la gestión de las cuencas hidrográficas mediante planes como los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). En el ámbito regional, los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) constituyen instrumentos fundamentales para orientar el uso del suelo y garantizar un desarrollo equilibrado en los municipios.

El municipio de Rionegro (Santander) se encuentra dentro de la jurisdicción de la cuenca del río Lebrija, un espacio de gran relevancia ambiental e hídrica para el nororiente colombiano. Esta zona se caracteriza por su diversidad de coberturas, la importancia de su sistema hidrográfico y la presión derivada de actividades agropecuarias y urbanas. En este contexto, el análisis espacial a través de SIG resulta indispensable para caracterizar sus condiciones físicas, ambientales y territoriales, generando insumos útiles para la toma de decisiones locales y

regionales (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga [CDMB], 2019).

El presente trabajo propone una metodología basada en un enfoque cuantitativo y computacional, que integra bases cartográficas oficiales, modelos digitales de elevación, registros hidrológicos e imágenes satelitales. Para garantizar la reproducibilidad y eficiencia en el procesamiento, se emplean herramientas como QGIS, ArcGIS y programación en Python, combinando el análisis inductivo y deductivo. De esta manera, se busca aportar al conocimiento técnico y normativo del ordenamiento territorial en Rionegro, fortaleciendo la articulación entre la gestión ambiental y la planificación del desarrollo municipal.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas regiones, la planificación territorial no incorpora herramientas geoespaciales automatizadas para analizar de forma precisa elementos físicos como el relieve, la distribución de cuencas hidrográficas y los tipos de suelos. Esta omisión conduce a decisiones de ordenamiento inadecuadas, afectando negativamente los ecosistemas, el uso del suelo y la prevención de riesgos naturales. A pesar del avance de los SIG, gran parte del análisis territorial sigue realizándose manualmente o con bajo nivel de automatización, lo que genera procesos ineficientes, poco replicables y susceptibles al error humano.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Rionegro, Santander, dentro de la subzona hidrográfica del río Lebrija, y constituye un área de gran relevancia ambiental y territorial debido a su compleja configuración fisiográfica y su papel en la dinámica hídrica regional. Esta región presenta una topografía variada, con pendientes que influyen directamente en el escurrimiento superficial, la formación de microcuencas y la distribución de los usos del suelo, en su mayoría de vocación agropecuaria. Además, alberga ecosistemas sensibles que requieren una gestión adecuada para prevenir procesos de degradación como la erosión, la deforestación y la contaminación de fuentes hídricas. Por su ubicación estratégica y características naturales, esta zona representa un escenario ideal para aplicar herramientas de análisis espacial automatizado, con el fin de generar información técnica precisa que contribuya a la toma de decisiones en procesos de ordenamiento territorial, conservación ambiental y desarrollo sostenible.

Esta problemática se relaciona con el banco de ideas y proyectos de investigación orientados a la gestión ambiental y planificación del territorio a través de tecnologías geoespaciales. Las causas principales son la falta de capacitación en herramientas como Model Builder de ArcGIS y el desconocimiento del potencial de automatización en QGIS mediante scripts o modelos. Esto limita la integración efectiva de variables clave para el desarrollo sostenible.

A partir del uso de programación avanzada, se busca optimizar flujos de trabajo en el análisis del relieve, delimitación de cuencas y caracterización de suelos, generando insumos técnicos clave para una toma de decisiones más ágil y acertada en el ordenamiento territorial.

¿Como desde la programación con Model Builder se puede analizar el relieve y cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro, subzona hidrográfica del rio Lebrija en el departamento de Santander, como aporte a la gestión territorial?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presente propuesta surge de la necesidad de optimizar los procesos de análisis espacial aplicados a la gestión territorial, especialmente en contextos donde el conocimiento del relieve, las cuencas hidrográficas y los suelos es fundamental para tomar decisiones informadas. Resolver esta problemática es clave para reducir errores humanos, ahorrar tiempo y aumentar la calidad técnica de los estudios territoriales. El uso de programación avanzada en Model Builder (ArcGIS) y QGIS permite automatizar tareas repetitivas y complejas, garantizando mayor precisión, trazabilidad y replicabilidad.

La subzona hidrográfica del río Lebrija en el municipio de Rionegro, Santander, es de vital importancia para la gestión territorial, ya que cumple funciones clave en la regulación hídrica, el sostenimiento de actividades productivas y la conservación de ecosistemas estratégicos. Su análisis detallado permite identificar dinámicas del relieve, comportamiento de las cuencas y distribución de suelos, lo cual es esencial para prevenir riesgos naturales, planificar el uso del suelo de forma sostenible y proteger fuentes hídricas. Al integrar herramientas geoespaciales como Model Builder, se optimizan los procesos de análisis y se fortalecen las capacidades técnicas en la toma de decisiones, generando beneficios ambientales, sociales y económicos. Esta subzona representa además un escenario pertinente para el desarrollo de soluciones automatizadas que apoyen la investigación aplicada, como parte del fortalecimiento de la línea de “Gestión Ambiental y Ordenamiento del Territorio” del grupo GIGAC de las UTS.

Tecnológicamente, promueve el uso eficiente de herramientas SIG; económicamente, disminuye costos operativos en proyectos de planificación; socialmente, mejora la toma de decisiones que afectan comunidades; y ambientalmente, facilita la protección y uso racional de los recursos naturales. Teóricamente, aporta al fortalecimiento de la línea de investigación “Gestión

Ambiental y Ordenamiento del Territorio" del grupo de investigación *GIGAC* de las UTS, fomentando competencias prácticas alineadas con las demandas laborales del sector geoespacial.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo automatizado mediante programación visual en Model Builder (ArcGIS) para el análisis espacial del relieve y cuencas hidrográficas, en el municipio de Rionegro, subzona hidrográfica del rio Lebrija con el fin de mejorar la eficiencia, precisión y aplicabilidad de los estudios orientados a la gestión territorial sostenible.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar la información geoespacial necesaria (modelos digitales de elevación, cartografía de suelos e hidrografía) para la delimitación y análisis de unidades fisiográficas en el municipio de Rionegro, subzona hidrográfica del rio Lebrija, con el fin de establecer una base de datos confiable para el modelamiento.

Diseñar flujos de trabajo automatizados en Model Builder que integren procesos como generación de curvas de nivel, cálculo de pendientes, delimitación de cuencas, para optimizar el análisis territorial.

Documentar el procedimiento técnico y generar una guía práctica de uso para replicar el modelo en otros territorios, como insumo para fortalecer capacidades técnicas en entidades públicas, académicas o consultoras.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta fundamental para la gestión de información espacial, ya que permiten integrar, analizar y representar datos georreferenciados con aplicaciones en múltiples campos como la planificación urbana, la gestión ambiental y la hidrología. En el marco de la investigación aplicada, los SIG son esenciales para comprender la dinámica del relieve, la distribución de cuencas hidrográficas y los usos del suelo, lo cual favorece la toma de decisiones en ordenamiento territorial (Burrough & McDonnell, 1998). https://url-shortener.me/85KM

2.1.2. Model Builder

El Model Builder es una herramienta de automatización integrada en ArcGIS**,** desarrollada por *Esri*, que permite crear, ejecutar y compartir modelos de geoprocesamiento a través de una interfaz visual basada en flujos de trabajo. Esta funcionalidad facilita la secuenciación lógica de procesos espaciales, como análisis topográficos, hidrológicos o de cobertura del suelo, sin necesidad de programación avanzada. Su principal ventaja radica en la capacidad de optimizar el tiempo, reducir errores humanos y garantizar la reproducibilidad de los análisis mediante la integración de diversas herramientas SIG en un solo modelo. De acuerdo con *Esri* (2023), el Model Builder constituye un componente esencial del análisis geoespacial moderno, ya que permite diseñar metodologías estandarizadas, automatizar tareas repetitivas y fortalecer la trazabilidad de los resultados en estudios territoriales y ambientales. https://url-shortener.me/85LZ

2.1.3. Programación visual

La programación visual es un enfoque que permite construir procesos y algoritmos mediante interfaces gráficas, donde las operaciones se representan como elementos conectados en un flujo lógico, en lugar de utilizar código textual tradicional. En el contexto de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas como Model Builder en ArcGIS facilitan la creación de modelos geoespaciales a través de la integración secuencial de herramientas, datos de entrada y salidas, permitiendo automatizar y estructurar análisis complejos de manera intuitiva y reproducible. Este tipo de programación no solo mejora la comprensión de los procesos, sino que también reduce errores y optimiza la ejecución de tareas repetitivas en el análisis espacial. *Esri* (2023) https://url-shortener.me/85LZ

2.1.4. Programación en Python para análisis espacial

Python se ha consolidado como uno de los lenguajes más utilizados en el ámbito geoespacial debido a su sintaxis sencilla y a librerías específicas como ArcPy y PyQGIS**,** que amplían las capacidades de los SIG. Su aplicación en análisis espacial incluye desde la automatización de tareas básicas hasta la implementación de modelos avanzados de simulación hidrológica. Según Zandbergen (2013), la programación en Python es indispensable para potenciar los SIG en la gestión territorial contemporánea https://url-shortener.me/85KH

2.1.5. Análisis de Relieve mediante Modelos Digitales de Elevación (MDE)

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) representan digitalmente la superficie terrestre y permiten calcular variables derivadas como pendientes, orientaciones de laderas y acumulaciones de flujo. Estos insumos son fundamentales en estudios geomorfológicos e hidrológicos. Wilson y Gallant (2000) afirman que los MDE son la base del análisis de relieve y constituyen una herramienta central en la

delimitación de cuencas hidrográficas y en la gestión de riesgos asociados a erosión e inundaciones. https://url-shortener.me/85M3

2.1.6. Hidrología computacional y delimitación de cuencas

La hidrología computacional ha permitido simular procesos como la escorrentía, la infiltración y los caudales mediante algoritmos implementados en entornos SIG. Procedimientos como la dirección de flujo (D8 y D∞) permiten delimitar cuencas de manera precisa y eficiente, contribuyendo a la gestión integral de recursos hídricos. Chow, Maidment y Mays (1988) destacan que la integración entre hidrología y computación posibilita la reducción de vulnerabilidades frente a fenómenos naturales como inundaciones y deslizamientos. https://url-shortener.me/85MF

2.1.7. Gestión del Territorio y Ordenamiento Ambiental: PBOT del Municipio de Rionegro y POMCA del Río Lebrija

El ordenamiento territorial en Colombia se fundamenta en instrumentos como el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), que orienta el uso, la ocupación y la gestión sostenible del suelo en municipios como Rionegro (Santander). Este plan busca equilibrar el desarrollo urbano, la productividad rural y la conservación de los recursos naturales, integrándose con el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) del río Lebrija, el cual regula las actividades humanas relacionadas con el recurso hídrico y la protección de ecosistemas estratégicos. La articulación entre el PBOT y el POMCA garantiza una gestión territorial coherente con los principios de sostenibilidad ambiental y planificación participativa, fortaleciendo la toma de decisiones basada en información geoespacial (Alcaldía de Rionegro, 2016; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). https://url-shortener.me/85KZ

2.1.8. Automatización y reproducibilidad en análisis geoespacial

La automatización en análisis geoespacial garantiza la reducción de tiempos de procesamiento, la replicabilidad de metodologías y la trazabilidad de los resultados, lo que incrementa la confiabilidad de los estudios. Según Tomlinson (2013), la reproducibilidad constituye un pilar en la investigación aplicada con SIG, al asegurar que los procesos pueden ser replicados en diferentes territorios bajo los mismos parámetros, aportando rigor científico y eficiencia técnica. https://url-shortener.me/85MT

2.1.9. Teledetección y monitoreo ambiental

La teledetección consiste en la adquisición de información de la superficie terrestre mediante sensores instalados en satélites o aeronaves. Esta tecnología permite generar indicadores ambientales a partir de imágenes multiespectrales, facilitando la identificación de cambios en la cobertura vegetal, cuerpos de agua y áreas degradadas. De acuerdo con Jensen (2007), la integración entre teledetección y SIG amplía la capacidad de monitoreo ambiental, al proporcionar datos actualizados y precisos sobre la dinámica del territorio. https://acortar.link/KuFS1M

2.1.10. Análisis morfométrico de cuencas hidrográficas

El análisis morfométrico permite cuantificar las características geométricas, de red de drenaje y relieve de una cuenca, proporcionando indicadores como densidad de drenaje, relación de elongación, pendiente media y coeficiente de compacidad. Estos parámetros son esenciales para evaluar la susceptibilidad a la erosión y el comportamiento hidrológico. Strahler (1957) plantea que la morfometría constituye la base científica para clasificar cuencas y establecer su potencial de respuesta ante eventos de precipitación intensa. https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913

2.1.11. Sostenibilidad ambiental y gestión de recursos naturales

La sostenibilidad ambiental implica el equilibrio entre las actividades humanas y la capacidad de los ecosistemas para mantener sus funciones. En el contexto territorial, la gestión de recursos naturales requiere integrar información técnica —como la proveniente del análisis de relieve y cuencas— con políticas de conservación y desarrollo sostenible. Daly (1996) sostiene que la sostenibilidad no se limita a la protección del ambiente, sino que debe asegurar la resiliencia del territorio mediante la planificación basada en evidencia científica. https://www.jstor.org/stable/2137812

2.1.12. Morfometría

Las características físicas (geología, clima, topografía, suelo, cobertura vegetal) de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica representan un condicionante para la ocurrencia del flujo de agua en los drenajes naturales que se localizan en ella, respondiendo de una forma dinámica a estos, determinando así su régimen fluvial.

El análisis morfométrico permite interpretar y predecir los comportamientos hidrológicos y de torrencialidad de una cuenca hidrográfica; este análisis es realizado mediante la obtención de índices morfométricos, a partir de la forma de la cuenca, red de drenaje y relieve. Estos índices se desarrollan a continuación para la cuenca hidrográfica del río Garagoa y sus subcuencas. https://acortar.link/MuUhmL

2.1.13. Características generales de la cuenca

Las características generales de la cuenca, son calculadas debido a que presentan la información base para el cálculo de los indicadores morfométricos. A continuación, se realiza la descripción de cada una de sus variables:

- Área (km2): Es uno de los parámetros más importantes en la caracterización de cuencas hidrográficas, dado que influye directamente en la producción

potencial de agua y en consecuencia en la magnitud de los caudales producidos por la misma; por definición, es la proyección horizontal incluida entre la divisoria topográfica de la cuenca. Su medición se realiza a partir de digitalización de la divisoria de aguas.

- Perímetro de la cuenca (km): Es un parámetro que se calcula a partir de la medición de la longitud de la línea divisoria de aguas de la cuenca.
- Longitud axial de la cuenca (km): La longitud axial se determina siguiendo el curso de agua más largo correspondiente al drenaje principal desde la desembocadura hasta su nacimiento en línea recta.
- Longitud de la corriente principal (km): se determina midiendo la longitud de la corriente principal desde su nacimiento hasta el cierre de la cuenca.
- Longitud máxima de la cuenca (km): es la longitud medida entre los puntos extremos de la cuenca, desde la desembocadura hasta el punto más lejano de la cuenca.
- Longitud de Corrientes (km): Corresponde a la sumatoria de la longitud de todas las corrientes de la cuenca, bien sea permanente o intermitente.
- Número de Corrientes: Corresponde a la cantidad de corrientes presentes en la cuenca, se tienen en cuenta tanto las intermitentes como permanentes.
- Ancho medio de la cuenca (km): es el dato promedio que se obtiene del cociente entre el área de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. https://acortar.link/MuUhmL

2.2. MARCO LEGAL

El marco legal presentado en la tabla 1. Matriz Marco Legal constituye la base normativa que respalda el desarrollo del proyecto de análisis geoespacial en el municipio de Rionegro, Santander. En primer lugar, se destacan normas de rango constitucional y legal, como la Constitución Política de 1991, la Ley 99 de 1993 y la Ley 388 de 1997, que establecen los principios del derecho a un ambiente sano, la creación del Sistema Nacional Ambiental (SINA) y la regulación del ordenamiento territorial, respectivamente. Posteriormente, los decretos compilatorios 1076 y 1077 de 2015 integran las disposiciones relacionadas con la protección de los recursos naturales y la planificación del suelo, fundamentales para vincular los análisis geoespaciales al ordenamiento territorial. En el ámbito específico de la gestión hídrica, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010), el Decreto 1640 de 2012 y la Resolución 509 de 2013 regulan la formulación y ejecución de los POMCA, en este caso el del río Lebrija, directamente relacionado con el área de estudio. Asimismo, normas como la Ley 1523 de 2012 y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres vinculan el análisis del relieve y la hidrología computacional con la prevención de amenazas naturales. Finalmente, los instrumentos de planeación local, como el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Rionegro y el POMCA del río Lebrija, constituyen el marco territorial específico en el que se aplicarán los resultados del proyecto, articulando el uso de herramientas SIG con la sostenibilidad ambiental y la gestión integral del territorio.

Tabla 1
Matriz Marco Legal

Norma / Instrumento	Año	Contenido Relevante	Aplicación al Proyecto	Enlace
Constitución Política de Colombia	1991	Art. 79: Derecho a un ambiente sano. Art. 80: deber del Estado de planificar recursos naturales.	Soporta el uso de SIG en la toma de decisiones ambientales y territoriales.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125
Ley 99	1993	Crea el Ministerio de Ambiente y el SINA. Introduce el desarrollo sostenible.	Marco para la conservación de cuencas y ordenamiento ambiental.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297
Ley 388	1997	Regula el ordenamiento territorial mediante POT, PBOT y EOT.	Relaciona análisis geoespacial con el EOT de Rionegro.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339
Decreto 1076 (Sector Ambiente)	2015	Compila normas sobre protección ambiental y manejo hídrico.	Define lineamientos para protección de microcuencas.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153
Decreto 1077 (Vivienda y Ordenamiento Territorial)	2015	Reglamenta Ley 388 sobre planificación territorial y uso del suelo.	Fundamenta integración de SIG en ordenamiento municipal.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216

Norma / Instrumento	Año	Contenido Relevante	Aplicación al Proyecto	Enlace
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH)	2010	Lineamientos para uso sostenible del agua.	Sustenta la delimitación automatizada de cuencas.	https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf
Resolución 509 – MinAmbiente	2013	Reglamenta la formulación y ejecución de los **POMCA**.	Exige análisis técnicos de relieve y cuencas en el POMCA del río Lebrija.	https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-22.-Resolucion-0509-de-2013.pdf
Decreto 1640	2012	Regula planes de ordenación de cuencas hidrográficas (POMCA).	Enmarca la integración del SIG en la gestión hídrica.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987
Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD)	2015 - 2025	Lineamientos para prevención de riesgos por inundaciones y deslizamientos.	Sustenta el uso de MDE para identificar amenazas.	https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD_Informe5.pdf

Norma / Instrumento	Año	Contenido Relevante	Aplicación al Proyecto	Enlace
FORMULACIÓN PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PBOT	Vigente	Define lineamientos de uso del suelo y protección ambiental local.	Instrumento directo de aplicación del análisis geoespacial.	http://www.rionegro-santander.gov.co/politicas-y-lineamientos/formulacion-plan-basico-de-ordenamiento-territorial
POMCA del río Lebrija	Vigente	Instrumento de planificación hídrica de la subzona hidrográfica.	Orienta la gestión de la cuenca en el área de estudio.	https://corponor.gov.co/publica_recursos/resoluciones/2014/Resolucion_Lebrija_medio_modificada.pdf
Ley 1523	2012	Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.	Relaciona SIG con prevención de desastres naturales.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141
Ley 1715	2014	Uso sostenible de recursos naturales y planificación con información técnica.	Favorece la integración de SIG en sostenibilidad.	https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353

Norma / Instrumento	Año	Contenido Relevante	Aplicación al Proyecto	Enlace
Normas Técnicas Colombianas ICONTEC NTC 5661 y 5662	2010	Metodologías para estudios de ordenamiento territorial.	Soporte técnico para la guía metodológica del proyecto.	https://www.ecompass.com.co/wp-content/uploads/2024/03/NTC5661.pdf https://www.ecompass.com.co/wp-content/uploads/2024/03/NTC5662.pdf

Nota. La tabla relaciona el marco normativo aplicable al proyecto en materia ambiental, territorial y de gestión del riesgo. Fuente: Elaboración propia a partir de la normatividad vigente.

2.3. MARCO AMBIENTAL

El proyecto se enmarca en un contexto ambiental y territorial de alta relevancia, centrado en el municipio de Rionegro, Santander, dentro de la subzona hidrográfica del río Lebrija. Esta área es de gran importancia ambiental y territorial debido a su compleja configuración fisiográfica y su papel en la dinámica hídrica regional.

Los principales aspectos ambientales y la problemática a abordar son:

2.3.1. Caracterización Fisiográfica y Usos del Suelo

- **Topografía y Escurrimiento:** La región presenta una topografía variada, con pendientes que influyen directamente en el escurrimiento superficial, la formación de microcuencas y la distribución de los usos del suelo.
- **Vocación y Actividades Productivas:** La mayoría de los usos del suelo en la zona de estudio son de vocación agropecuaria. La subzona del río Lebrija

es vital porque sostiene actividades productivas y cumple funciones clave en la regulación hídrica.

- **Ecosistemas Sensibles:** El área tiene ecosistemas sensibles que requieren una gestión adecuada.

2.3.2. Problemática de Degradación y Riesgos

La omisión de herramientas geoespaciales automatizadas en la planificación territorial conduce a decisiones de ordenamiento inadecuadas. Esto afecta negativamente a los ecosistemas y el uso del suelo, y dificulta la prevención de riesgos naturales.

El análisis detallado del relieve y las cuencas es crucial para la prevención de riesgos naturales y la protección de fuentes hídricas. La gestión inadecuada del territorio en la zona puede llevar a procesos de degradación como:

- **La erosión**
- **La deforestación**
- **La contaminación de fuentes hídricas**

2.3.3. Aporte a la Gestión Ambiental y Sostenibilidad

El proyecto busca generar información técnica precisa mediante el análisis espacial automatizado, lo que contribuirá directamente a la toma de decisiones en procesos de:

- **Ordenamiento territorial**
- **Conservación ambiental**
- **Desarrollo sostenible**

El conocimiento generado a través del modelo automatizado facilitará la protección y uso racional de los recursos naturales. Además, el análisis de la subzona del río Lebrija permitirá identificar el comportamiento de las cuencas y la distribución de suelos, lo cual es esencial para una planificación del uso del suelo sostenible.

El proyecto reconoce la responsabilidad ética de minimizar cualquier impacto ambiental derivado del uso de información geoespacial y busca generar insumos técnicos que contribuyan a la conservación ambiental.

2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se plantea como un estudio de carácter descriptivo y explicativo, orientado a analizar las condiciones físicas, ambientales y territoriales del municipio de Rionegro (Santander) y comprender la interacción entre variables como el relieve, la hidrología y la cobertura del suelo en los procesos de ordenamiento ambiental. La investigación se apoya en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en la automatización de flujos de trabajo como medio para mejorar la precisión y eficiencia de los análisis espaciales.

El enfoque metodológico es cuantitativo, dado que se basa en el procesamiento y análisis de datos espaciales obtenidos de fuentes oficiales (IGAC, IDEAM, SINA), imágenes satelitales y modelos digitales de elevación (MDE). Estos insumos permiten generar modelos reproducibles e indicadores técnicos que describen objetivamente la realidad territorial del municipio, contribuyendo a la toma de decisiones informadas en la gestión ambiental.

El método de investigación combina los enfoques inductivo y deductivo.

El razonamiento inductivo se aplica en la observación y procesamiento de los datos primarios —mapas, registros hidrológicos e imágenes satelitales—, identificando patrones y relaciones espaciales. El razonamiento deductivo se emplea al contrastar los resultados obtenidos con teorías geográficas, marcos normativos (como el POMCA del río Lebrija y el PBOT de Rionegro) y modelos previos desarrollados en el campo del análisis territorial y ambiental.

Las principales técnicas utilizadas incluyen:

Procesamiento y análisis espacial en plataformas SIG (QGIS y ArcGIS), mediante herramientas como Model Builder y scripts en Python.

Delimitación hidrológica a partir de modelos digitales de elevación y generación automática de redes de drenaje.

Elaboración de cartografía temática sobre pendientes, cobertura del suelo y cuencas hidrográficas.

Revisión documental y normativa enfocada en instrumentos de planificación territorial y ambiental.

Esquema Metodológico del Proyecto

Fase 1. Recolección de información

Descripción:

Se recopila, organiza y verifica toda la información existente e información de SIG necesaria para el análisis del relieve y de las cuencas hidrográficas.

Actividades principales:

- Recolección de información existente sobre el tema de estudio.
- Identificación de insumos geoespaciales: modelos digitales de elevación (MDE), hidrografía, suelos, cobertura y límites administrativos.
- Obtención de datos desde fuentes oficiales (IGAC, IDEAM, SRTM, Alos Palsar, GEE).
- Procesamiento de los datos para su integración en ArcGIS y QGIS.

Fase 2. Análisis morfométrico del relieve y delimitación de cuencas

Descripción:

Se realiza el análisis espacial de las variables morfométricas que permiten caracterizar el relieve y definir las unidades hidrográficas del municipio.

Actividades principales:

- Generación de curvas de nivel, pendientes.
- Cálculo de parámetros morfométricos: área, perímetro, pendiente media, drenaje.

- Delimitación de cuencas y subcuencas hidrográficas con base en el modelo digital de elevación (MDE).

Fase 3. Programación y automatización con Model Builder

Descripción:

En esta fase se diseña y ejecuta el modelo automatizado en **Model Builder**, integrando herramientas de geoprocesamiento que permitan optimizar y replicar el análisis.

Actividades principales:

- Técnica de procesamientos avanzados (QGIS Y ARC-MAP)

- Implementación de módulos en Model Builder y prueba del modelo en Qgis.
- Validación de los resultados obtenidos frente al procesamiento manual para evaluar eficiencia y precisión.

Fase 4. Generación de productos cartográficos y documentación técnica

Descripción:

Se elaboran los productos finales del proyecto, incluyendo mapas, base de datos y la guía metodológica que documenta la automatización realizada.

Actividades principales:

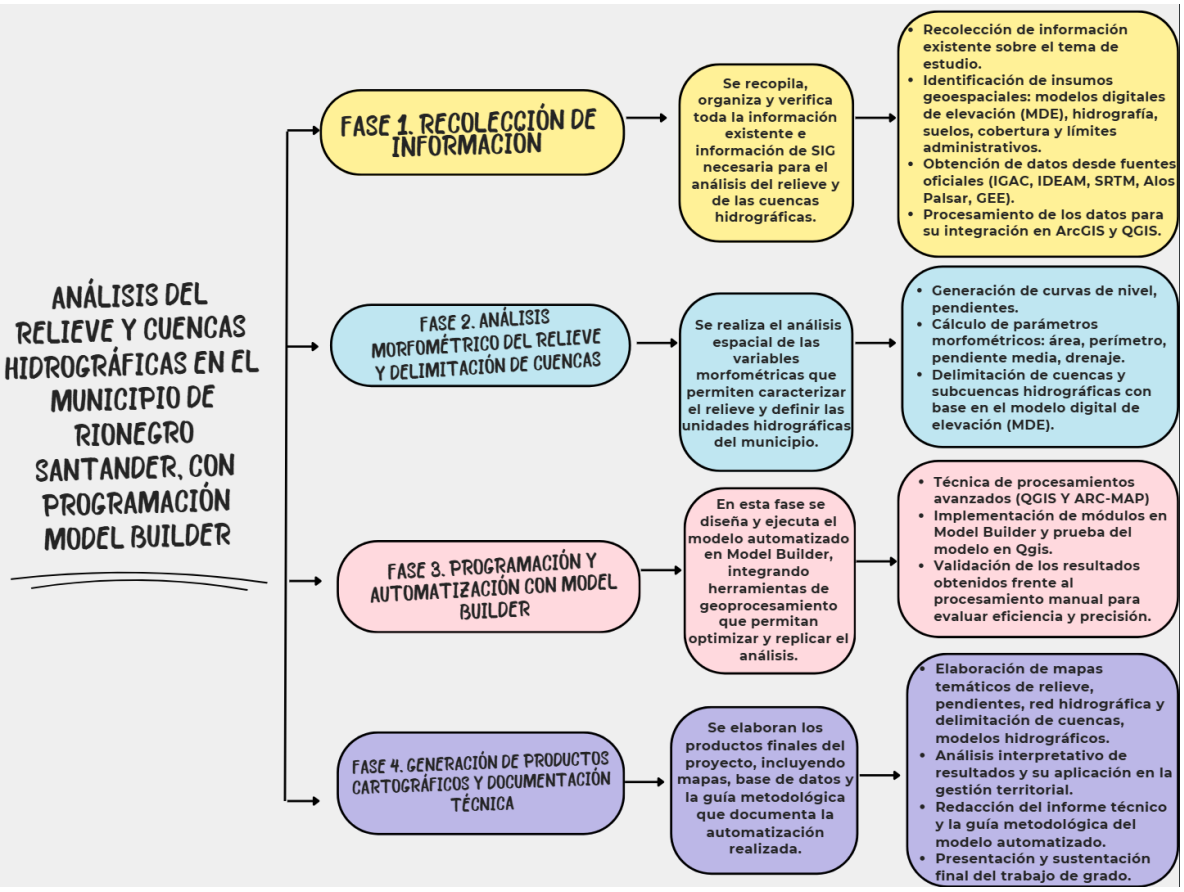
- Elaboración de mapas temáticos de relieve, pendientes, red hidrográfica y delimitación de cuencas, modelos hidrográficos.
- Análisis interpretativo de resultados y su aplicación en la gestión territorial.
- Redacción del informe técnico y la guía metodológica del modelo automatizado.

- Presentación y sustentación final del trabajo de grado.

En la Figura 1 se presenta el esquema metodológico del proyecto, el cual sintetiza de manera general las fases, actividades y productos desarrollados para el análisis del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro, Santander, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y la programación con Model Builder. Este esquema permite visualizar la secuencia lógica del proceso metodológico y la relación entre cada una de las etapas que componen el desarrollo del estudio.

Figura 1.

Esquema Metodológico del Proyecto



Nota. El esquema metodológico muestra las fases y actividades desarrolladas para

el análisis del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro, Santander, a partir del uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y la programación con Model Builder. Fuente: Elaboración propia.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. Zonificación del Área de Estudio: Municipio de Rionegro, Santander

3.1.1. Ubicación geográfica

El municipio de Rionegro se encuentra localizado en el departamento de Santander, en la subregión del Valle de Río Lebrija, al nororiente de Colombia. Su cabecera municipal está situada aproximadamente a 34 km al occidente de Bucaramanga, y limita con los municipios de:

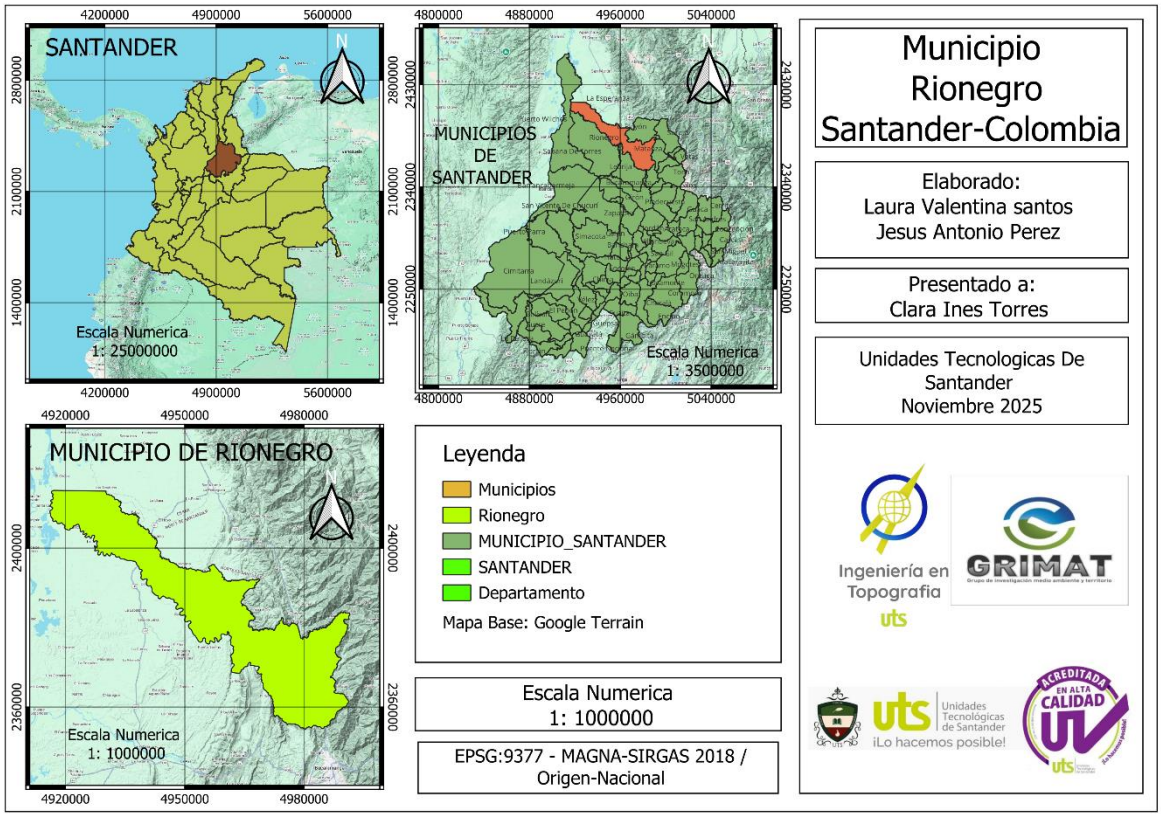
- Norte: El Playón y Suratá.
- Sur: Lebrija.
- Oriente: Bucaramanga.
- Occidente: Girón y Matanza.

Sus coordenadas geográficas aproximadas son:
Latitud: 7°22′ y 7°28′ N
Longitud: 73°08′ y 73°20′ O

El área total del municipio abarca cerca de 1.358 km², lo que lo convierte en uno de los municipios más extensos del departamento de Santander. En la Figura 2 se presenta el mapa de la zona de estudio, el cual permite ubicar geográficamente el municipio de Rionegro dentro del contexto departamental y nacional. El mapa muestra la localización del área de estudio en el departamento de Santander, Colombia, y sirve como referencia espacial para el desarrollo de los análisis posteriores del proyecto.

Figura 2.

Mapa Zona De Estudio



Fuente: Autores

3.1.2. División político-administrativa

Rionegro está conformado por:

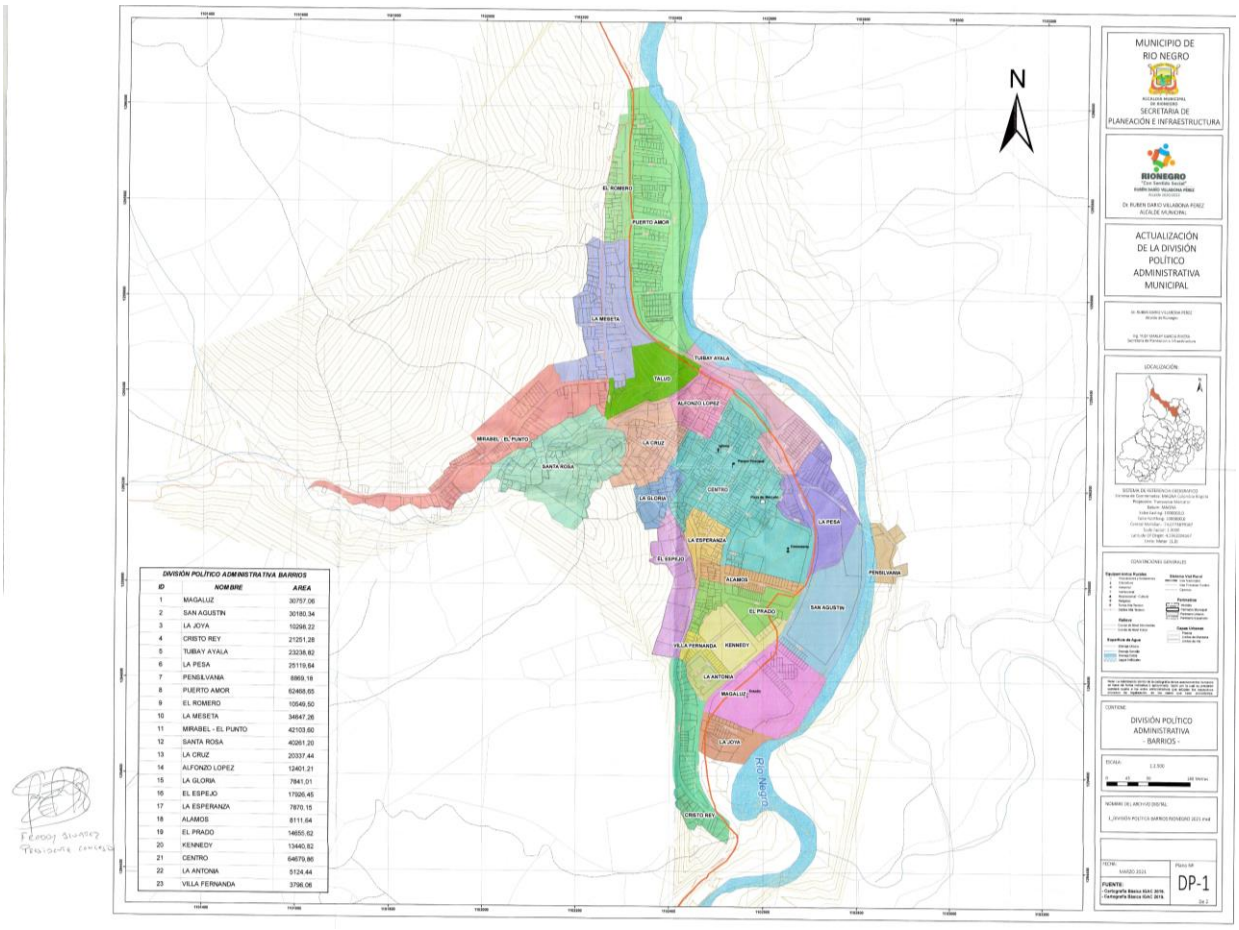
- 1 cabecera municipal.
- 43 veredas rurales.
- Corregimientos destacados: Llana Grande, San Rafael, El Aburrido y El Tablazo.

Estas zonas territoriales se utilizarán como referencia de zonificación interna dentro del análisis espacial, especialmente al momento de identificar cuencas o subcuencas asociadas a cada área rural**.**

La figura 3 muestra la división político-administrativa del municipio de Rionegro correspondiente al año 2021, específicamente la delimitación de los barrios que conforman el área urbana. En el mapa se identifican los límites territoriales de cada barrio, diferenciados mediante una simbología cromática, así como elementos cartográficos básicos como la red hídrica principal, curvas de nivel, orientación norte y escala, los cuales facilitan la comprensión espacial del territorio. Esta información constituye un insumo fundamental para el análisis territorial del proyecto, ya que permite ubicar y relacionar las unidades administrativas con las variables ambientales y geoespaciales estudiadas.

Figura 3.

División Política del Municipio de Rionegro 2021 (Barrios)



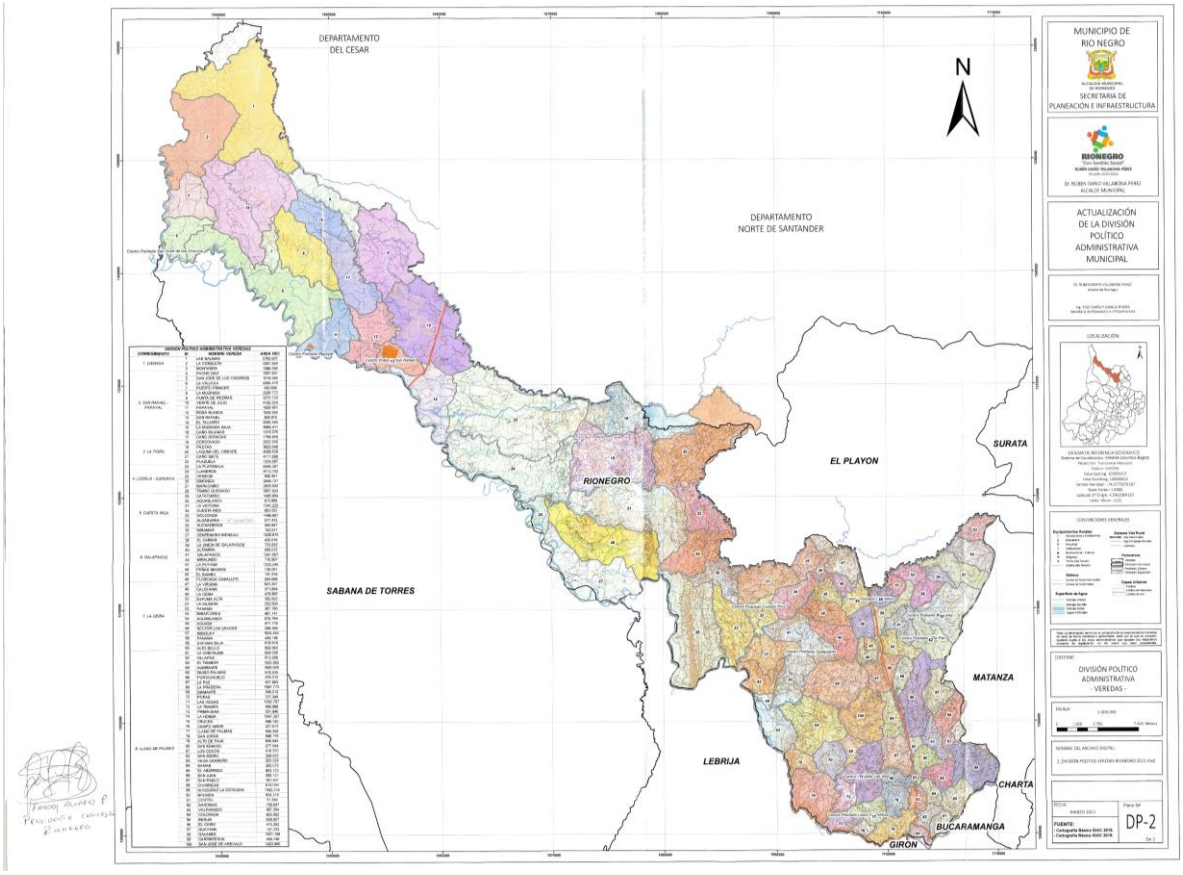
Nota. División política del municipio de Rionegro por barrios, año 2021. Fuente: Alcaldía Municipal de Rionegro Santander. (2021). División política – barrios. https://rionegrosantander.micolombiadigital.gov.co/sites/rionegrosantander/content/files/000419/20907_div-politica-2021-barrios.pdf

La Figura 4 presenta la división político-administrativa del municipio de Rionegro correspondiente al año 2021, en la cual se delimitan las veredas que conforman el territorio municipal. El mapa permite identificar la distribución espacial y los límites de cada vereda mediante una simbología diferenciada, así como elementos cartográficos básicos como la orientación norte, la escala y la red hídrica principal,

los cuales facilitan la interpretación del contexto territorial. Esta información resulta fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que sirve como base para la localización, análisis y articulación de las variables geoespaciales y ambientales a escala rural.

Figura 4.

División Política del Municipio de Rionegro 2021 (Veredas)



Nota. División política del municipio de Rionegro por veredas, año 2021. Fuente: Alcaldía Municipal de Rionegro Santander. (2021). División política – veredas. https://rionegrosantander.micolombiadigital.gov.co/sites/rionegrosantander/content/files/000419/20908_div-politica-2021-vereda.pdf

3.2. Identificación de insumos geoespaciales

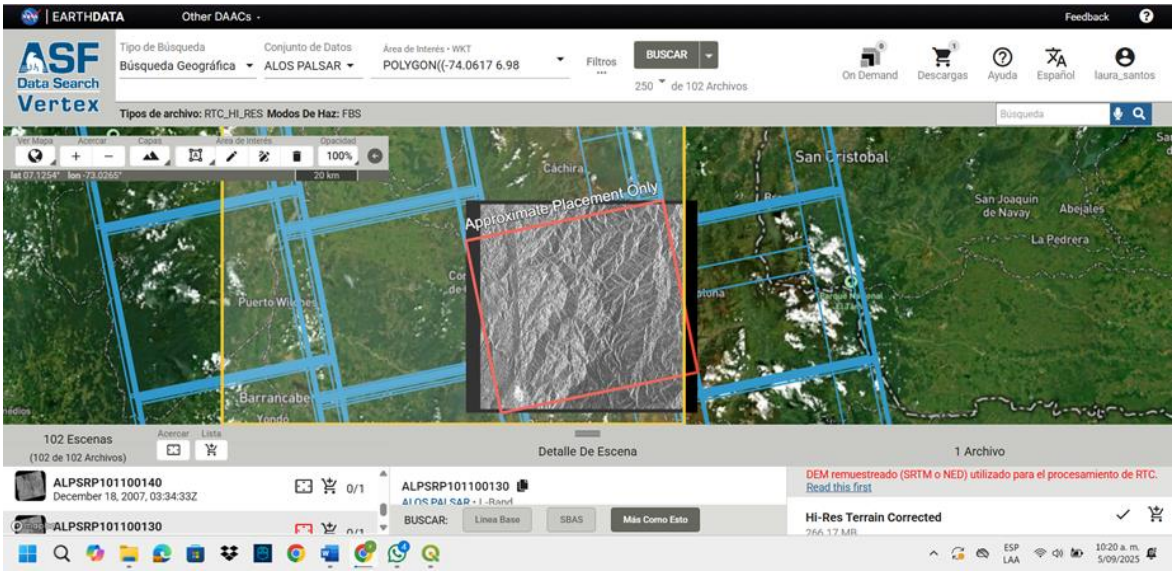
Se definieron los insumos esenciales para el desarrollo del análisis del relieve y cuencas hidrográficas, los cuales incluyen:

- **Modelo Digital de Elevación (MDE):** Principal insumo para derivar productos como curvas de nivel, pendientes, direcciones de flujo y delimitación de cuencas.

La Figura 5 muestra la plataforma Alaska Vertex utilizada para la visualización, búsqueda y descarga del Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual constituye uno de los insumos fundamentales para el desarrollo del análisis geoespacial del proyecto. A través de esta herramienta se accede a información altimétrica de alta resolución, necesaria para la generación de productos derivados como curvas de nivel, pendientes, direcciones de flujo y delimitación de cuencas. La plataforma permite además verificar la cobertura espacial y las características técnicas del MDE seleccionado, asegurando la coherencia de los datos empleados en el análisis territorial.

Figura 5.

Alaska Vertex



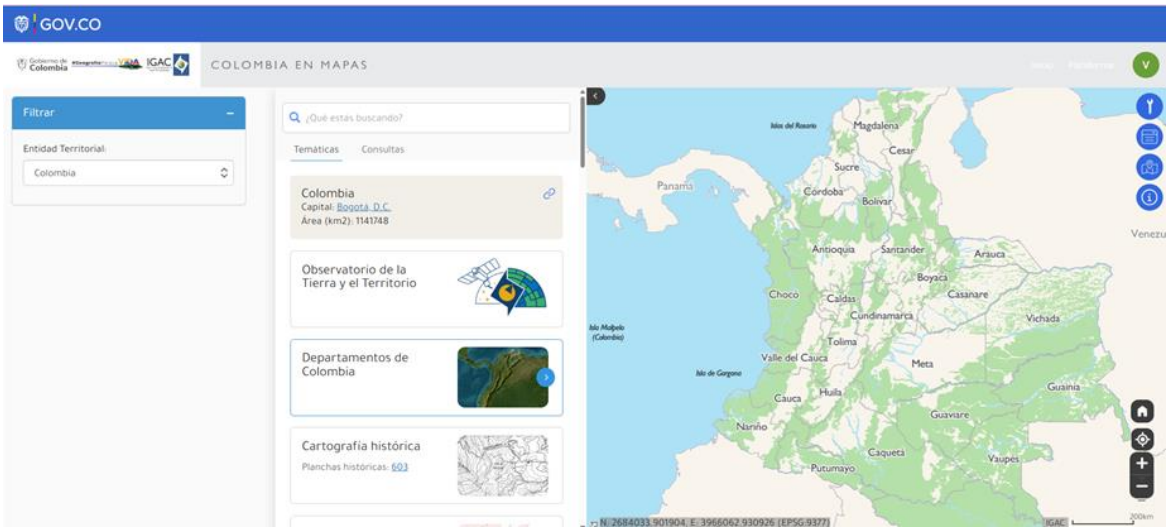
Nota. Plataforma Alaska Vertex para la consulta y descarga de modelos digitales de elevación. Fuente: Alaska Satélite Facility. (s. f.). Vertex Data Search. https://search.asf.alaska.edu/#/

- **Cartografía base (COLOMBIA EN MAPAS):** Límites administrativos del municipio de Rionegro, red hidrográfica y vías principales.

La Figura 6 corresponde a la cartografía base obtenida a través de la plataforma Colombia en Mapas, la cual sirve como soporte general para la contextualización espacial del territorio de estudio. A partir de esta fuente se visualizan y relacionan las divisiones político-administrativas del país, representadas a nivel departamental en la Figura 7 y a nivel municipal en la figura 8, permitiendo ubicar el municipio de Rionegro dentro del contexto nacional. Esta información resulta fundamental para comprender la jerarquía territorial y establecer una referencia espacial clara que respalde el análisis geoespacial desarrollado en el proyecto.

Figura 6.

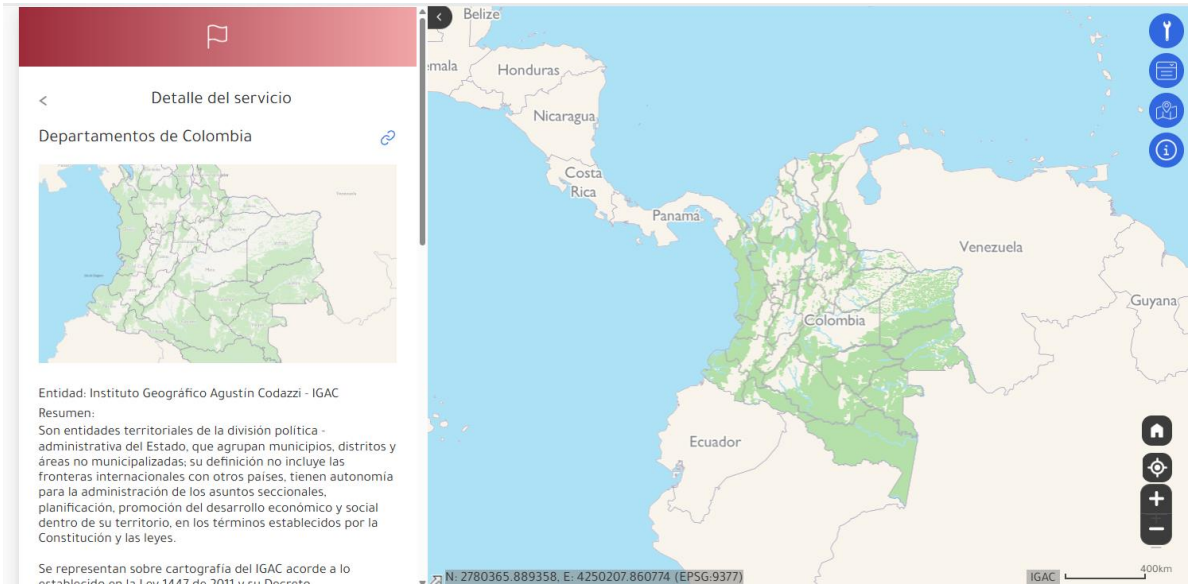
Colombia en mapas



Nota. Plataforma oficial de cartografía base de Colombia utilizada para la consulta de información geográfica. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s. f.). Colombia en Mapas. https://www.colombiaenmapas.gov.co/

Figura 7.

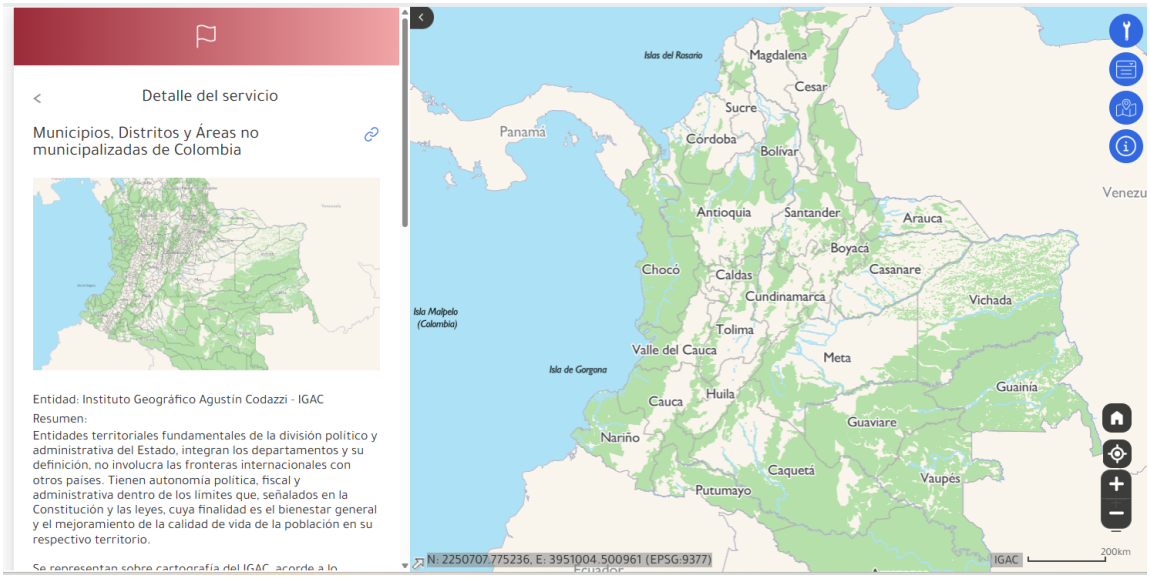
Departamentos



Nota. División político-administrativa de Colombia a nivel departamental. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s. f.). Colombia en Mapas. https://www.colombiaenmapas.gov.co/

Figura 8.

Municipios



Nota. División político-administrativa de Colombia a nivel municipal. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s. f.). Colombia en Mapas. https://www.colombiaenmapas.gov.co/

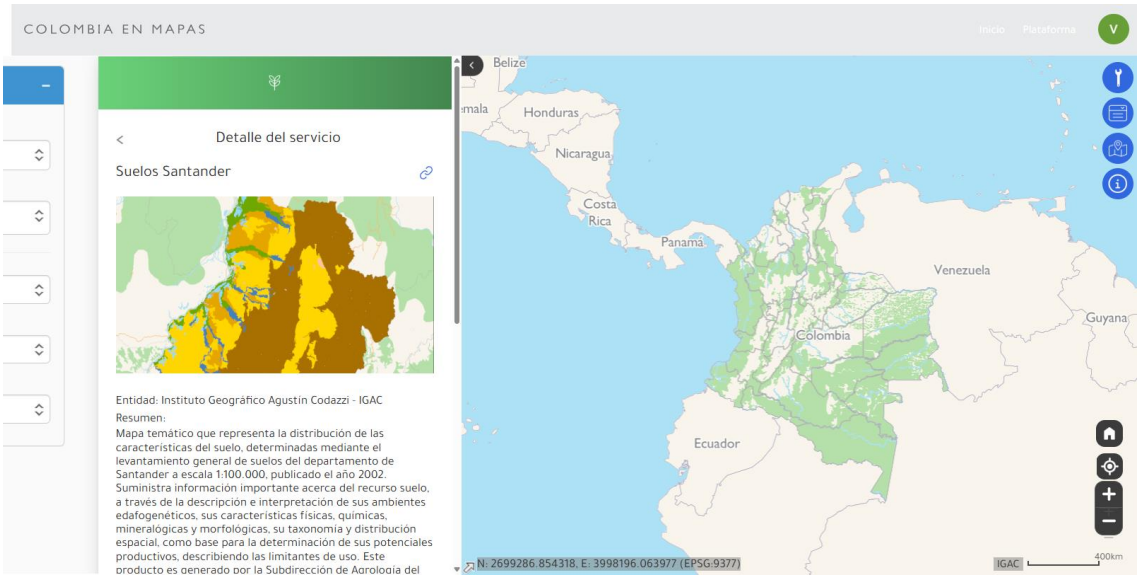
- **Cobertura y uso del suelo (COLOMBIA EN MAPAS):** Insumo de apoyo para la interpretación de resultados y relación entre topografía y actividad antrópica.

La Figura 9 presenta la cartografía de suelos del departamento de Santander, obtenida a partir de la plataforma Colombia en Mapas, la cual permite identificar la distribución espacial de las diferentes unidades de suelo en el territorio. Esta información constituye un insumo de apoyo para la interpretación de los resultados del proyecto, ya que facilita el análisis de la relación entre la topografía, el uso y la cobertura del suelo y la actividad antrópica. Asimismo, la cartografía de suelos

aporta criterios técnicos para comprender la aptitud del terreno, los procesos de ocupación y las posibles restricciones asociadas a la dinámica ambiental e hidrológica del área de estudio.

Figura 9.

Suelos Santander



Nota. Cartografía de suelos del departamento de Santander. Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s. f.). Colombia en Mapas. https://www.colombiaenmapas.gov.co/

- **Geología y suelos (COLOMBIA EN MAPAS):** Aportan información sobre los materiales y estructuras que condicionan la forma del relieve y la dinámica hidrológica.

3.2.1. Descarga y obtención de datos

Una vez identificadas las fuentes, se procede a la descarga de los insumos desde repositorios institucionales o plataformas abiertas. Para los modelos digitales de elevación se utilizó el portal Alaska Vertex, que permiten obtener información con cobertura continua y formatos compatibles con ArcGIS.

Los archivos fueron descargados en formato Geo TIFF (.tif) y Shapefile (.shp), los cuales son los más adecuados para su procesamiento en Model Builder.

Cada insumo se almacenó en una estructura de carpetas organizada, con el fin de mantener trazabilidad y control sobre los datos utilizados en cada etapa del análisis.

3.2.2. Verificación de calidad y consistencia

Antes de iniciar el procesamiento, se aplicaron procedimientos de control de calidad de datos, tales como:

- **Verificación de metadatos** comprobando sistema de coordenadas, resolución y fecha de adquisición.
- **Detección de vacíos o anomalías** en el MDE mediante análisis visual e histogramas.
- **Revisión topológica** en capas vectoriales para eliminar errores como polígonos abiertos, líneas no conectadas o duplicadas.
- **Comprobación de coherencia espacial** entre capas (alineamiento de límites, red hidrográfica y MDE).

3.2.3. Procesamiento de los datos

Con el fin de evitar errores de superposición, todos los insumos se Re proyectaron al mismo sistema de referencia espacial: EPSG:9377 - MAGNA-SIRGAS 2018 / Origen-Nacional el cual es el sistema oficial en Colombia para trabajos cartográficos y de análisis geoespacial.

Durante este proceso, también se:

- Ajustaron las unidades de medida a metros y metros cuadrados.
- Estandarizaron los nombres de archivos y capas para integrarlos fácilmente en Model Builder.

- Generó un geodatabase (.gdb) y una carpeta de proyecto donde se centralizaron todos los insumos procesados.

3.2.4. Índices morfométricos relacionados con la forma de la cuenca

Los factores geológicos, son los encargados principalmente de moldear la fisiografía de una región y particularmente la forma que tienen las cuencas hidrográficas. (Londoño, 2001)

La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. Para una misma superficie, con características físicas y bióticas similares y para un mismo aguacero, el hidrograma en la salida de la cuenca amplia y bien ramificada, o sea semejante a un circulo, será muy diferente a la de una cuenca estrecha y alargada, presentando la cuenca circular un riesgo de avenida e inundación en el cauce principal, debido a que todos los puntos de la cuenca son equidistantes des canal principal. Esta situación implica que las gotas de agua caídas, en todos los puntos de la cuenca, tendrán oportunidad de alcanzar el cauce principal al mismo tiempo. (ibíd.) https://acortar.link/MuUhmL

- **Factor de Forma**

Este factor es uno de los más utilizados para medir la forma de la cuenca, fue desarrollado por Horton y es expresado mediante la siguiente ecuación: $Kf=AL2$

Dónde:

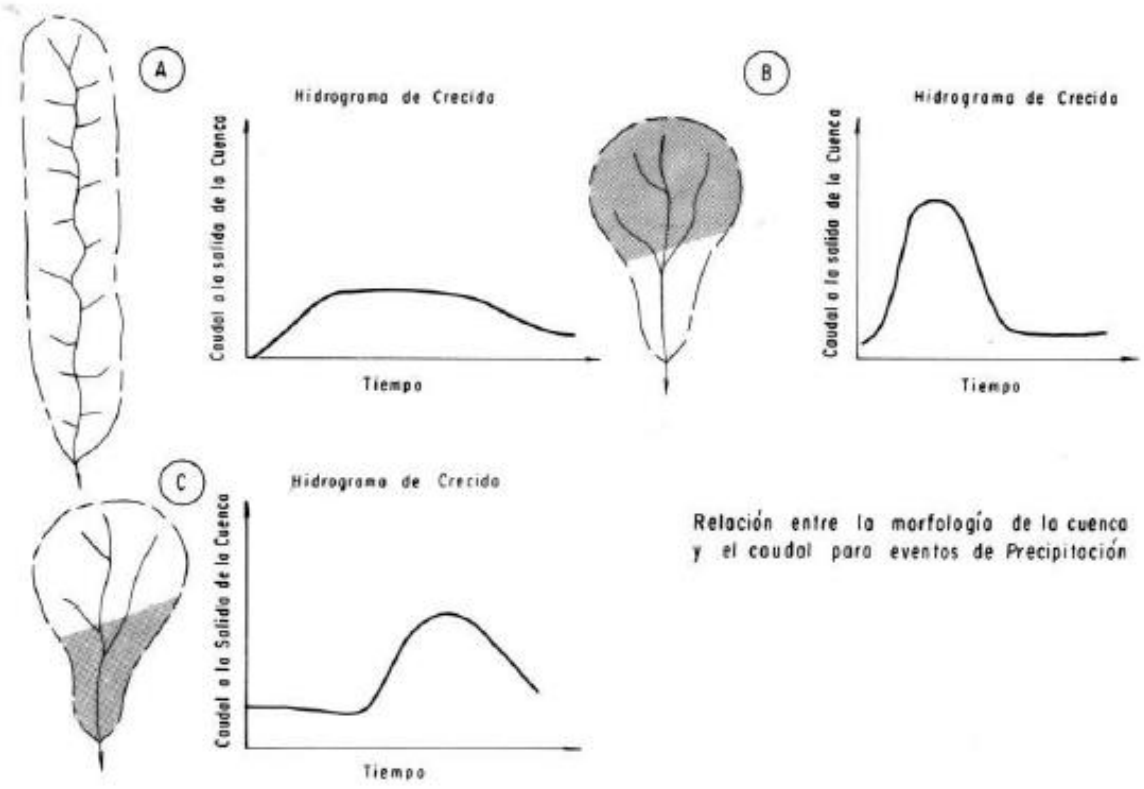
A= Área de la cuenca (km2)

L= Longitud axial de la corriente (km)

Una cuenca con un factor de forma bajo esta menos sujeta a eventos torrenciales que una cuenca con el mismo tamaño, pero con un factor de forma mayor. El máximo valor de este parámetro corresponde a 0,7854, para una cuenca completamente redonda y su valor se va a acercando a cero a medida que la cuenca se torna alargada. (Londoño, 2001)

En la figura 10, se muestra la relación entre la morfología de algunas cuencas y sus respectivos caudales pico. Para más información sobre algunas formas de las cuencas y sus respectivas respuestas hidrológicas, se recomienda consultar a Smith y Stopp (1978).

Figura 10.
Relación entre la forma de algunas cuencas y el caudal pico para eventos máximos de precipitación



Nota. La figura ilustra la relación entre la morfología de diferentes cuencas hidrográficas y la respuesta del caudal pico ante eventos máximos de precipitación, mostrando cómo la forma de la cuenca influye en la concentración y el tiempo de respuesta del escurrimiento. Adaptado de Bell (1999) https://acortar.link/MuUhmL.

Los valores interpretativos del factor de forma de Horton, pueden verse en la Tabla 2

Tabla 2

Valores interpretativos del factor forma

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 - 0,30	Alargada
0,30 - 0,37	Ligeramente alargada
0,37 - 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 - 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 - 0,80	Ensanchada
0,80 -1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Nota. La tabla presenta los valores interpretativos del factor de forma de Horton y su relación con la morfología de la cuenca hidrográfica, los cuales permiten identificar el grado de alargamiento o ensanchamiento y su influencia en la respuesta hidrológica. Fuente: Robert E. Horton. https://acortar.link/MuUhmL

Índices relacionados con la red de drenaje de la cuenca

Una de las particularidades fisiográficas más importantes es la relacionada con la red de drenaje y tipo o patrón que forma, la cual esta integralmente relacionada con los tipos de suelos, cobertura vegetal y la pendiente. https://acortar.link/MuUhmL

- **Patrones de drenaje**

El patrón de drenaje de una cuenca puede referirse como el arreglo que presentan las vías de drenaje, permanentes y transitorias, que confluyen a evacuar las aguas superficiales de la cuenca. El patrón de drenaje es un elemento compuesto, para cuyo análisis es fundamentan tener en cuenta el relieve, la distribución de la vegetación y las condiciones estructurales de la zona. (Londoño, 2001) https://acortar.link/MuUhmL

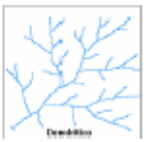
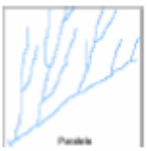
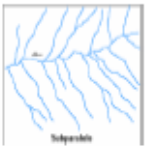
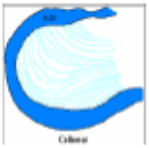
Estos patrones dependen de varios factores, los cuales se enuncian a continuación:

- Pendiente de las laderas y del área de drenaje
- Cobertura vegetal
- Resistencia de la litología
- Caudal
- Permeabilidad del suelo
- Nivel e intensidad de lluvias
- Actividad estructural

Los patrones de drenaje han sido agrupados en cuatro categorías por Way (1977), citado por el Ministerio de Medio Ambiente de España (1998), por Botero, P.J. (1978 y Londoño (2001), teniendo en cuenta el carácter de los procesos genéticos predominantes en ellos. Las categorías son erosiónales, deposicionales, especiales e individuales. https://acortar.link/MuUhmL

Figura 11.

Patrones de drenaje de tipo Erosional

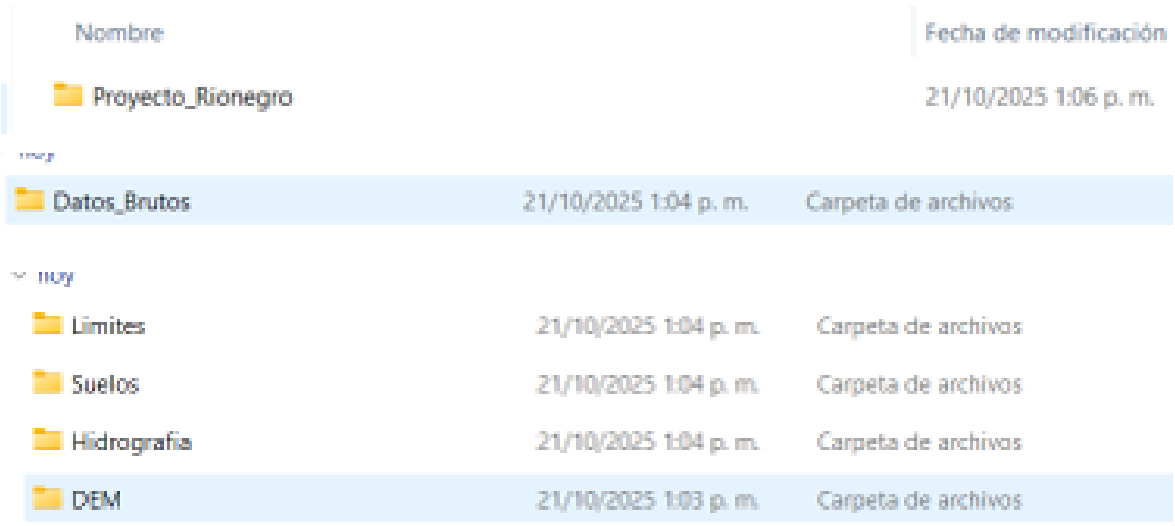
CAT	TIPO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRAFICA
PATRONES DE DRENAJE EROSIONALES	DENDRITICO	Es el patrón más frecuente y se caracteriza por mostrar una ramificación arborecense en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control, Se presenta con frecuencia en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial.	
	PINADO	Corresponde a un drenaje dendrítico modificado que presenta una gran cantidad de tributarios cortos y poco espaciados, e indica un elevado contenido de limo en el suelo. Es típico de zonas planas o casi planas, con materiales muy homogéneos, friables y finos, eólicos o aluviales, como: loess (roca sedimentaria incoherente, de partículas muy finas), ceniza volcánica, till. Tampoco presenta controles.	
	PARALELO	Este patrón presenta los tributarios paralelos o casi paralelos entre sí. Tiene la característica que se puede presentar por influencia de control topográfico o estructural, siendo más común el topográfico, ya que es muy frecuente encontrarlo en zonas con fuertes pendientes. Puede presentarse también en planicies inclinadas, flujos de lava, restos de abanicos y valles inclinados y además, en planos costeros jóvenes y coladas de basalto. Este patrón se desarrolla en zonas de materiales homogéneos. Puede presentar dos variantes:	
		una conocida como patrón **subparalelo**, desarrollado en zonas de alto relieve con pendientes escarpadas y en algunos depósitos glaciares debido a su distribución;	
		Y la otra conocida como patrón **colinear**, que, aunque es escaso, puede presentarse en zonas de dunas longitudinales, complejos de orillares y se caracteriza por tener corrientes paralelas simples, sin tributarios, que en algunos tramos son subsuperficiales.	
	RECTANGULAR	Es otra variable del drenaje dendrítico; los tributarios suelen juntarse con las corrientes principales en ángulos casi rectos. Presenta un control estructural originado por diaclasas, foliaciones y/o fracturas de rocas. Cuanto más claro es el patrón rectangular, más fina será la cubierta del suelo, Suele desarrollarse sobre pizarras metamórficas, esquistos y gneis (roca metamórfica compuesta por cuarzo, feldespato y mica); areniscas resistentes, si el clima es árido, o en areniscas de poco suelo, en climas húmedos.	
		Cuando las condiciones estructurales de la roca no se presentan formando ángulos rectos sino agudos, se para a tener un patrón angular, en el cual son frecuentes las curvas angulares agudas en las corrientes principales.	

Nota. La tabla presenta los principales patrones de drenaje de tipo erosional, describiendo sus características morfológicas, condiciones geológicas y contextos topográficos asociados, así como su representación gráfica. Estos patrones permiten interpretar el control estructural y litológico del terreno sobre la red de drenaje. Adaptado de Londoño (2001). https://acortar.link/MuUhmL

3.2.5. Organización de la base de datos geoespacial

Se consolidó una base de datos geoespacial estructurada, con capas clasificadas por tipo (ráster o vector) y temática (hidrografía, relieve, cobertura, límites). Esta organización facilita la automatización posterior, ya que permite que los modelos en Model Builder ejecuten los procesos de análisis sin necesidad de intervención manual.

Figura 12.
Organización de la base de datos



Fuente: Autores

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de terreno

4.1.1. Análisis e interpretación de pendientes

El presente mapa representa la distribución de pendientes en el municipio de Rionegro, Santander, elaborado bajo el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS 2018 / Origen Nacional (EPSG:9377). Este insumo cartográfico fue diseñado con base en el modelo de elevación del terreno (Google Terrain), lo que permite observar con detalle la variación topográfica del área de estudio.

En primer lugar, se puede evidenciar que el municipio presenta una diversidad en los rangos de pendiente, los cuales se clasifican en siete categorías: plano o casi plano, suavemente inclinado, moderadamente inclinado, inclinado, fuertemente inclinado, escarpado y muy escarpado. Esta clasificación permite comprender las condiciones morfológicas del territorio, y, por consiguiente, facilita la toma de decisiones en proyectos de ordenamiento territorial, infraestructura o conservación ambiental.

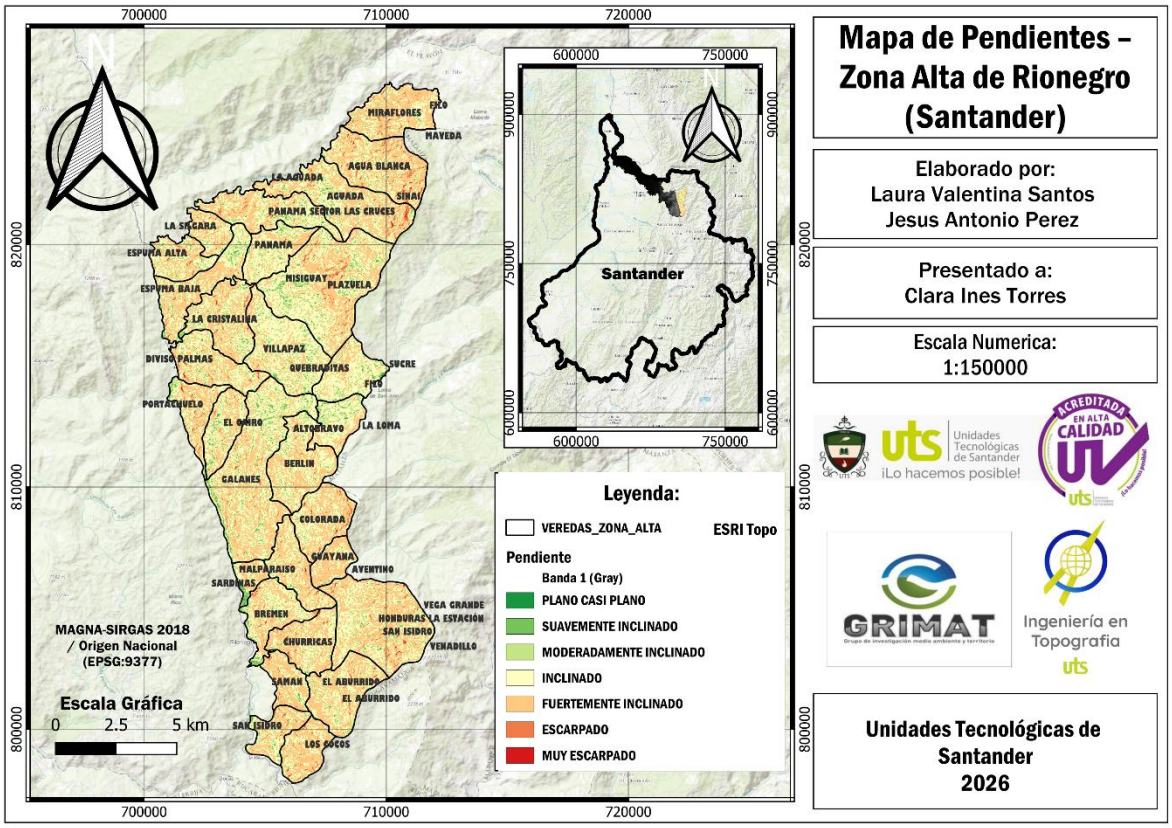
Además, el mapa incorpora una leyenda detallada que asocia cada rango de pendiente con un color específico, posibilitando una lectura rápida y precisa del relieve. En las zonas de tonalidades verdes predominan las pendientes suaves, mientras que los tonos marrones y rojos indican áreas con mayores grados de inclinación y, por tanto, con mayores restricciones para el uso antrópico.

Se realiza un análisis e interpretación de la cuenca del rio Lebrija desde la zona alta y media de Rionegro, la pendiente se interpreta desde la dinámica hidrológica.

Pendientes altas (rojo): Indican zonas generadoras de escorrentía que indican nacimientos de drenaje e incisión (divisiones), zona fluvial activa (vaguadas). significa que las pendientes altas son áreas del sistema hidrológico, es donde los procesos se inician.

Las veredas que son más susceptibles a procesos erosivos asociados a pendientes altas en la zona alta (determinada en este proyecto para el municipio de Rionegro) son: principalmente hacia el norte y sureste como, Samán, El Aburrido, Los Cocos, Galanes, Portachuelo, La Cristalina, Espuma Baja, Miraflores, Agua Blanca, La Silgara, Espuma Alta entre otros.

Figura 13.
Mapa Pendiente Zona Alta

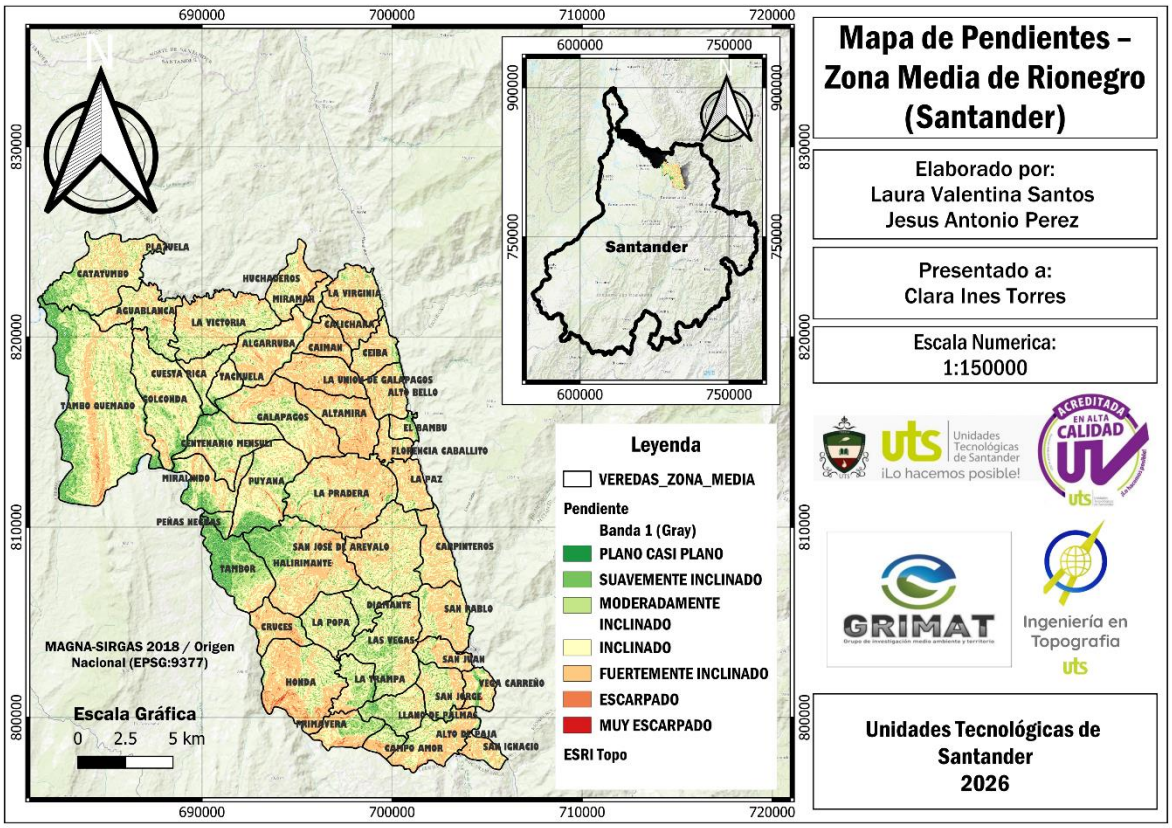


Fuente: Autores

En la zona media (determinada en este proyecto para el municipio de Rionegro),identificada con colores naranjas y amatillo corresponden a laderas de conducción hídricas, ellas son conexión entre divisorias y causes, es donde se genera el transporte y la conducción de agua que escurre y de sedimentos que son

transportador pendiente abajo principalmente por acción de la gravedad en estas áreas se pueden presentar procesos de remoción en masa(deslizamientos), y avenidas torrenciales provocadas principalmente en épocas de fuertes lluvias para el caso corresponden a zonas en las veredas de: Galápagos, La Pradera, San Pablo, San Juan, Puyana, Altamira entre otros.

Figura 14.
Mapa Pendiente Zona Media



Fuente: Autores

En la zona de pendientes bajas, en el mapa de pendiente se observa de color verde corresponde a zonas de acumulación que se ubican en fondos de valles y planicies aluviales (geoformas), en donde se presentan los procesos de

sedimentación (acumulación de sedimentos) y pueden ser escenarios de eventos de inundación.

La distribución espacial de las pendientes evidencia un sistema hidrográfico controlado por laderas de alta inclinación (rojo o naranja) que favorecen la generación rápida de escorrentía superficial, mientras que la zona de baja pendiente(verdes) corresponden a áreas de acumulación asociadas al valle del rio Lebrija.

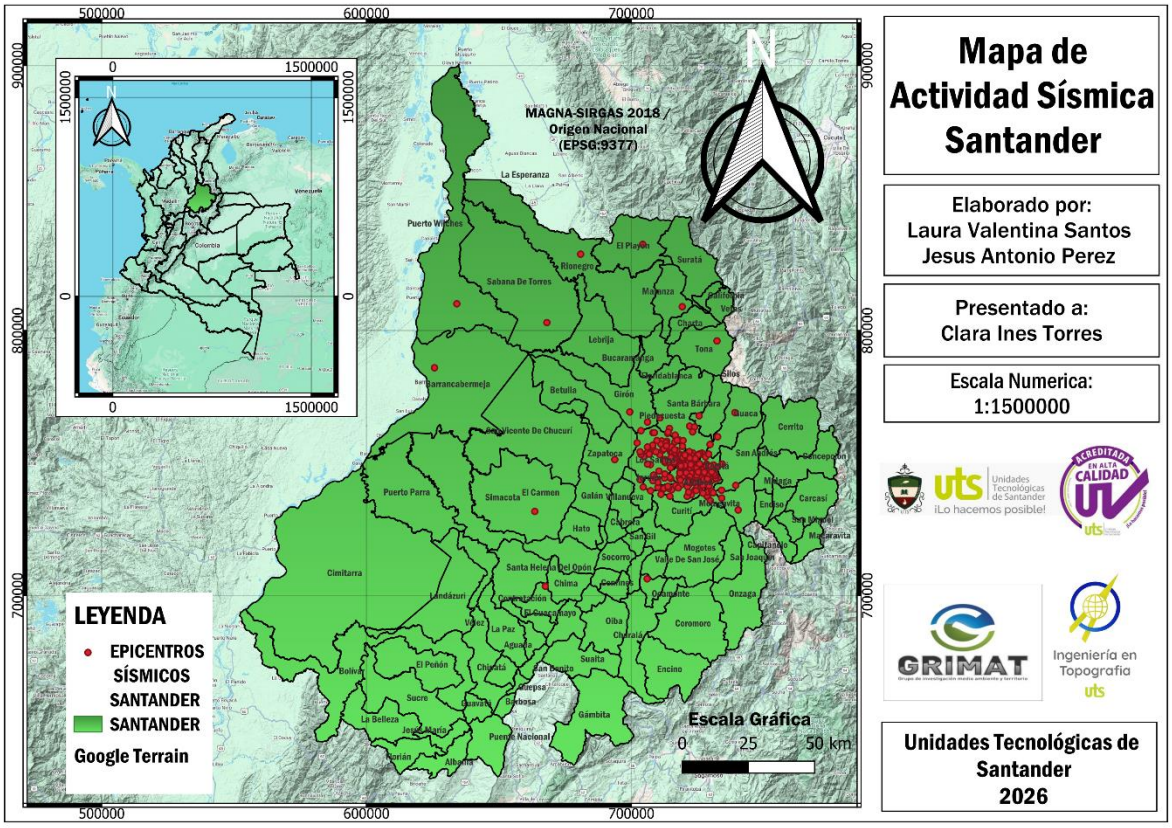
Las zonas de alta pendiente presentan en general una curvatura convexa del terreno lo que indica erosión intensa mientras que la zona de baja de pendiente está asociadas a curvaturas cóncava del terreno presentando acumulación y humedad en el suelo.

4.2. Procesos morfodinámicos

4.2.1. Procesos activos

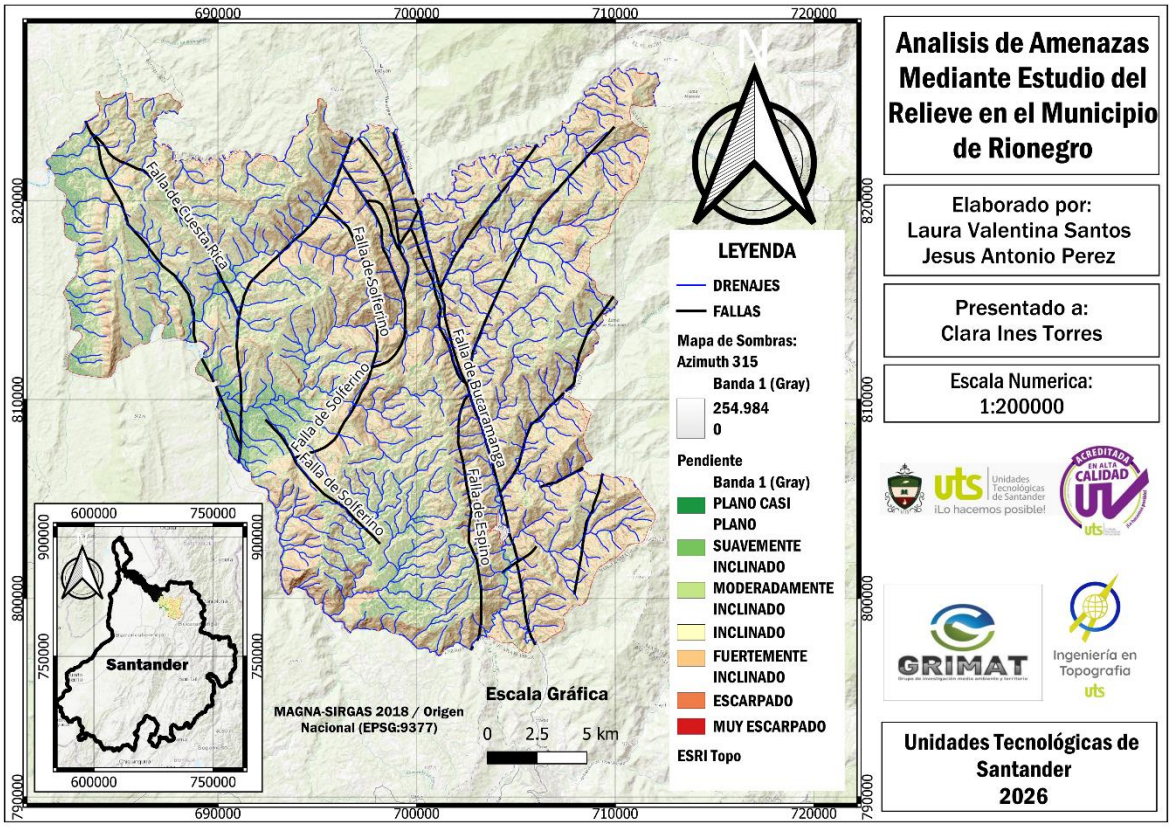
Mediante el análisis del mapa de pendientes se observan principalmente procesos activos. Los procesos activos corresponden a la zona que presentan laderas con pendientes altas y abruptas (mayor a 30 grados de pendiente), con presencia de procesos de remoción en masa (deslizamientos, flujos) activados principalmente por precipitaciones intensas e incluso la sismicidad que se presenta en la zona andina y en el nido sísmico de Bucaramanga.

Figura 15.
Mapa Sismicidad



Fuente: Autores

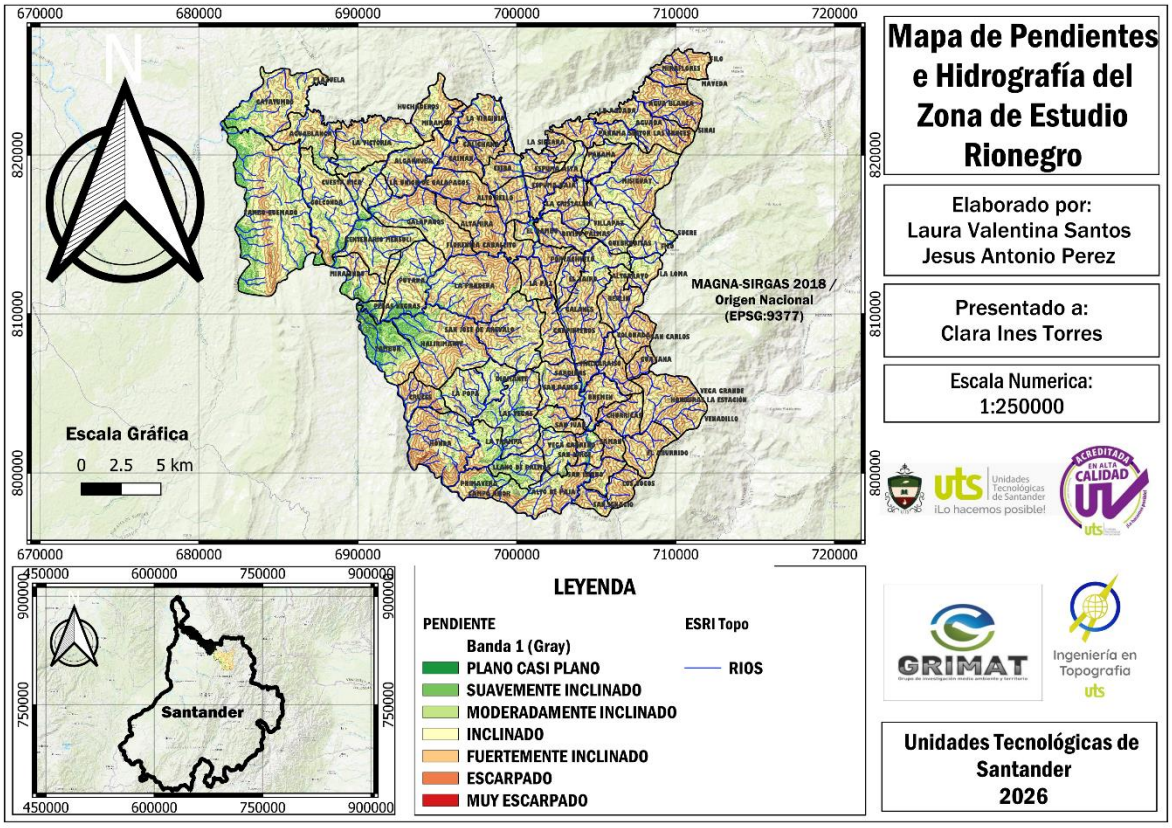
Figura 16.
Análisis de Amenazas Mediante Estudio Del Relieve



Fuente: Autores

De acuerdo con la interpretación del mapa de pendientes, el relieve en la zona de estudio esta disectado por drenajes cortos y profundos lo que evidencia un alto índice de erosión fluvial y control estructural de los cursos de agua.

Figura 17.
Mapa De Pendientes Con Los Ríos Y Curvas De Nivel

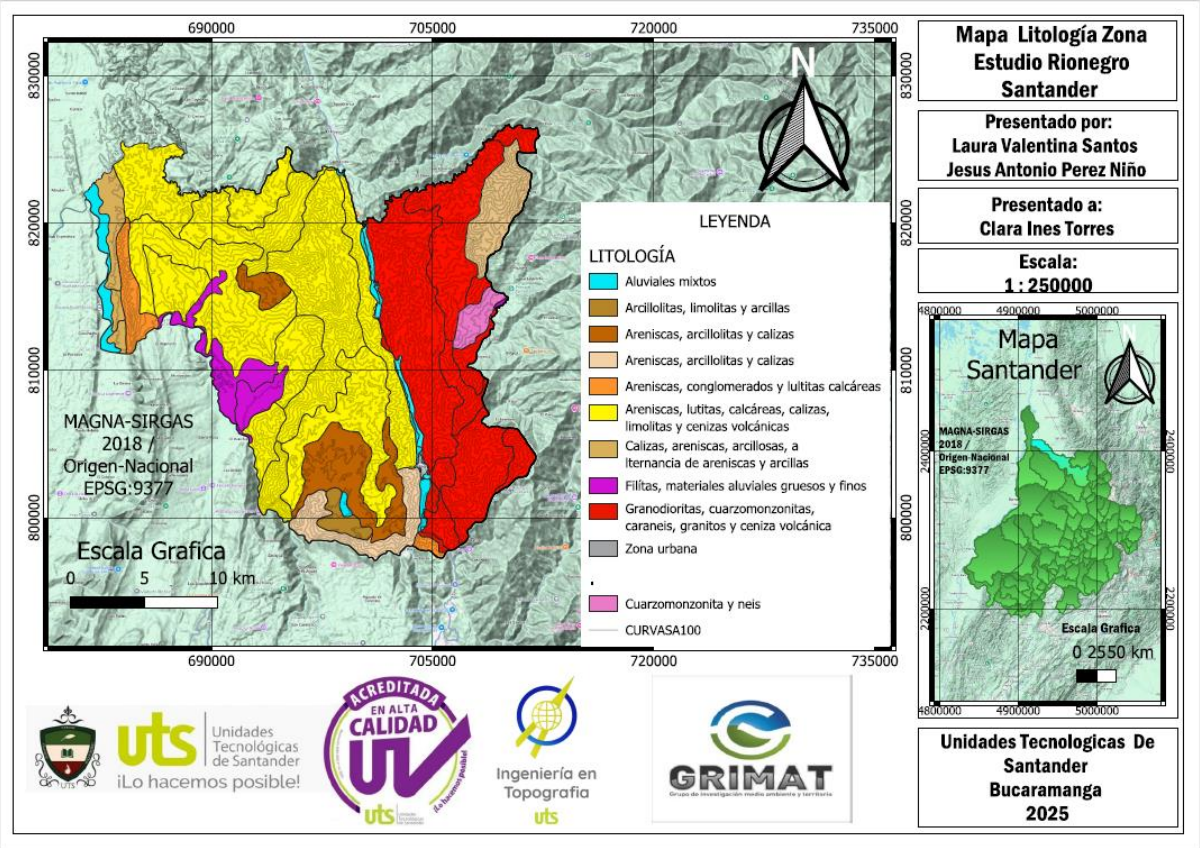


Fuente: Autores

4.2.2. Movimientos en masa

De acuerdo con estudios existentes de campo en el área colindante entre Rionegro y el playón se afirma que los suelos derivados de rocas altamente meteorizadas (sales, areniscas y limolitas), presentes en el área de estudio son propensos a movimientos de masa por las fuertes pendientes (mayor a 45 grados) y precipitaciones constantes lo que se traduce en un riesgo geodinámico importante que se debe de tener en cuenta para infraestructura y asentamientos, es decir para la planificación de este territorio.

Figura 18.
Mapa de Litología Rionegro, Santander



Fuente: Autores

4.2.3. Orientación o aspecto en Q-gis

El mapa de orientación o de aspecto muestra la dirección hacia la cual mira la pendiente. Indica hacia dónde fluye el agua superficial, controla dirección preferencial del flujo de agua.

Los drenajes siguen:

Orientaciones dominantes del relieve

Direcciones estructurales del terreno

Tener en cuenta que, en Santander, por ser una zona activa tectónicamente, los drenajes están en su mayoría alineados con estructuras geológicas.

Se debe tener en cuenta:

0˚= Norte 90 ˚=Este 180 ˚= Sur 270 ˚= Oeste

En el software GIS como Q-Gis, se clasifica de 0 a 8, siendo:

0= Este

1= Sureste

2= Sur

3= Suroeste

4= Oeste

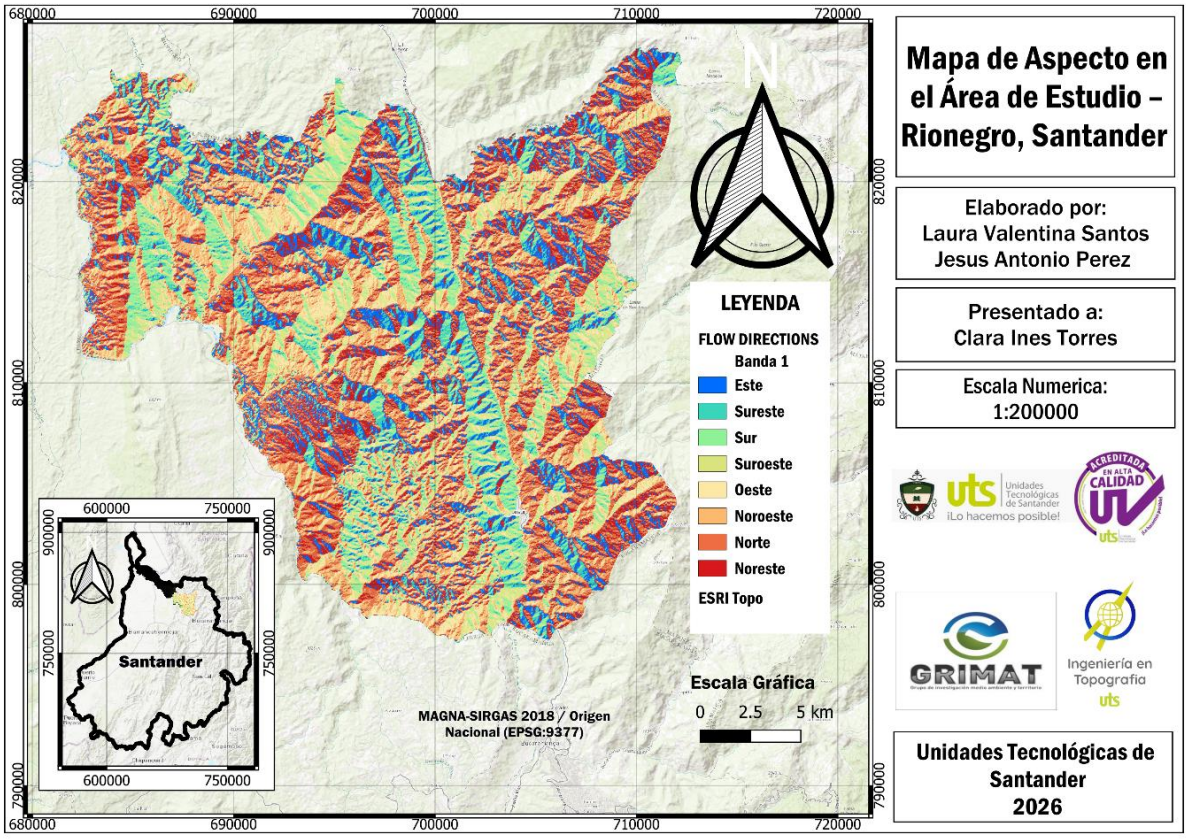
5= Noroeste

6= Norte

7= Noreste

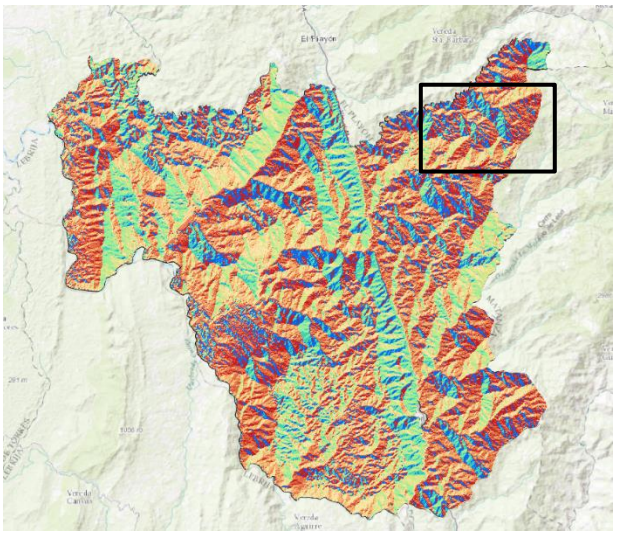
En términos geomorfológicos, el aspecto de las laderas constituye una variable fundamental en la comprensión del comportamiento del relieve, ya que influye directamente en la distribución de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre. Esta condición controla procesos como la humedad del suelo, la evapotranspiración y el desarrollo de la cobertura vegetal, generando contrastes ambientales significativos dentro de un mismo territorio. Puede verse, por ejemplo, que en el departamento de Santander las laderas con orientación sur tienden a presentar condiciones más secas, mientras que aquellas orientadas hacia el norte conservan mayores niveles de humedad, lo que repercute en diferencias en el uso del suelo y en la dinámica geomorfológica local.

Figura 19.
Mapa De Aspecto



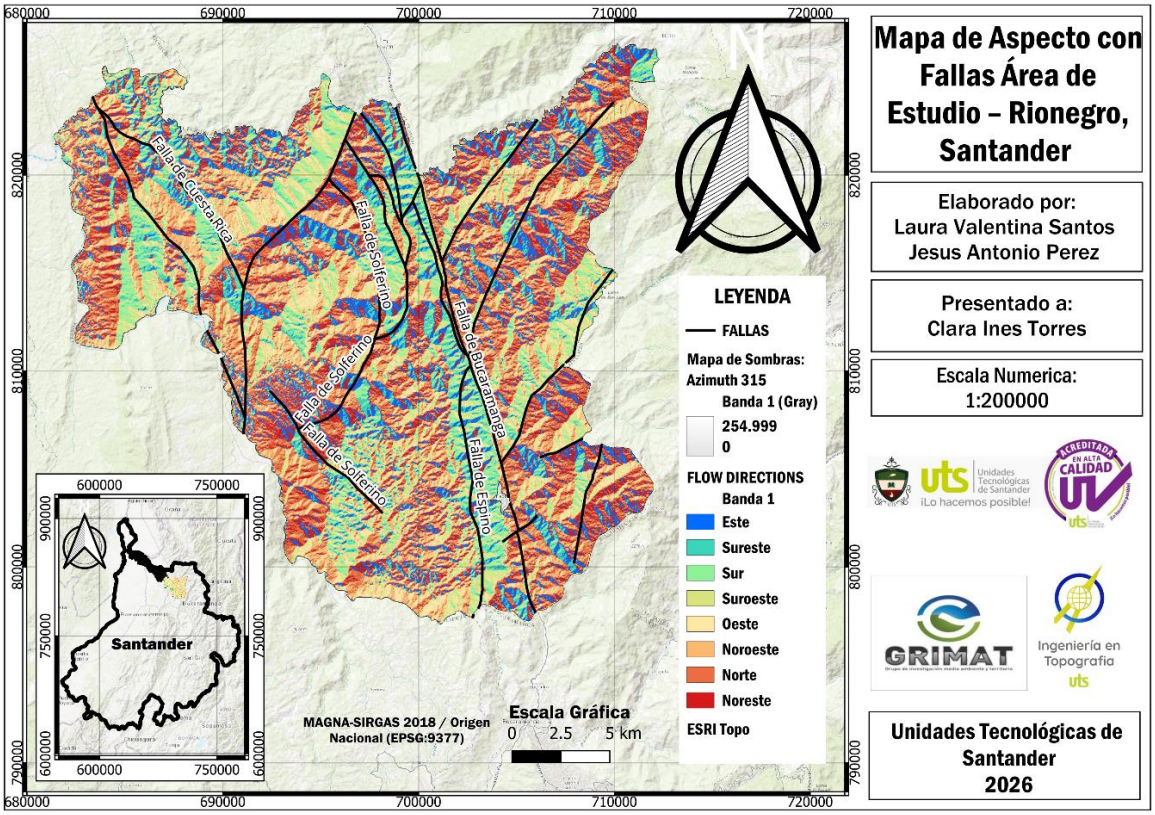
Fuente: Autores

Capas azules paralelas y en dirección contraria a las capas rojas. Las primeras están en dirección Este y Sur y las rojas Oeste y Norte. Hay incisión o corte lo que puede indicar drenajes cortos que van dejando sus aguas en otros que cambian de dirección. Si hay estos cambios de dirección es por la presencia de geomorfología estructural: fallas y pliegues.

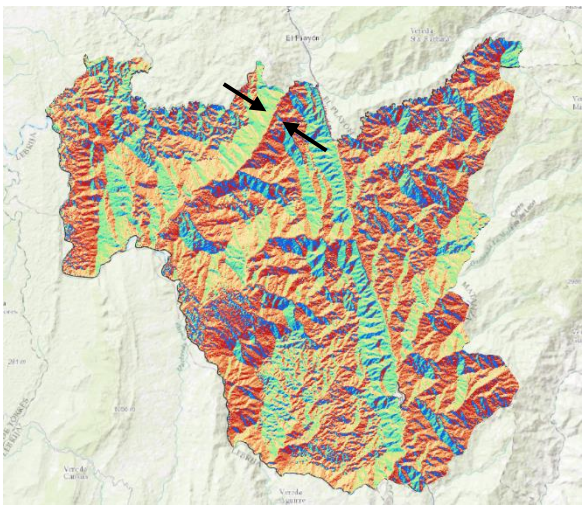


Se observan bandas alargadas con orientación preferencial: en el mapa se ven franjas casi paralelas que alternan colores (con orientaciones opuestas), franjas azules y franjas rojas hacia la parte noreste, este y sureste.

Figura 20.
Mapa De Aspecto Con Fallas



Fuente: Autores



Se observan unos ejes longitudinales bien definidos, estructuras lineales que atraviesan verticalmente el mapa, casi que, de norte a sur, como el que se muestra en las fallas.

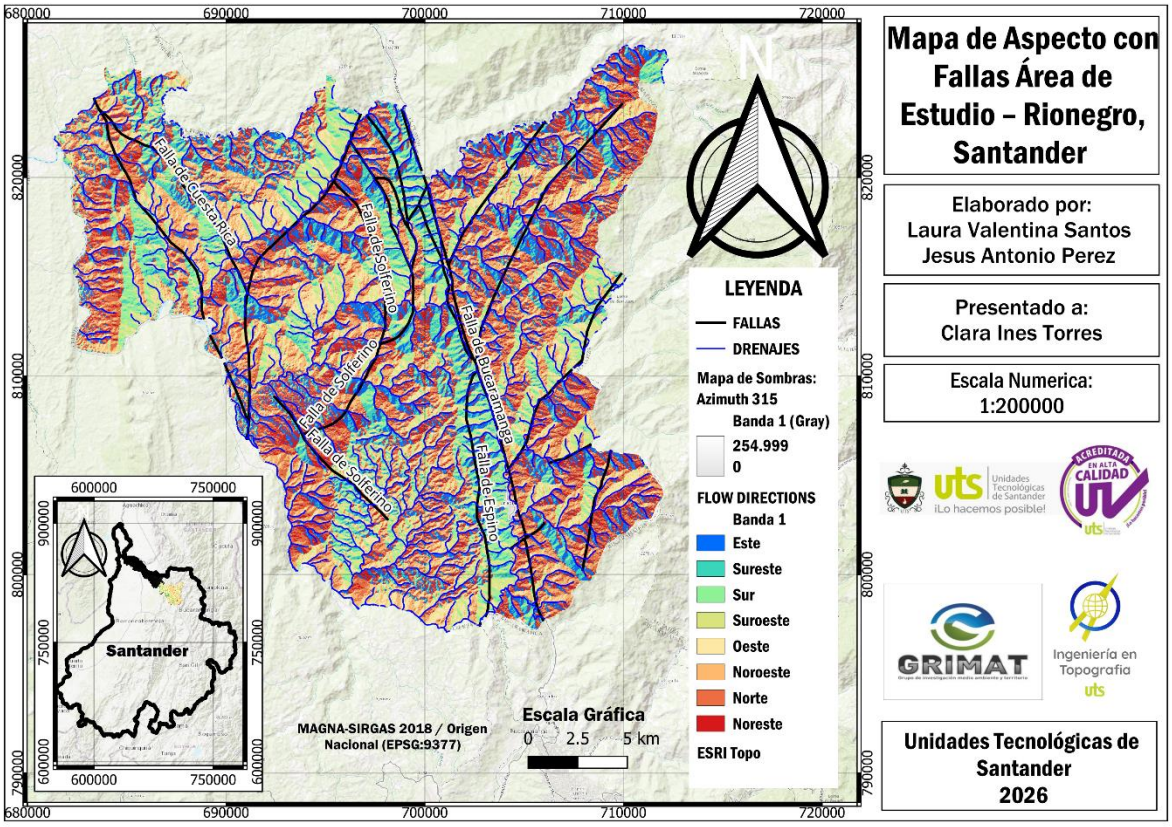
Se observa alternancia simétrica de laderas, donde se ven orientaciones opuestas bien definidas en el mapa con el cambio de color.

Lo anterior sugiere de nuevo una geomorfología estructural, modelado estructural del paisaje, por acción de fallas y pliegues como sugiere el mapa de fallas y la geología de la zona.

En la parte inferior derecha del mapa (zona sur y sureste del municipio) se observan un relieve muy marcado, cortado, con crestas, laderas largas y continuas, quizás esto por el tipo de litología que existe, hay mayor resistencia a la meteorización de la roca predominan unidades sedimentarias como areniscas, arcillolitas, limolitas y calizas, algunas de ellas asociadas a conglomerados y lutitas calcáreas, lo que sugiere ambientes de deposición variados. También se identifican materiales metamórficos como filitas y cuarzo monzonita con gneis, así como unidades ígneas representadas por granodioritas, cuarzo monzonitas y cuerpos volcánicos. La presencia de aluviales mixtos en sectores específicos indica procesos más recientes de acumulación asociados a la dinámica fluvial.

En la zona media (Centro y Este del municipio) hay un ligero cambio, se observa este lineamiento marcado anteriormente, hay mayor disección transversal, más fragmentación del relieve, esto puede indicar que hay mayor acción fluvial y transición morfogenética (transporte de material) posiblemente paisaje más convexo que cóncavo y los drenajes pueden estar rompiendo y siguiendo estructuras plegadas y fallas geológicas. Esta fragmentación indica alta energía geomorfológica, procesos erosivos fuertes, lo que corresponde a un relieve juvenil a intermedio.

Figura 21.
Mapa De Aspecto Con Fallas Y Ríos



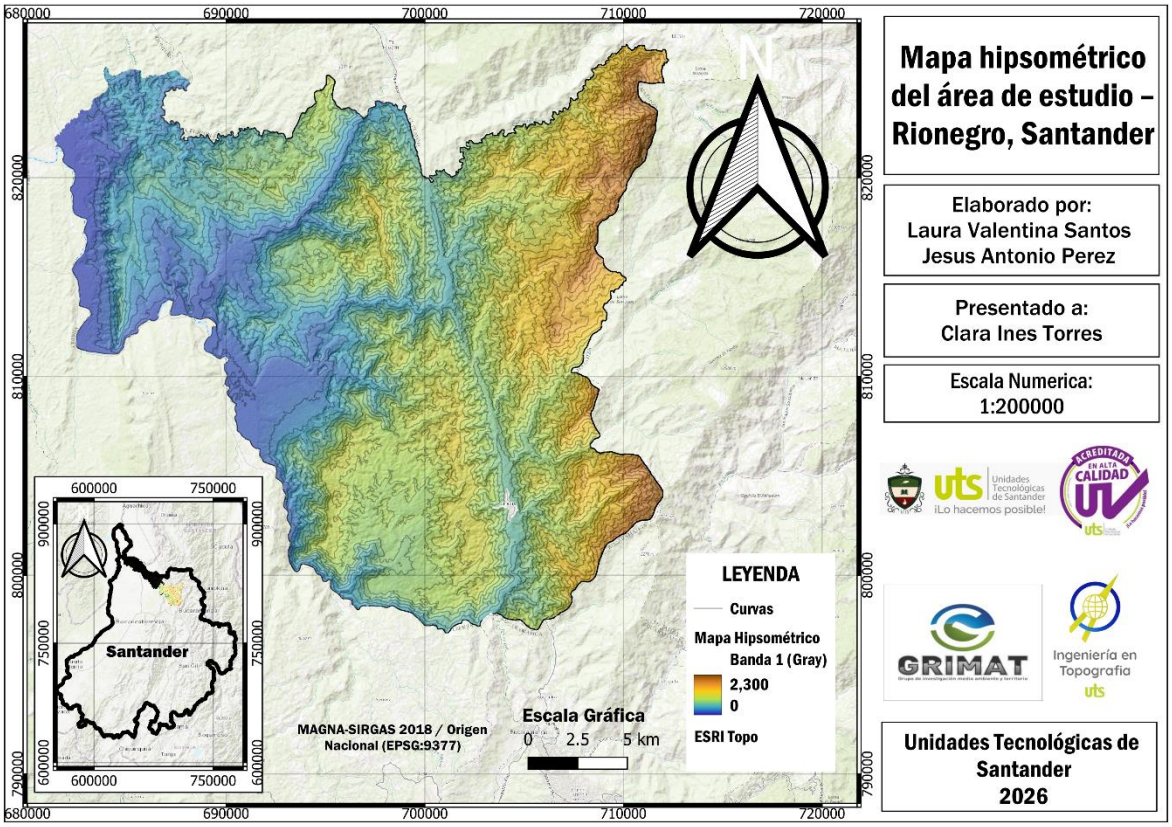
Fuente: Autores

El análisis de orientación de laderas en la zona oriental del municipio evidencia un patrón alineado con dirección preferencial, lo cual sugiere un fuerte control estructural del relieve. Las crestas en dirección opuesta son propias de relieves con presencia de pliegues y fallas geológicas activas. Ya en la parte central de la zona de estudio hay mayor disección del terreno, disección que favorece la escorrentía de fuentes hídricas superficiales.

4.2.4. Mapa hipsométrico

El mapa hipsométrico del área de estudio en el municipio de Rionegro muestra la variación altitudinal del territorio mediante una gradación de colores que va desde tonos azules y verdes, que representan las zonas de menor elevación, hasta tonos amarillos y marrones que indican las áreas de mayor altitud. En el mapa se observa que las altitudes más bajas se concentran principalmente hacia el sector occidental y suroccidental, donde predominan tonalidades azules y verdes, lo que sugiere la presencia de valles y zonas asociadas a drenajes o áreas de menor relieve.

Figura 22.
Mapa Hipsométrico

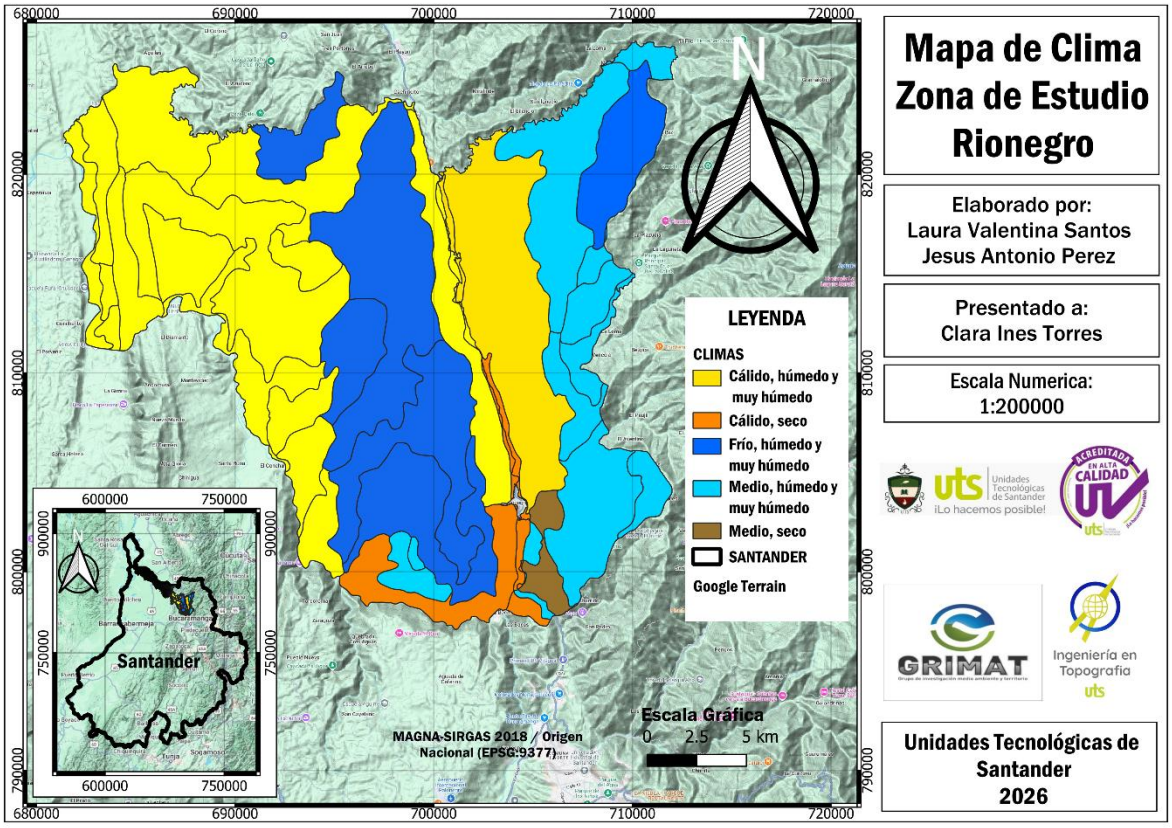


Fuente: Autores

Por otro lado, las mayores elevaciones se localizan hacia el sector oriental y nororiental del área de estudio, evidenciadas por colores amarillos y marrones. Estas zonas corresponden a relieves más montañosos y pendientes más pronunciadas, lo que indica un paisaje de carácter estructural y fuertemente disectado. La transición progresiva de colores entre las zonas bajas y altas refleja un gradiente altitudinal marcado, que sugiere procesos de erosión fluvial y modelado del terreno que han generado una red de drenaje bien definida y una topografía irregular.

El clima influye en la hipsometría al controlar los procesos de erosión, meteorización y escorrentía que modifican el relieve con el tiempo. En zonas húmedas como las presentes en Santander, las precipitaciones favorecen el desarrollo de una red de drenaje más activa que erosiona las áreas elevadas y transporta sedimentos hacia las zonas más bajas. Este proceso contribuye a la formación de valles, laderas y divisorias de aguas, modelando progresivamente la distribución altitudinal del terreno en el municipio de Rionegro.

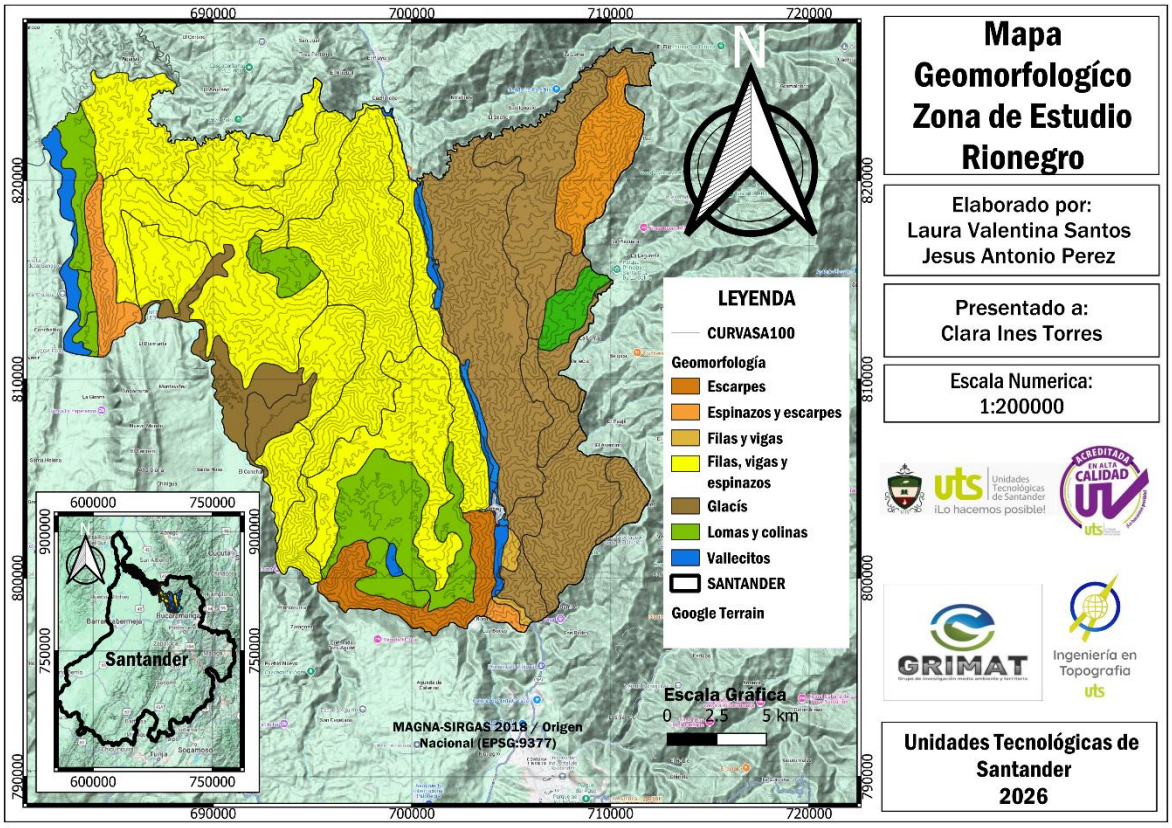
Figura 23.
Mapa De Clima



Fuente: Autores

En términos geomorfológicos, la distribución altitudinal evidencia un territorio donde las zonas montañosas dominan el paisaje, con valles intermedios que actúan como corredores naturales de drenaje. Este patrón hipsométrico influye directamente en factores como la dinámica hídrica, los procesos erosivos, la cobertura vegetal y el uso del suelo, ya que las áreas de mayor pendiente suelen presentar mayor susceptibilidad a procesos de remoción en masa, mientras que las zonas más bajas tienden a concentrar sedimentos y actividad agrícola.

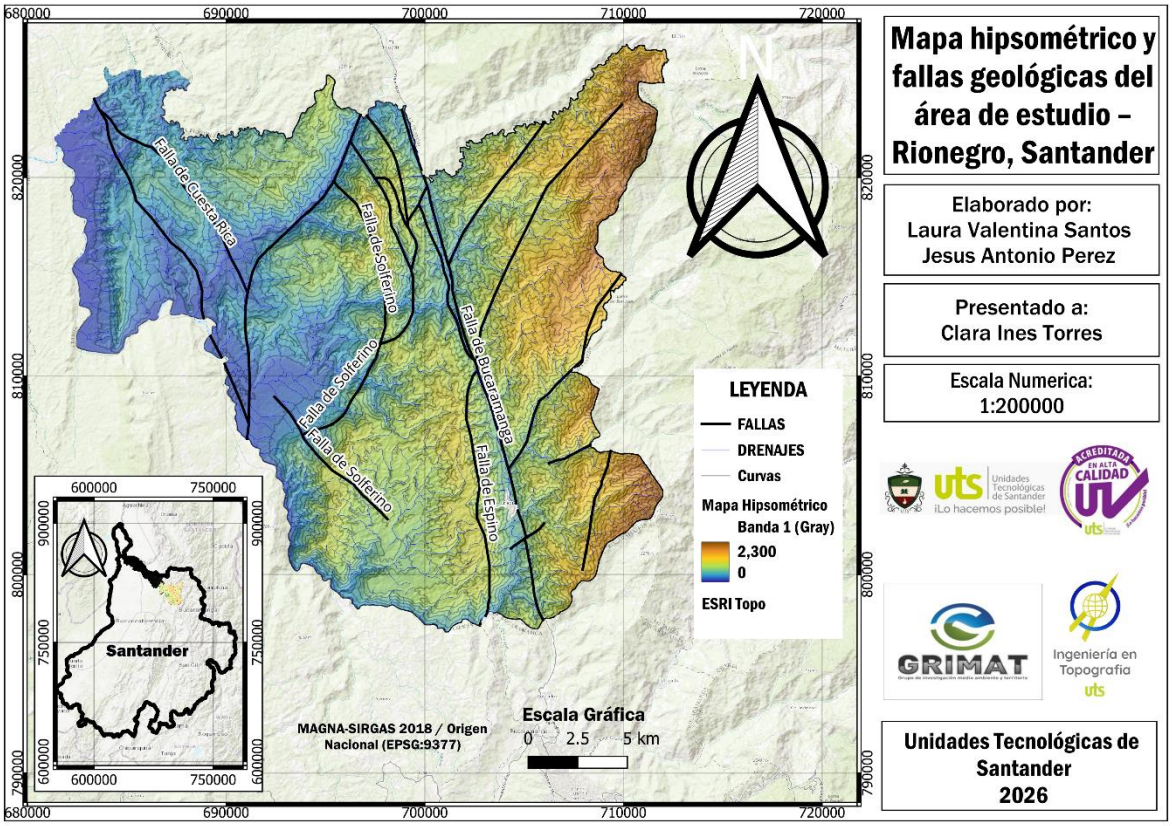
Figura 24.
Mapa Geomorfológico



Fuente: Autores

En conjunto, el mapa permite comprender la estructura general del relieve del área de estudio, destacando un contraste entre sectores de baja altitud asociados a valles y sectores de alta montaña hacia el oriente, lo que refleja la complejidad geomorfológica característica de esta región de Santander.

Figura 25.
Mapa Hipsométrico Y Fallas Geológicas



Fuente: Autores

La presencia de varias fallas geológicas dentro del área de estudio en Rionegro evidencia un importante control estructural en la configuración del relieve. Entre las estructuras más representativas se identifican la Falla de Cuesta Rica, la Falla de Solferino, la Falla de Bucaramanga y la Falla de Espino, las cuales atraviesan el territorio con una orientación predominante norte-sur. Estas estructuras tectónicas generan zonas de debilidad en la corteza que influyen directamente en la morfología del paisaje.

La red de drenaje representada en el mapa muestra una distribución que en varios sectores coincide o se alinea con estas fallas, lo que sugiere que los cursos

de agua han aprovechado fracturas y zonas estructuralmente debilitadas para establecer sus trayectorias. Este control estructural del drenaje se manifiesta en alineamientos de quebradas, cambios abruptos en la dirección de los cauces y valles alargados que siguen la traza de las fallas.

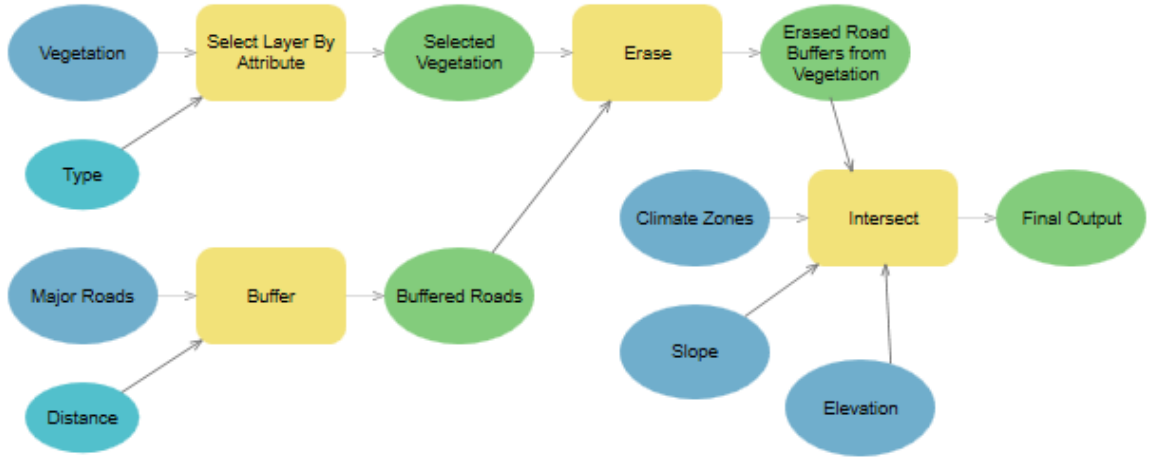
En algunos sectores del área de estudio también se observan convergencias de drenajes cerca de zonas falladas, lo cual puede favorecer procesos de erosión más intensa y el desarrollo de valles estructurales. De esta manera, la interacción entre fallamiento y drenaje ha contribuido a modelar el relieve actual, condicionando tanto la organización hidrográfica como la evolución geomorfológica del territorio.

Procesos de ModelBuilder

ModelBuilder es una herramienta de programación visual que permite crear y organizar flujos de trabajo para el geoprocesamiento. A través de esta herramienta se pueden automatizar y documentar diferentes procesos de análisis espacial y manejo de datos. En este entorno, los modelos se representan mediante diagramas que conectan herramientas y datos en una secuencia lógica, donde el resultado de un proceso se utiliza como entrada para el siguiente.

Dentro de ArcGIS Pro, ModelBuilder facilita la construcción de modelos al integrar y relacionar diferentes herramientas y conjuntos de datos. Además, permite procesar de forma iterativa entidades vectoriales, ráster, archivos o tablas dentro de un espacio de trabajo. Una de sus principales ventajas es que el flujo de trabajo puede visualizarse como un diagrama claro y fácil de interpretar, lo que ayuda a comprender cada una de las etapas del análisis. Asimismo, los modelos pueden ejecutarse paso a paso, hasta un proceso específico o de forma completa, y posteriormente convertirse en herramientas de geoprocesamiento que pueden compartirse o utilizarse en scripts de Python y en otros modelos. https://surl.li/qzwlvy

Figura 26.
Ejemplo del diagrama ModelBuilder

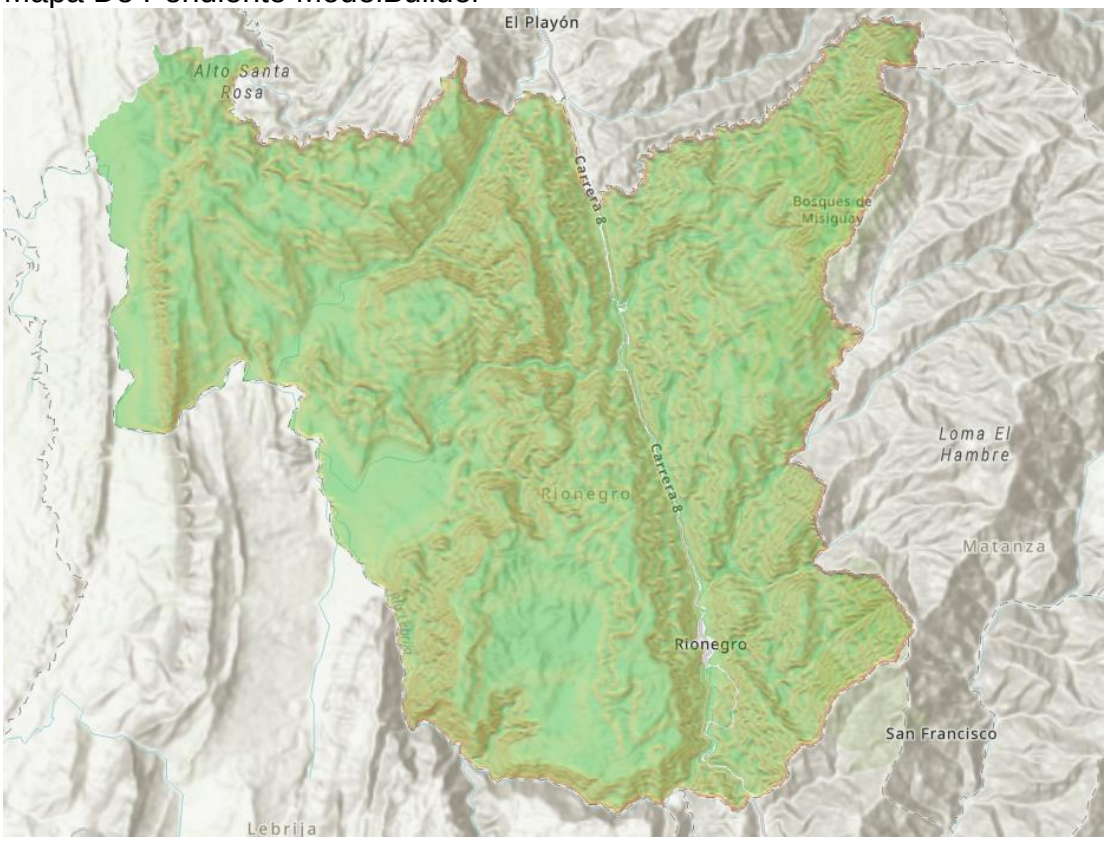


Fuente: Ejemplo del diagrama que conecta las herramientas para generar el modelo https://surl.li/qzwlvy

4.2.5. Elaboración de mapa de pendiente a través de la herramienta ModelBuilder

Teniendo en cuenta lo anterior, el mapa de pendientes presentado fue generado mediante un modelo construido en ModelBuilder, el cual permitió automatizar el procesamiento del modelo digital de elevación para calcular la inclinación del terreno en el área de estudio ubicada en Rionegro. A partir de este procedimiento se identifican diferentes rangos de pendiente que reflejan la variabilidad del relieve: las zonas con pendientes bajas corresponden a áreas relativamente planas o valles, mientras que las pendientes medias y altas se concentran en sectores montañosos y laderas más inclinadas. Este patrón evidencia un relieve irregular, donde la topografía influye en procesos como la escorrentía, la erosión del suelo y la dinámica geomorfológica del territorio.

Figura 27.
Mapa De Pendiente ModelBuilder



Fuente: Autores

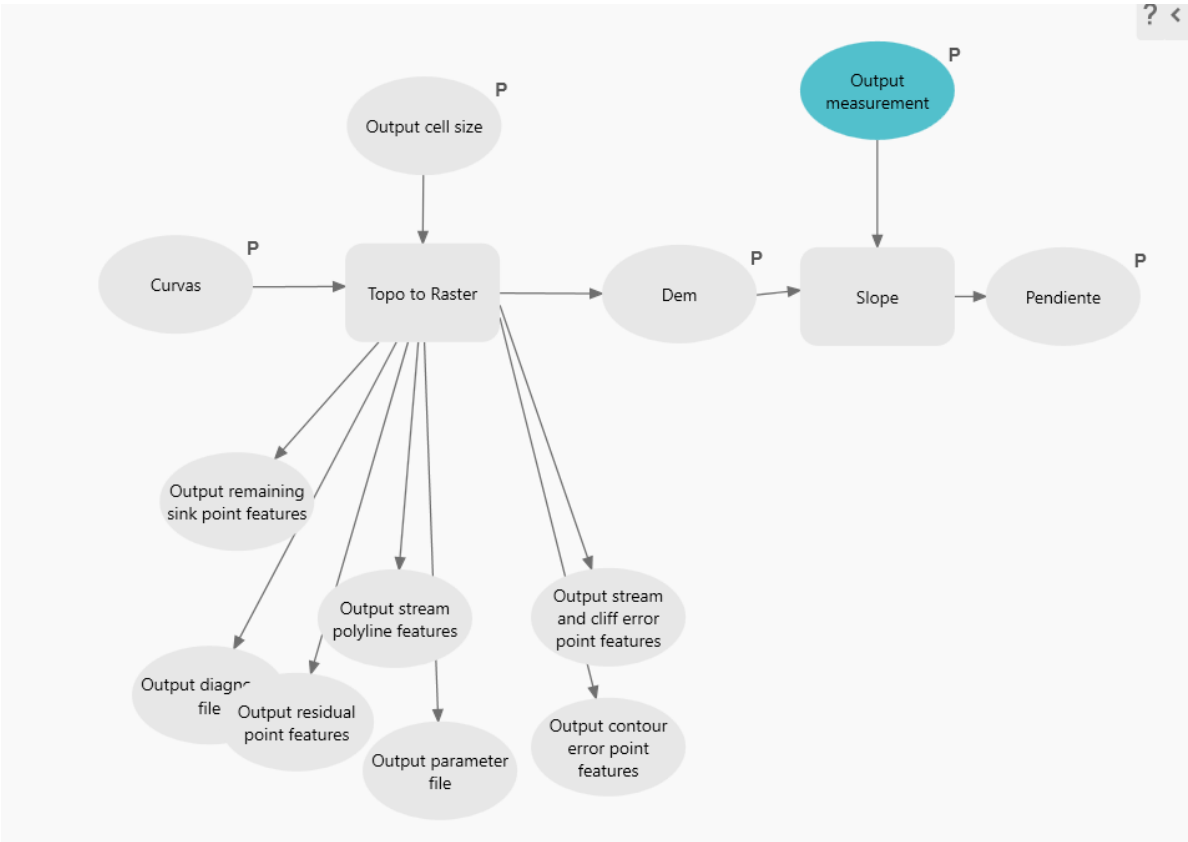
Al observar el mapa de pendientes del área de estudio en Rionegro, se aprecia un relieve predominantemente irregular, con variaciones claras en la inclinación del terreno. En general, las pendientes bajas se concentran en los sectores más planos y en los valles, especialmente alrededor de los cauces principales, donde el terreno permite una mayor acumulación de sedimentos y un desarrollo más amplio de la red de drenaje.

A medida que se avanza hacia las zonas de ladera, el mapa muestra pendientes medias, que corresponden a áreas de transición entre los valles y las partes más elevadas del relieve. Estas zonas suelen presentar mayor escorrentía superficial y un relieve más ondulado. Por otro lado, las pendientes más altas se localizan en los

sectores montañosos y en los bordes del área de estudio, donde el terreno es más abrupto y las laderas son más pronunciadas.

En conjunto, el mapa evidencia que el territorio presenta una topografía variada, donde las diferencias de pendiente influyen directamente en procesos como la erosión, la escorrentía del agua y la estabilidad del suelo, aspectos fundamentales para el análisis geomorfológico y la planificación del uso del suelo.

Figura 28.
Modelo ModelBuilder Pendiente



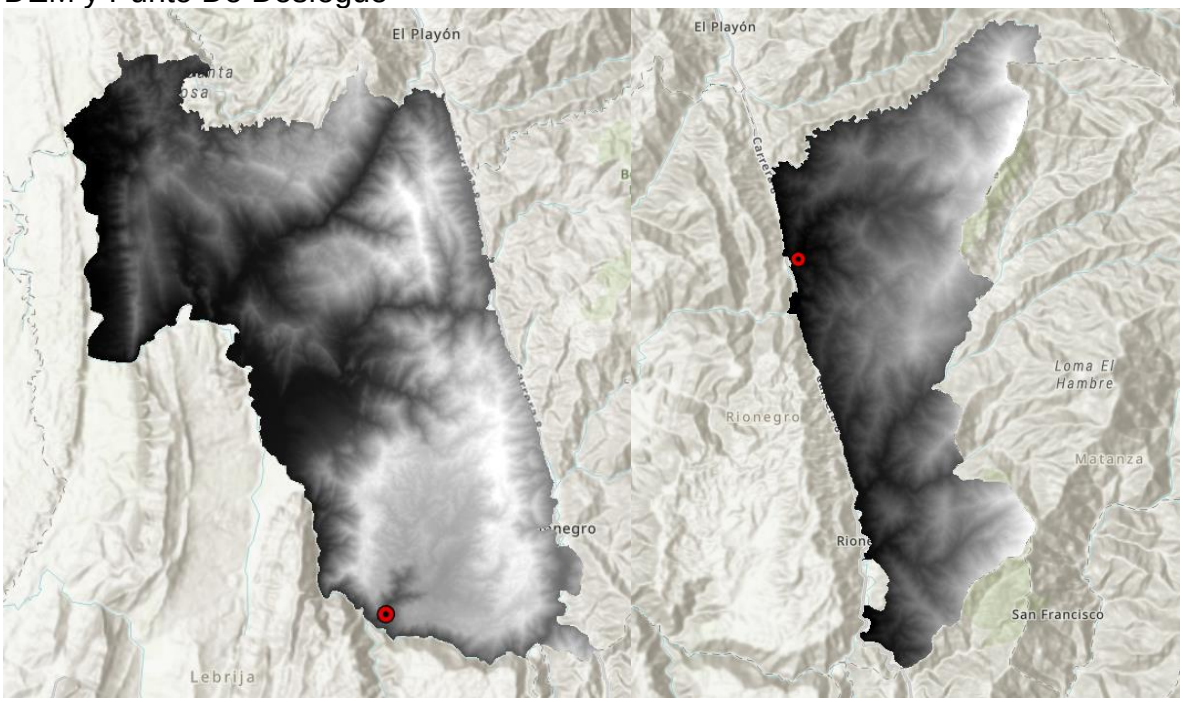
Fuente: Autores

Con el siguiente ModelBuilder se obtuvo el mapa de pendientes ya antes visto, donde se utilizaron el DEM y las curvas de nivel a 100, este modelo es automatizado

por lo tanto en próximos mapas de pendientes solo tendríamos que remplazar los datos de curvas de nivel y DEM para que nos genere el mapa de pendientes de cualquier zona.

4.3. Delimitación de una unidad hidrográfica subsiguiente

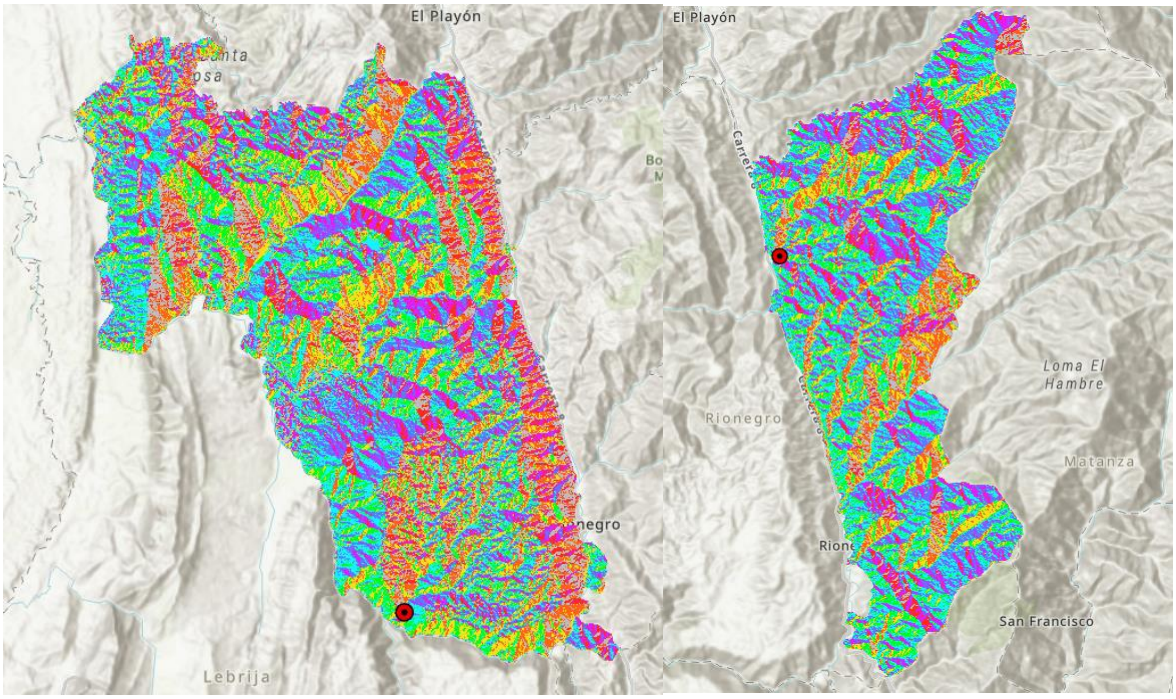
Figura 29.
DEM y Punto De Desfogue



Fuente: Autores

Se parte del modelo digital del DEM de la zona y se debe contar con un punto de desfogue para este se debe detener en cuenta un punto antes de que el rio desemboque sus aguas en uno más grande.

Figura 30.
Flow Direction



Fuente: Autores

Este Flow Direction nos muestra la dirección de los flujos de agua en toda la zona de estudio, a partir de la variación de colores se evidencia cómo cada celda del modelo digital de elevación dirige el flujo hacia su vecino de menor altura, configurando así la red de drenaje potencial.

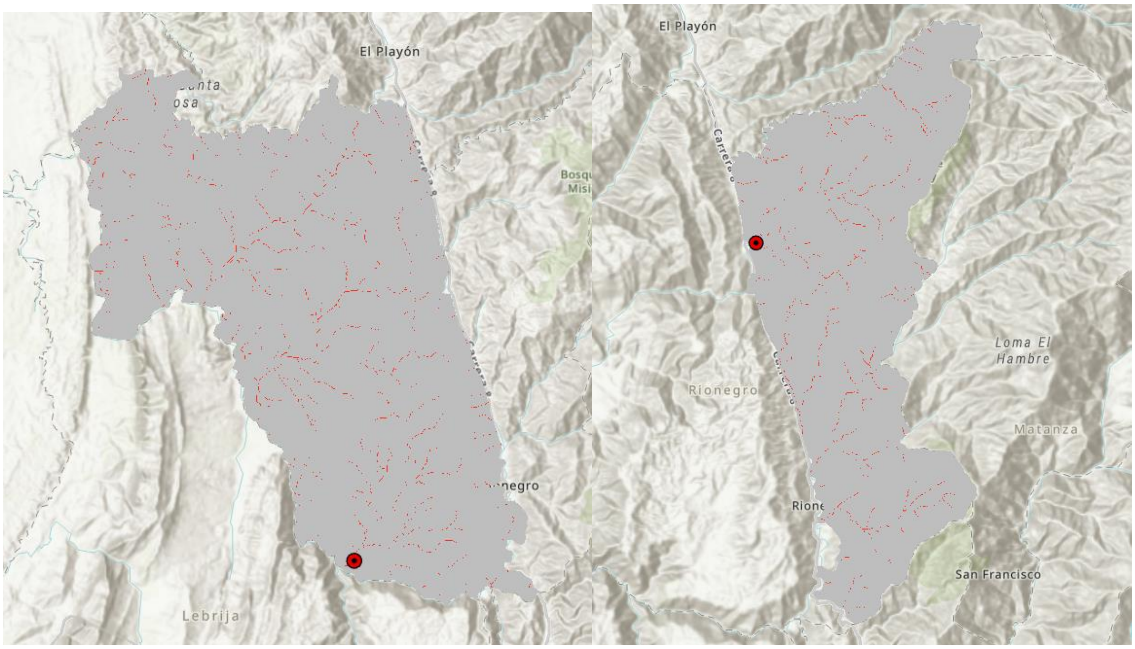
Figura 31.
Flow Accumulation



Fuente: Autores

En el Flow Accumulation Comienzan a aparecer ya las líneas que van a representar los ríos, permite inferir la direccionalidad del drenaje y la conectividad entre los distintos segmentos de la red hídrica, evidenciando cómo las áreas de mayor pendiente favorecen una rápida concentración del escurrimiento hacia los cauces principales.

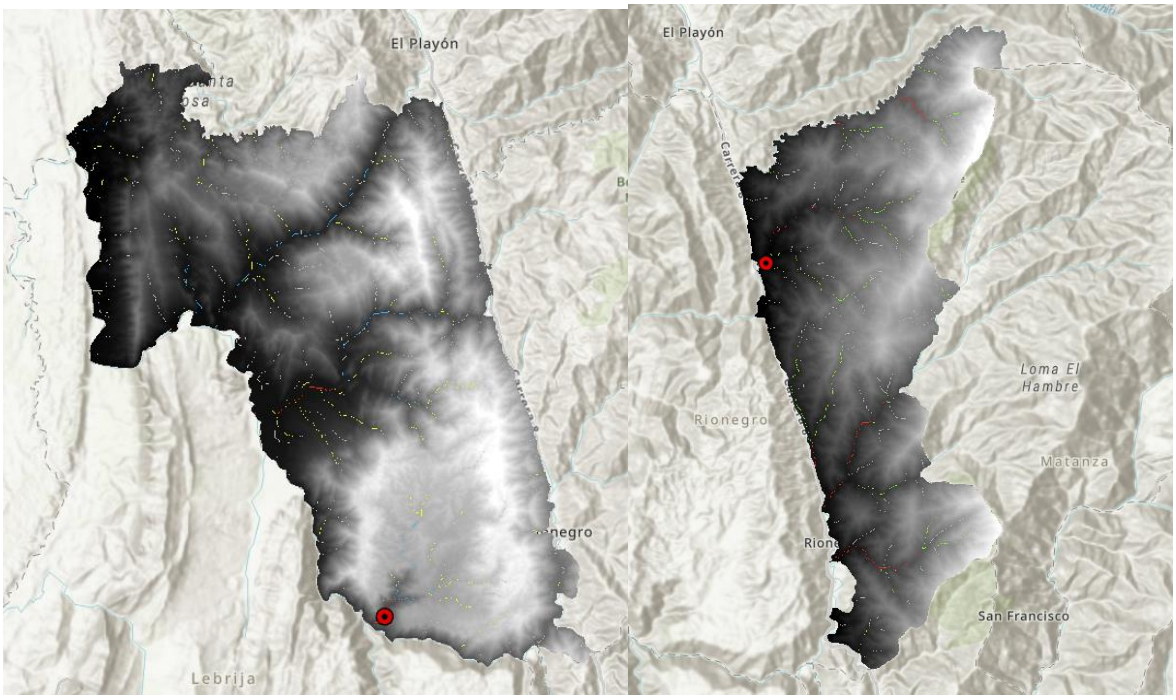
Figura 32.
Raster Calculator



Fuente: Autores

El procesamiento mediante Raster Calculator permite derivar, a partir del DEM, una representación más detallada de las fuentes hídricas potenciales, evidenciada en la densificación de la red de drenaje y la identificación de cauces secundarios y terciarios que no eran tan notorios en etapas previas.

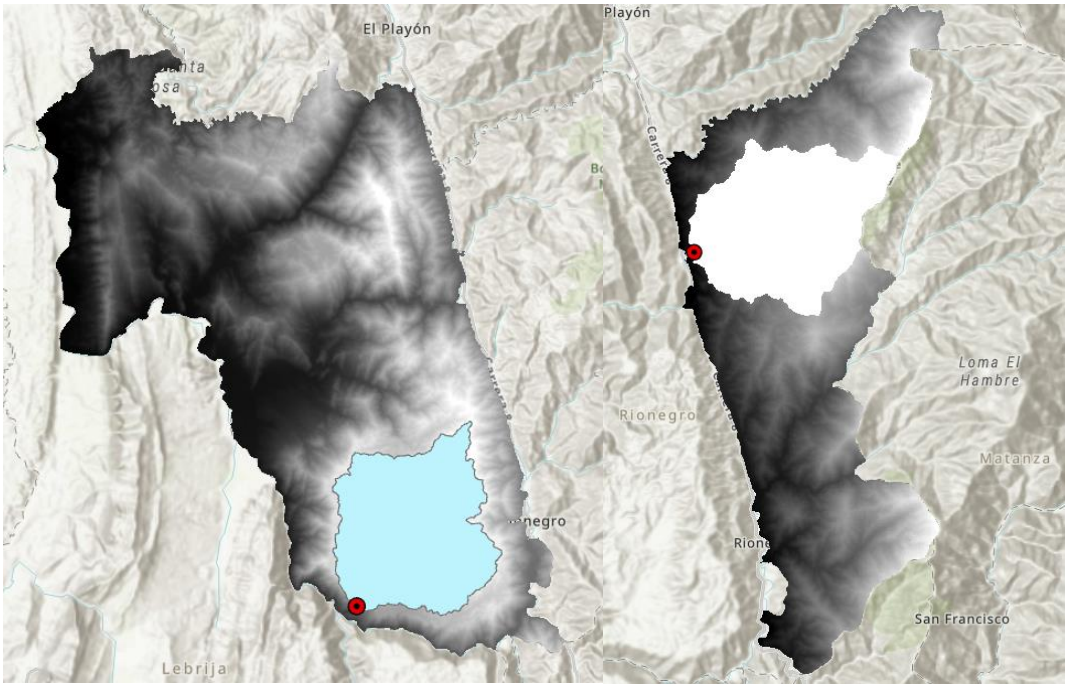
Figura 33.
Stream Link



Fuente: Autores

El resultado de Stream Link permite estructurar la red de drenaje previamente identificada, asignando un orden y segmentación a cada tramo, lo que facilita la comprensión de su jerarquía y conectividad. A diferencia de las salidas anteriores, en esta etapa los cauces no solo son visibles, sino que se presentan organizados en segmentos diferenciados, permitiendo reconocer con mayor precisión las relaciones entre corrientes principales y afluentes.

Figura 34.
Watershed

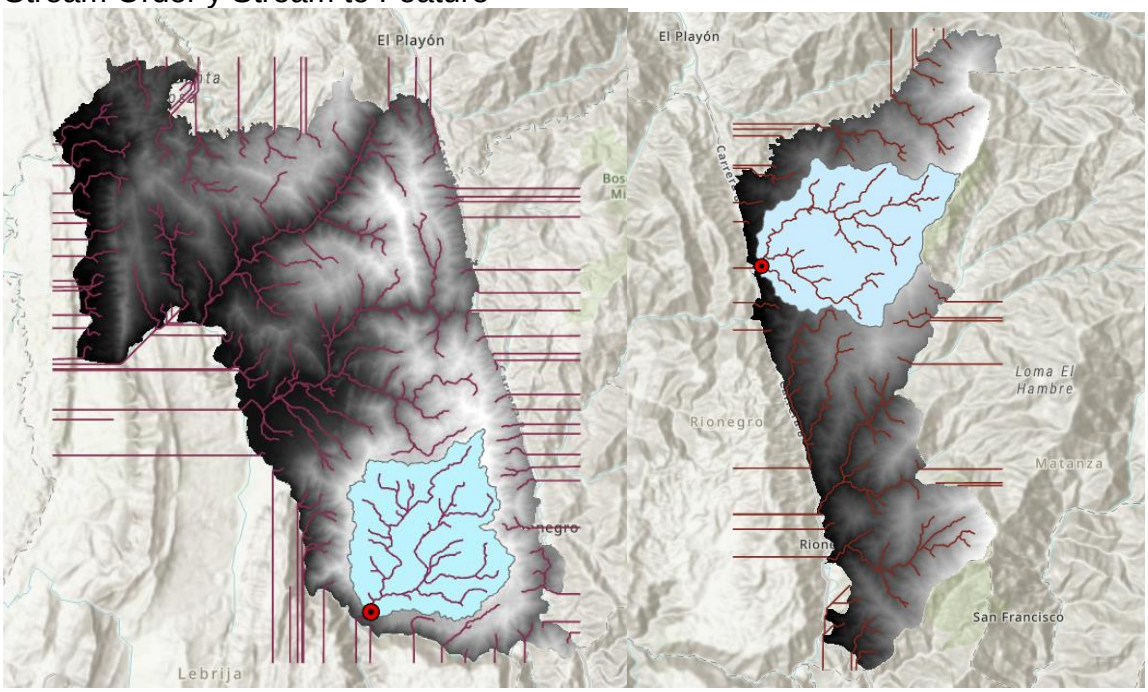


Fuente: Autores

El resultado del Watershed permite delimitar con precisión la cuenca hidrográfica a partir del punto de desfogue previamente definido, evidenciando el área que contribuye hidrológicamente a dicho punto. La correcta localización de este punto, bajo un sistema de referencia adecuado WGS 1984 UTM Zona 18N, resulta determinante, ya que condiciona directamente la extensión y forma de la cuenca obtenida. La superficie delimitada corresponde al conjunto de celdas cuyo escurrimiento converge hacia el mismo punto de desfogue, estableciendo así la divisoria de aguas de manera implícita.

Este procedimiento no solo define los límites físicos de la cuenca, sino que también constituye la base para análisis posteriores relacionados con balance hídrico, modelación de caudales y gestión integral del recurso hídrico.

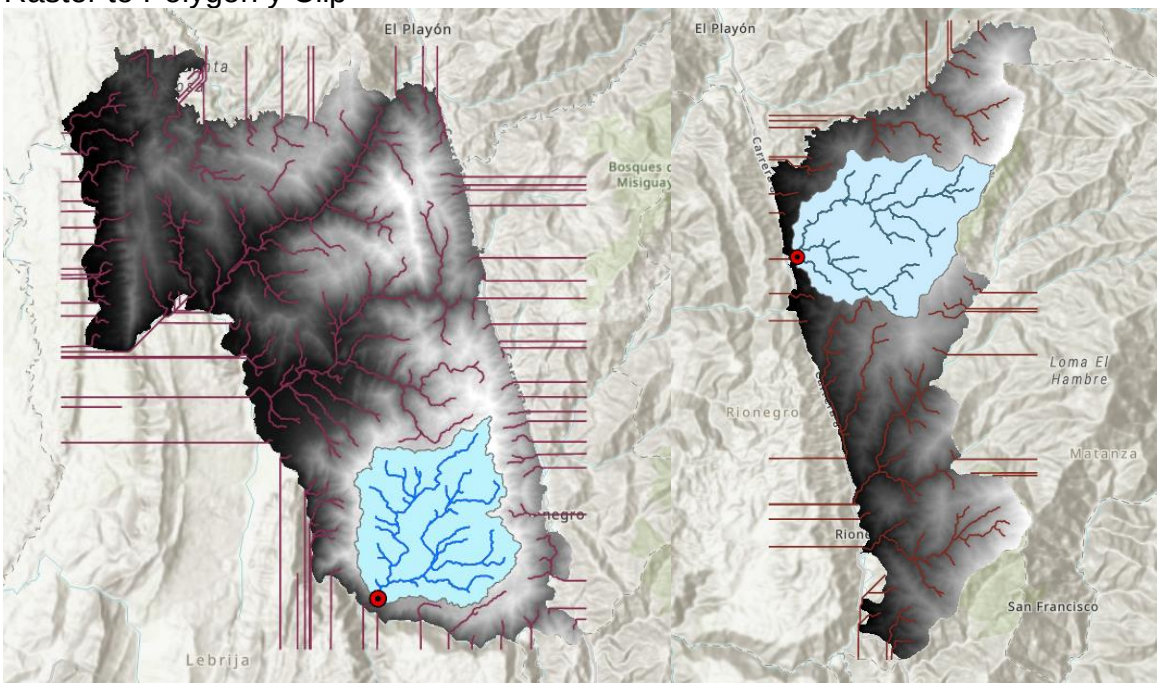
Figura 35.
Stream Order y Stream to Feature



Fuente: Autores

Los procesamientos mediante Stream Order y Stream to Feature permite no solo extraer la totalidad de la red de drenaje, sino también clasificarla jerárquicamente según la importancia de cada cauce dentro del sistema hidrológico, el orden asignado distingue entre corrientes principales y afluentes de menor rango. Esta organización jerárquica evidencia la estructura del sistema fluvial, permitiendo identificar patrones de ramificación, niveles de conectividad y zonas de mayor concentración de flujo, aspectos fundamentales para estudios hidrológicos, geomorfológicos y de planificación del territorio.

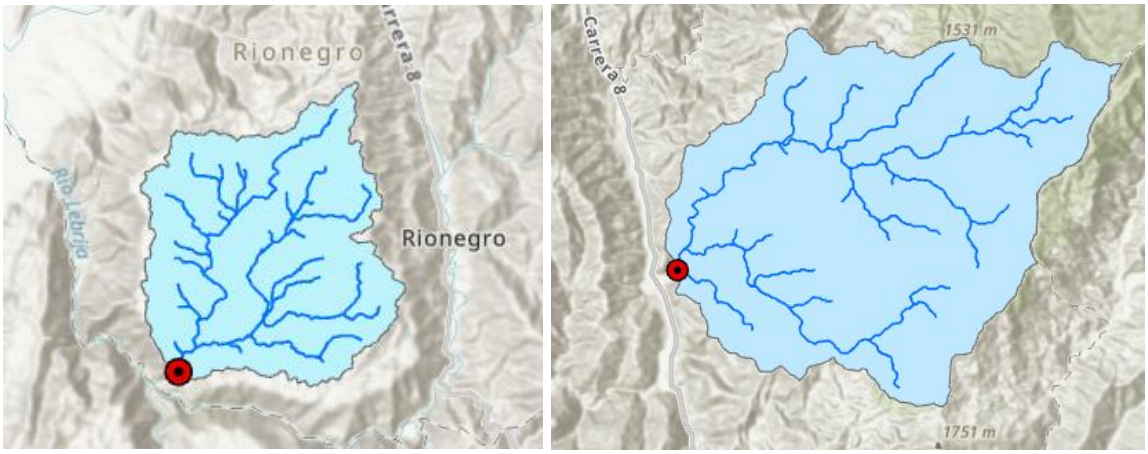
Figura 36.
Raster to Polygon y Clip



Fuente: Autores

Las herramientas Raster to Polygon y Clip estas funciones permiten convertir el área de interés de un formato de celdas a un vector definido, recortando la información sobrante para aislar exclusivamente la unidad territorial de la cuenca (resaltada en azul claro). Este procedimiento es fundamental para estudios de gestión hídrica, ya que permite extraer parámetros morfométricos precisos y enfocar el análisis en un área de drenaje particular, eliminando el ruido visual del relieve circundante.

Figura 37.
Cuenca Delimitada



Fuente: Autores

Figura 38.
Delimitación MoldelBuilder Zona Alta Rionegro (Santander)



Fuente: Autores

Figura 39.
Delimitación MoldelBuilder Zona Media Rionegro (Santander)



Fuente: Autores

Con el siguiente ModelBuilder se obtuvo el mapa Delimitación de una unidad hidrográfica ya antes visto, donde se utilizaron el DEM y el punto de desfogue, este modelo es automatizado por lo tanto en próximos mapas de delimitación solo tendríamos que remplazar los datos de punto de desfogue y DEM para que nos genere el mapa de delimitación hidrográfica, debemos de tener en cuenta que el punto de desfogue debe de contar con las coordenadas correctas para que se realice la buena ejecución del modelbuilder.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo mediante programación visual en Model Builder (ArcGIS) y herramientas complementarias en QGIS, lo que permitió optimizar el análisis espacial del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas en el municipio de Rionegro. Su implementación evidenció que la programación visual facilita la estructuración de procesos complejos, mejorando la eficiencia, precisión y reproducibilidad de los estudios territoriales.

Se logró identificar, integrar y depurar la información geoespacial necesaria, incluyendo modelos digitales de elevación, cartografía base e hidrografía, lo que permitió consolidar una base de datos coherente y confiable para el modelamiento.

Respecto al diseño de flujos de trabajo, se construyeron procesos en Model Builder que integran herramientas como generación de curvas de nivel, análisis de pendientes y delimitación de cuencas, evidenciando que la programación visual permite organizar de manera lógica y secuencial el análisis espacial, aunque requirió ajustes en la compatibilidad de datos y salidas intermedias.

Finalmente, se documentó el procedimiento técnico desarrollado, generando una guía práctica que facilita la replicabilidad del modelo en otros territorios. Esto demuestra que la programación visual no reemplaza el criterio profesional, sino que lo fortalece, permitiendo una mejor toma de decisiones en la gestión territorial sostenible.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que futuros estudios utilicen modelos digitales de elevación de mayor resolución, con el fin de mejorar la precisión en el análisis del relieve y la delimitación de cuencas.

Es conveniente ampliar el modelo incorporando variables como uso del suelo y datos climáticos, para lograr análisis más integrales del comportamiento hidrológico.

Se sugiere implementar el modelo en diferentes áreas geográficas para evaluar su adaptabilidad y realizar ajustes que fortalezcan su aplicabilidad en distintos contextos.

En futuros desarrollos, se recomienda integrar herramientas de programación como Python, que permitan ampliar la automatización y flexibilidad del modelo.

Se recomienda promover la capacitación en herramientas SIG y fortalecer la infraestructura tecnológica (software, equipos y datos), con el fin de facilitar la apropiación y aplicación del modelo en contextos académicos e institucionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, A. S. (2023). Delineación de cuencas hidrográficas a partir de DEM mediante Model Builder en ArcGIS. *Revista de Ingeniería Civil*, *9*(11), 2796–2805.

Alberto, L. R. D., & Sptefannie, B. C. L. (2020, 25 de marzo). *Plugin para la zonificación de amenaza por movimientos en masa implementando el uso de imágenes Sentinel 2, en el municipio de Chíquiza (Boyacá)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://repository.udistrital.edu.co/items/d23524cd-38d1-4bd6-aa8b-714a50f6c94a

Alcaldía de Rionegro. (2016). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Rionegro (Santander).* Alcaldía Municipal de Rionegro. Disponible en: https://www.rionegro-santander.gov.co/planeacion/pbot

Alejandrino, I. K., Lagmay, A. M., & Eco, R. N. (2016). Mapeo del riesgo de deslizamientos superficiales en Davao Oriental, Filipinas, mediante un modelo SIG determinista. En J. Drake, Y. Kontar, J. Eichelberger et al. (Eds.), *Comunicación del cambio climático y el riesgo de desastres naturales y fomento de la resiliencia: Avances en la investigación de desastres naturales y tecnológicos* (pp. 131–147). Springer, Cham.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press. Recuperado de https://global.oup.com/academic/product/principles-of-geographical-information-systems-9780198742845

Camila, R. D. L. (2024, 20 de agosto). *Diseño y configuración de los módulos gestión del riesgo y compensaciones bióticas para la modernización del geoportal web Geoisa de ISA-Intercolombia S.A.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://repository.udistrital.edu.co/items/b3fb10d5-0925-44a3-8edc-dc2ebdc42ad5

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga [CDMB]. (2019). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Lebrija (POMCA)*. Bucaramanga: CDMB. https://www.cdmb.gov.co

Corradine, M. F., Hidrología, P., Bustamante, M. A., Guerreo, C. M., Revisión, D., De, L., & Modificaciones, N. (2016, octubre 22). *FASE DE DIAGNÓSTICO 3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-BIÓTICA DE LA CUENCA 3.5 MORFOMETRÍA CONSORCIO RÍO GARAGOA*. Gov.co. https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1a9fcf99956.pdf

¿Qué es ModelBuilder? (s/f). Arcgis.com. Recuperado el 10 de marzo de 2026, de https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.4/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.h

Daly, H. E. (1996). *Beyond growth: The economics of sustainable development*. Beacon Press. https://www.jstor.org/stable/2137812

Dang, A. T. N., & Kumar, L. (2017). Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: A case study of District 8, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8*(2), 1792–1811. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1388853

Esri. (2023). *What is ModelBuilder?* ArcGIS Pro Documentation. Environmental Systems Research Institute (Esri). Disponible en: https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/modelbuilder-101-for-arcgis-pro-users-who-want-to-automate-workflows#:~:text=ModelBuilder%20provides%20a%20visual%20canvas,model%20is%20a%20workflow%20map.

Fernández García, E. (2012). *Aplicación de la herramienta Model Builder de ArcGIS 10 para la modelización de procesos en el ámbito forestal* [Tesis de maestría,

Universidad de Oviedo]. RUO. Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo. http://hdl.handle.net/10651/4164

García-Ruiz, J. M., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., Beguería, S., & Spanish National Research Council. (2013). Erosion in Mediterranean landscapes: Changes and future challenges. *Geomorphology*. https://doi.org/10.1016/geomorph.2013.05.023

Geociencias GEOINFO. (2013). *Plataforma GEOQ: Solución cubana para el análisis geoespacial y sustitución de sistemas propietarios*. Universidad de las Ciencias Informáticas. http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2013_Geociencias_GEOINFO.pdf

Giraldo, E. V. A., Cardona, F. J. G., Aristizábal, E. F. G., & Martínez, J. C. G. (2020). Análisis de la amenaza por movimientos en masa detonados por sismo en los Andes colombianos, caso de estudio: Barbosa (Antioquia). *Ingeniería y Competitividad, 22*(2), 1–13. https://www.redalyc.org/journal/911/91167857004/html/

Gómez, M., Rodríguez, L., & Castañeda, J. (2019). *Aplicación de herramientas SIG en la caracterización agroecológica del altiplano cundiboyacense*. Revista Colombiana de Geomática, 15(2), 45–60.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2020). *Cartografía básica y temática para la gestión territorial*. Bogotá: IGAC. https://www.igac.gov.co

Jam, A. S., Mosaffaie, J., Sarfaraz, F., Shadfar, S., & Akhtari, R. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid MCDM models. *Natural Hazards, 108*(1), 1025–1046. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04718-5

Jensen, J. R. (2007). Remote sensing of the environment: An earth resource perspective (2nd ed.). Pearson Prentice Hall. https://www.academia.edu/2969968/Remote_Sensing_of_the_Environment_An_Earth_Resource_Perspective_2_e

Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989 y la Ley 2ª de 1991, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 43.091. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Diario Oficial No. 41.146. http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html

Londoño, C. H. (2001). Cuencas hidrográficas: bases conceptuales-caracterizacion-planificacion-administración. Ibague.

López, A., & García, D. (2020). *Automatización del análisis morfométrico de cuencas hidrográficas con Model Builder en ArcGIS*. Revista de Geoinformación Latinoamericana, 9(1), 32–48.

Malik, A., Kumar, A., Kushwaha, D. P., Kisi, O., Salih, S. Q., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. (2019). The implementation of a hybrid model for hilly sub-watershed prioritization using morphometric variables: Case study in India. *Water, 11*(6), 1138. https://doi.org/10.3390/w11061138

Mesa, O., Poveda, G., Vélez, J. I., Barco, J., University of Medellin, Colombia, & National University of Colombia. (2000). *HIDRO-SIG: Una herramienta para el análisis de información hidrológica. Un caso de aplicación en Colombia* [Ponencia de conferencia]. https://www.researchgate.net/publication/242373856

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía metodológica para la formulación de los POMCA*. Bogotá: MinAmbiente. https://www.minambiente.gov.co

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía para la formulación de los POMCA en Colombia*. MinAmbiente https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/GUIA_DE_POMCAS.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Lebrija (POMCA).* Bogotá D.C.: MinAmbiente. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co

Mohammed, J. A., Gashaw, T., & Yimam, Z. A. (2024). *Identification of erosion-prone watersheds for prioritizing soil and water conservation in a changing climate using morphometric analysis and GIS*. *Natural Hazards*. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06735-y

Morán-Alonso, N., Viedma-Guiard, A., Simón-Rojo, M., & Córdoba-Hernández, R. (2025). Agricultural land suitability analysis for land use planning: The case of the Madrid region. *Land, 14*(1), 134. https://doi.org/10.3390/land14010134

Palacio Córdoba, J., Mergili, M., & Aristizábal, E. (2020). Análisis probabilístico de susceptibilidad a deslizamientos en terreno montañoso tropical utilizando el modelo físico r.slope.stability. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 20*(3), 815–829. https://doi.org/10.5194/nhess-20-815-2020

Pérez Pardo, Y. P. (2021). Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la identificación del potencial de recarga hídrica de la microcuenca Río Botello [Trabajo de especialización, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio Institucional UAN.

Pijl, A., Reuter, L. E. H., Quarella, E., Vogel, T. A., Tarolli, P., Dept. of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, & Soil Physics and Land Management Group, Wageningen University. (2020). *GIS-based soil erosion modelling under various steep-slope vineyard practices*. Catena. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104604

Polycarpo, J. S. M., De Souza Mendes, I., Correa, M. M., Mercante, E., De Moura, A. E. S. S., & Neto, F. C. R. (2023). Geotecnologias para identificação de áreas sujeitas à enchentes na bacia do rio Una, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física, 16*(6), 3469–3493. https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p3469-3493

Ramírez, J., & Ortega, P. (2018). *Implementación de flujos automatizados en QGIS para la planificación ambiental urbana*. Revista Mexicana de Estudios Territoriales, 7(3), 77–92.

Silva, R., Fernandes, A., & Costa, P. (2021). *Integrated automated geospatial analysis for flood-prone area detection in Brazil using open-source tools*. Journal of Environmental Modelling & Software, 143, 105114. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105114

Stormwater Master Planning with GIS. (s. f.-b). *Proceedings of the Esri User Conference*. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap946/p946.htm

Strahler, A. N. (1957). *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6), 913–920. https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913

Tomlinson, R. (2003). *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers* (5.ª ed.). Esri Press. Disponible en versión digital: https://books.google.com/books/about/Thinking_about_GIS.html?id=gAZBmwEACAAJ

Tomlinson, R. (2011). *Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers* (4.ª ed.). Esri Press. Anunciado en: https://www.esri.com/news/releases/11-1qtr/roger-tomlinsons-updated-thinking-about-gis-reflects-new-technology-trends.html

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (s. f.). *Desarrollo de herramienta geográfica para evaluar la fragilidad visual del paisaje en estudios ambientales*. Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/f6206bc5-50c5-4485-a654-6e5f88b27389/content

Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Wiley.

Zandbergen, P. A. (2013). *Python Scripting for ArcGIS*. ESRI Press. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Python_Scripting_for_ArcGIS.html?id=r-VLLgEACAAJ

Zandbergen, P. A. (2020). *Python Scripting for ArcGIS Pro*. ESRI Press. Recuperado de https://www.esri.com/en-us/esri-press/browse/python-scripting-for-arcgis-pro