



**Implementación de programación avanzada, herramientas de automatización  
para el análisis del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas: Caso de  
estudio, municipio El Playón (Santander)**

Modalidad: Proyecto de  
Investigación

Sergio Humberto Camacho Salas  
CC 1002276703  
Luis Mateo Vera Sandoval  
CC 1095298190

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías**  
**Ingeniería en Topografía**  
**Bucaramanga – marzo 5 2026**



**Implementación de programación avanzada, herramientas de automatización  
para el análisis del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas: Caso de  
estudio, municipio El Playón (Santander)**

Modalidad: Proyecto de  
Investigación

Sergio Humberto Camacho Salas  
CC 1002276703  
Luis Mateo Vera Sandoval  
CC 1095298190

**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 – marzo 5 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

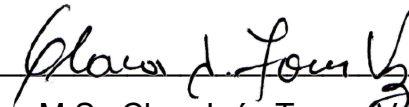


---

Ing Leonardo Favio Gómez Mejía

Firma del Evaluador

Scanned with CamScanner



---

M.Sc Clara Inés Torres Vásquez

Firma del Director

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por su respaldo constante, comprensión y motivación a lo largo de este proceso académico. Asimismo, honramos la memoria de quienes, con su ejemplo e inspiración, despertaron en nosotros la pasión por la topografía y la ingeniería, guiando nuestro camino profesional.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro reconocimiento a la profesora Clara Inés Torres Vásquez, directora del proyecto y miembro del grupo de investigación GRIMAT de las Unidades Tecnológicas de Santander, por su orientación técnica especializada y supervisión constante que contribuyeron decisivamente al desarrollo de este trabajo de grado.

Igualmente, valoramos el aporte de las entidades institucionales como las Unidades Tecnológicas de Santander, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), que facilitaron acceso a datos geoespaciales y marcos normativos esenciales para el análisis del relieve y delimitación de cuencas en El Playón, Santander.

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b><u>INTRODUCCIÓN .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u></b>	<b><u>18</u></b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	19
1.3. OBJETIVOS.....	21
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	22
<b><u>2. MARCO REFERENCIAL .....</u></b>	<b><u>31</u></b>
2.1. MARCO CONCEPTUAL .....	31
2.2. MARCO LEGAL .....	32
2.3. MARCO AMBIENTAL .....	35
2.4. MARCO HISTÓRICO .....	37
2.5. MARCO TEÓRICO.....	38
2.6. MARCO TECNOLÓGICO.....	44
2.7. MARCO INSTITUCIONAL.....	46
<b><u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</u></b>	<b><u>48</u></b>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	48
3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	48
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	49

<b>3.4.</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>49</b>
<b>4.</b>	<b><u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</u></b>	<b><u>54</u></b>
<b>4.1.</b>	<b>PREPARACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS .....</b>	<b>55</b>
4.1.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MUNICIPIO EL PLAYÓN, SANTANDER .....	58
<b>4.2.</b>	<b>MODELAMIENTO GEOESPACIAL AUTOMATIZADO.....</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b><u>RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b>5.1.</b>	<b>ANÁLISIS DEL RELIEVE .....</b>	<b>64</b>
5.1.1.	ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y PROCESOS MORFODINÁMICOS .....	65
5.1.2.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE PENDIENTES .....	67
5.1.3.	ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN DE PENDIENTES (MAPA DE ASPECTO).....	71
5.1.4.	ANÁLISIS HIPSOMÉTRICO .....	72
<b>5.2.</b>	<b>DEFINICIÓN DE MICROCUENCAS MEDIANTE HERRAMIENTA DE AUTOMATIZACIÓN (ARCGEEK) .....</b>	<b>73</b>
<b>5.3.</b>	<b>PROGRAMACIÓN AVANZADA (PYQGIS).....</b>	<b>79</b>
<b>5.4.</b>	<b>PROGRAMACIÓN EN GOOGLE EARTH ENGINE.....</b>	<b>82</b>
<b>6.</b>	<b><u>CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>84</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>85</u></b>
<b>8.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>86</u></b>
<b>9.</b>	<b><u>ANEXOS.....</u></b>	<b><u>89</u></b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 Diagrama de Flujo..... 53

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Morfometría de la Microcuenca 1 .....	74
Tabla 2 Morfometría de la Microcuenca 2 .....	77

**LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Clasificación de Cursos de agua Strahler y Shreve ..... 41

Ilustración 2 Departamentos de Colombia..... 55

Ilustración 3 Municipios, Distritos y Áreas no municipalizadas de Colombia ..... 56

Ilustración 4 Alos Palsar ..... 56

Ilustración 5 DEM municipio El Playón ..... 57

Ilustración 6 Mapa de Ubicación El Playón, Santander ..... 58

Ilustración 7 Cuenca Rio El Playón ..... 59

Ilustración 8 Esri Land Cover ..... 60

Ilustración 9 Herramienta ArcGeek ..... 61

Ilustración 10 Script en PyQGIS..... 62

Ilustración 11 Script Google Earth Engine..... 63

Ilustración 12 Litología El Playón, Santander ..... 65

Ilustración 13 Mapa de Coberturas El Playón Santander ..... 66

Ilustración 14 Mapa de Pendientes El Playón ..... 67

Ilustración 15 Mapa de Fallas Geológicas El Playón ..... 70

Ilustración 16 Mapa de Aspecto El Playón ..... 71

Ilustración 17 Mapa Hipsométrico El Playón ..... 72

Ilustración 18 Mapa Hipsométrico con Microcuenca 1 ..... 73

Ilustración 19 Curva hipsométrica Microcuenca 1 ..... 75

Ilustración 20 Mapa Hipsométrico con Microcuenca 1 y 2 ..... 76

Ilustración 21 Curva Hipsométrica Microcuenca 2..... 78

Ilustración 22 Código PyQGIS Mapa de Sombras..... 79

Ilustración 23 Mapa de Sombras a partir de PyQGIS ..... 80

Ilustración 24 Código PyQGIS Pendientes ..... 81

Ilustración 25 Pendientes a partir de PyQGIS ..... 81

Ilustración 26 Ejecución del Script en Google Earth Engine ..... 82

Ilustración 27 Relieve a partir de Google Earth Engine ..... 83

## RESUMEN EJECUTIVO

El análisis geomorfométrico del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas constituyen herramientas fundamentales para la planificación territorial, la gestión del riesgo y el estudio del comportamiento hidrológico de una región. Tradicionalmente, estos procesos se han desarrollado mediante procedimientos manuales en entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo cual implica mayores tiempos de procesamiento y una mayor probabilidad de errores asociados a tareas repetitivas.

En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo implementar herramientas de programación avanzada en entornos SIG para automatizar el procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM) y optimizar el análisis geomorfométrico del municipio de El Playón (Santander). Para ello, se integraron herramientas como PyQGIS, ArcGeek Calculator y Google Earth Engine, permitiendo generar de manera automatizada productos cartográficos como mapas de pendientes, sombreado del relieve (hillshade), delimitación de cuencas hidrográficas, red de drenaje y curva hipsométrica.

Los resultados obtenidos permitieron caracterizar geomorfológicamente el área de estudio e identificar que el relieve del municipio se encuentra en una etapa madura avanzada, evidenciando un equilibrio relativo entre los procesos de erosión y disección del terreno. Asimismo, se comprobó que la automatización de procesos mediante scripting en SIG reduce significativamente los tiempos de procesamiento, mejora la reproducibilidad de los análisis y aumenta la precisión en la generación de información geoespacial.

Finalmente, la metodología desarrollada constituye un aporte técnico aplicable a estudios hidrológicos, geomorfológicos y de ordenamiento territorial, y puede ser replicada en otras áreas con características similares, fortaleciendo el uso de herramientas automatizadas en el análisis del territorio.

**PALABRAS CLAVE:** Automatización, Modelo Digital de Elevación (DEM), Relieve, Cuencas hidrográficas, Programación.

## ABSTRACT

The geomorphometric analysis of relief and the delineation of watershed boundaries are fundamental tools for territorial planning, risk management, and the study of the hydrological behavior of a region. Traditionally, these processes have been carried out through manual procedures within Geographic Information System (GIS) environments, which involve longer processing times and a higher probability of errors associated with repetitive tasks.

In this context, the present study aimed to implement advanced programming tools in GIS environments to automate the processing of the Digital Elevation Model (DEM) and optimize the geomorphometric analysis of the municipality of El Playón (Santander). To achieve this, tools such as PyQGIS, ArcGeek Calculator, and Google Earth Engine were integrated, allowing the automated generation of cartographic products such as slope maps, hillshades, watershed delineations, drainage networks, and hypsometric curves.

The results made it possible to characterize the geomorphology of the study area and identify that the municipality's terrain is in an advanced mature stage, showing a relative balance between erosion and dissection processes. Likewise, it was verified that process automation through GIS scripting significantly reduces processing times, improves the reproducibility of analyses, and increases the precision in the generation of geospatial information.

Finally, the developed methodology represents a technical contribution applicable to hydrological, geomorphological, and land-use planning studies and can be replicated in other areas with similar characteristics, strengthening the use of automated tools in territorial analysis.

**KEYWORDS:** Automation, Digital Elevation Model (DEM), Relief, Watersheds,  
Programming.

## INTRODUCCIÓN

En el contexto de la gestión territorial en Colombia, el análisis del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas constituyen procesos fundamentales para la planificación ambiental, la gestión del riesgo y el ordenamiento del territorio. Tradicionalmente, estos estudios se han desarrollado mediante procedimientos manuales en Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales demandan altos tiempos de procesamiento, personal especializado y presentan susceptibilidad a errores durante la ejecución de tareas repetitivas.

Ante esta problemática, la implementación de herramientas de programación avanzada y procesos automatizados en entornos SIG representa una alternativa eficiente para optimizar el análisis morfométrico del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas, permitiendo mejorar la precisión, reproducibilidad y velocidad en el procesamiento de información geoespacial. En este sentido, metodologías basadas en scripting y modelos automatizados han sido aplicadas en diferentes contextos internacionales como soporte para estudios hidrológicos, geomorfológicos y de planificación territorial.

En Colombia, la necesidad de fortalecer los procesos técnicos asociados a la caracterización del territorio se encuentra alineada con instrumentos de planificación como los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), los cuales requieren información geomorfológica confiable y actualizada para la toma de decisiones.

En este contexto, el presente trabajo implementó técnicas de programación avanzada mediante herramientas como PyQGIS, ArcGeek Calculator y Google Earth Engine para automatizar el procesamiento del Modelo Digital de Elevación

(DEM) y generar variables morfométricas del relieve en el municipio de El Playón (Santander), perteneciente a la zona hidrográfica del río Lebrija. A partir de esta metodología se obtuvieron productos cartográficos como mapas de pendientes, sombras del relieve, red de drenaje, delimitación de cuencas y análisis hipsométrico, los cuales permitieron caracterizar geomorfológicamente el territorio de estudio.

Los resultados obtenidos evidencian la utilidad de los procesos automatizados en SIG como herramientas eficientes para optimizar el análisis territorial, constituyéndose en un aporte técnico aplicable a estudios hidrológicos, geomorfológicos y de planificación del territorio en contextos similares.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto actual de la gestión territorial colombiana, los procesos de análisis del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas (morfometría) se realizan mediante metodologías que demandan considerable inversión de tiempo y recursos humanos especializados. Los estudios hidrológicos y territoriales tradicionales requieren la ejecución manual y repetitiva de múltiples procedimientos en Sistemas de Información Geográfica (SIG), generando ineficiencias significativas en el procesamiento de datos geoespaciales. (Rodríguez, 2024)

La ausencia de flujos de trabajo automatizados para el análisis territorial integrado representa una limitación metodológica crítica que se manifiesta en diversos aspectos: los procesos manuales de delimitación de cuencas consumen más tiempo que los automatizados, la caracterización morfométrica mediante métodos convencionales presenta alta susceptibilidad a errores humanos durante el cálculo de parámetros geométricos, y existe inconsistencia en la aplicación de metodologías entre diferentes proyectos y analistas.

En Colombia, esta problemática se intensifica debido a la diversidad geográfica del territorio nacional, que demanda análisis territoriales especializados para diferentes condiciones topográficas, climáticas y de uso del suelo. Las instituciones técnicas y académicas enfrentan desafíos para implementar análisis territoriales eficientes que apoyen la toma de decisiones en gestión territorial, planificación urbana y manejo de recursos naturales.

**Pregunta de investigación:** ¿Cómo puede la implementación de programación avanzada con herramientas de automatización optimizar los procesos de análisis del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas para mejorar la eficiencia y precisión en la gestión territorial?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La automatización de procesos geoespaciales mediante programación avanzada en SIG representa una necesidad estratégica para la modernización de los análisis territoriales en Colombia. La implementación de Model Builder en ArcGIS y herramientas equivalentes en QGIS permitirá desarrollar flujos de trabajo estandarizados que reduzcan significativamente los tiempos de procesamiento y mejoren la reproducibilidad de los resultados.

Importancia técnica y científica: La automatización de procesos morfométricos y de delimitación de cuencas facilitará la generación de información territorial más precisa y confiable. Los modelos automatizados permitirán procesar múltiples escenarios de análisis territorial, incorporando variables como uso del suelo, pendientes complejas y características edáficas de manera integrada. Esto resulta fundamental para estudios de erosión (USLE/MUSLE), análisis de vulnerabilidad territorial y planificación de infraestructura hidráulica.

Relevancia para las UTS: Esta investigación fortalece la línea de investigación en tecnologías geoespaciales aplicadas del programa de Ingeniería en Topografía, contribuyendo al desarrollo de capacidades técnicas especializadas en automatización SIG. Los resultados alimentarán el conocimiento institucional sobre

herramientas avanzadas de análisis territorial, posicionando a las UTS como referente regional en tecnologías geoespaciales aplicadas.

Impacto en la formación profesional: Los modelos desarrollados servirán como herramientas pedagógicas para la formación de futuros ingenieros topógrafos, proporcionando experiencia práctica en programación SIG avanzada y metodologías de análisis territorial automatizado. Los estudiantes adquirirán competencias especializadas en Model Builder y Python scripting aplicado a SIG, habilidades altamente valoradas en el sector profesional.

Aplicabilidad territorial: Los flujos de trabajo automatizados desarrollados podrán aplicarse en diferentes contextos geográficos colombianos, desde análisis de cuencas amazónicas hasta caracterización de territorios andinos y costeros. Esto beneficiará a entidades públicas, consultoras ambientales y organizaciones dedicadas a la gestión territorial, proporcionando metodologías estandarizadas y eficientes para el análisis del territorio.

La investigación responde a la creciente demanda de eficiencia en procesos técnicos y representa un aporte significativo para la modernización de las metodologías de análisis territorial en Colombia, contribuyendo al desarrollo sostenible y la gestión inteligente del territorio nacional.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar técnicas de programación avanzada y herramientas de automatización en sistemas de información geográfica (SIG) para realizar el análisis del relieve y la delimitación de cuencas hidrográficas en el municipio El Playón (Santander), para fortalecer estudios en la zona hidrográfica del río Lebrija y la planificación del territorio.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las características físicas del relieve, las cuencas hidrográficas y los tipos de suelo presentes en el municipio El Playón (Santander), a partir de información geoespacial y cartográfica.
- Aplicar técnicas específicas de programación avanzada y automatización en SIG, para optimizar el procesamiento de datos geoespaciales en el análisis territorial del municipio El Playón (Santander).
- Modelar un flujo de trabajo automatizado que integre los análisis realizados, con el fin de obtener resultados que fortalezcan y faciliten los estudios en la zona hidrográfica río Lebrija en el municipio de El Playón.

## 1.4. ESTADO DEL ARTE

El uso de herramientas de programación avanzada en sistemas de información geográfica (SIG) ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década, consolidándose como una respuesta esencial a la necesidad de automatizar procesos complejos en el análisis territorial. La implementación de Model Builder en ArcGIS y herramientas de automatización en QGIS representa uno de los avances más significativos para la delimitación de cuencas hidrográficas, análisis morfométrico y caracterización de suelos, reduciendo considerablemente los tiempos de procesamiento y mejorando la precisión en la gestión territorial.

### *Hungría*

Investigadores del Hungarian Forest Research Institute, la Universidad de West Hungary y la Universidad de Hannover en Alemania, usaron la herramienta Model Builder de Arcgis, con el fin de desarrollar un modelo de trabajo que prediga la erosión del suelo con la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) de manera uniforme, generar estadísticas por zona comparables de pérdida de suelo y permitir comparar resultados entre distintas áreas de estudio, comparando escenarios de diferentes coberturas del suelo, prácticas de uso y condiciones de lluvia, en el contexto del cambio climático.

El modelo con ModelBuilder no solo se aplicó en una cuenca forestal, sino que se diseñó como un marco metodológico comparativo internacional, uniendo investigaciones de Hungría y Alemania para predecir erosión bajo distintos usos del suelo y escenarios climáticos. (Péter Csáfordi, 2012).

### ***Indonesia***

En la universidad Trisakti, en Yakarta, Indonesia, se estudiaron las subcuencas (Climus, Cibogo, Cipedes, Cikakak y Ciroyom) que hacen parte de cuenca hidrográfica del río Citepus, desarrollando un modelo automatizado en Arcgis Model Builder, para calcular la pérdida anual del suelo, usando la ecuación MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), para lo cual se usaron datos de información hidrológica, datos topográficos uso y cobertura del suelo, con el fin de clasificar la erosión en cinco categorías, de muy ligera a muy severa. (Dina PA Hidayat, 2018)

### ***España***

Durante 2015-2016 una investigadora de la Universidad de Salamanca realizó un proyecto en la cuenca del Río Zapatón ubicada en la provincia de Cáceres, el objetivo del proyecto fue obtener el caudal máximo de la cuenca del río Zapatón para diferentes periodos de retorno mediante el método racional según la norma 5.2-IC de drenaje superficial (Orden FOM/298/2016), utilizando herramientas geotecnológicas cartográficas. La finalidad práctica fue dimensionar adecuadamente las obras de drenaje superficial necesarias para las infraestructuras lineales que pudieran interceptar esta cuenca.

La herramienta ModelBuilder, se utilizó para automatizar las tareas rutinarias del análisis geográfico en ArcGIS. Se crearon dos modelos de flujo de trabajo: uno para obtener la red hidrológica a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), y otro para delimitar la cuenca hidrográfica a partir de la dirección del flujo y los puntos de desagüe. Esto permitió encadenar secuencias de herramientas de geoprocésamiento para facilitar y optimizar el proceso, generando resultados

precisos y reproducibles para el estudio hidrológico de la cuenca. (García, 2015-2016)

### **Rusia**

En la universidad de Grozny, Rusia, estudiantes del departamento de Ecología y Gestión Ambiental, se enfocaron en siete cuencas fluviales pequeñas y medianas que drenan al mar Caspio, localizadas en el noroeste del Cáucaso (Rusia), Azerbaiyán e Irán, con el fin de evaluar la idoneidad y precisión de siete Modelos Digitales de Elevación (DEMs) —ASTER, ALOS, NASADEM, Copernicus 30 m, Copernicus 90 m, SRTM 30 m y SRTM 90 m— para delinear automáticamente las cuencas y calcular sus características morfométricas en las regiones seleccionadas.

Usando la herramienta de Model Builder de ArcGIS, se diseñó un flujo de trabajo que automatizó: relleno de depresiones en el DEM (Herramienta Fill), cálculo de dirección de flujo (Flow Direction) y acumulación de flujo (Flow Accumulation), selección de corrientes principales (Set Null + Stream Order), conversión de la red de corrientes a vectorial (Stream to Feature) y Delimitación de cuencas (Basin) y conversión a polígonos (Raster to Polygon).

Este modelo permitió comparar las cuencas extraídas con cada DEM, identificar errores automáticos (especialmente en desembocaduras bajo el nivel del mar) y, cuando fue posible, aplicar correcciones semiautomáticas guiadas por isolíneas y mapas topográficos. (Vladimir Tabunshchik, 2025).

### ***España***

Un investigador de la Universidad de Oviedo buscó demostrar cómo Model Builder permite diseñar flujos de trabajo para tareas repetitivas, convirtiendo modelos en herramientas reutilizables en ArcGIS, con aplicaciones en la gestión forestal, como la planificación de inventarios, análisis de pendientes, y zonificación para actividades forestales, facilitando la toma de decisiones basada en SIG.

(Fernández García, 2012)

### ***Alemania***

En Baviera, los investigadores en colaboración con ESRI Germany, entre otras entidades, desarrollaron y documentaron aplicaciones basadas en ArcGIS ModelBuilder para apoyar la planificación sostenible del paisaje regional. En concreto, se buscó automatizar flujos de trabajo geoprocesales, generar mapas de potencialidad y evaluar escenarios de desarrollo territorial.

Con esta aplicación lograron la automatización de modelos de análisis de recursos (suelo, agua, biodiversidad) y mapeo de conflictos entre usos del suelo y funciones ambientales, la creación de modelos de idoneidad para expansión de asentamientos, incorporando criterios físicos, socioeconómicos y de infraestructura, y la implementación de un modelo “dinámico” que integra proyecciones demográficas para simular escenarios de crecimiento hasta 2025, facilitando la toma de decisiones a nivel regional y local. (Joerg SCHALLER, 2010)

### ***Irak***

En la cuenca del río Al-Zab, ubicada en el distrito de Hawija, a 35 km al norte de Baiji, en la región nororiental de Irak, Ali Sadiq Abbas del departamento de la

Ingeniería Civil de la University of Technology en Bagdad, tenía como objetivo proporcionar un método rápido, económico y repetible de delineación de cuencas y mapeo de zonas de peligro por inundación a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM). El fin es apoyar la gestión de los recursos hídricos y la planificación de mitigación de riesgos de inundación. Para este fin, el estudio explica como automatizar en ArcGIS, mediante ModelBuilder la secuencia de herramientas SIG necesarias para delinear una cuenca (Clip del DEM al área de estudio, relleno de sumideros (Fill), cálculo de la dirección de flujo (Flow Direction), acumulación de flujo (Flow Accumulation), orden de red hídrica (Stream Order), identificación de drenajes y cuencas (Stream Link y Basin). ModelBuilder permitió encadenar estos procesos en un flujo de trabajo paramétrico, facilitando su réplica y ajustes posteriores. (Abbas, 2023).

### **Perú**

Ricardo Zubieta Barragán como tesis de Maestría en Recursos Hídricos en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima, Perú) y el Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Brasil), teniendo la zona de estudio en la cuenca amazónica peruana, con énfasis en las subcuencas de los ríos Ucayali, Marañón y Napo, utilizando datos espaciales hasta la estación Tabatinga en la frontera con Brasil, con el objetivo de desarrollar y evaluar un modelado hidrológico distribuido de gran escala (MGB-IPH) para la cuenca amazónica peruana, empleando precipitación satelital (TMPA-TRMM, CMORPH, PERSIANN) como forzantes, con la finalidad de implementar el uso de Model Builder de ArcGIS para la delimitación de cuencas, subcuencas y microcuenca, Integrar datos SIG (uso de suelo, suelos, DEM, redes de drenaje) y climáticos en el entorno MapWindow-MGB-IPH y Calibrar y validar el modelo mediante comparaciones con datos de caudal observados del observatorio ORE-

HYBAM, evaluando su rendimiento para pronósticos de caudales en cuencas no aforadas.

Así, la tesis buscó demostrar la viabilidad de usar datos de precipitación estimada por satélite y herramientas SIG avanzadas (Model Builder) para mejorar la simulación de hidrogramas en regiones con escasez de estaciones pluviométricas. (BARRAGÁN, 2013).

### ***Brasil***

En la ciudad de Anápolis, en el estado de Goiás, por un equipo de investigadores de a Secretaría de Estado de Salud de Goiás, específicamente a la Superintendencia de Vigilancia en Salud. El estudio fue realizado con datos correspondientes a los años 2016 y 2017.

El objetivo principal del proyecto fue presentar una metodología práctica y directa basada en un análisis multicriterio para la identificación automática de áreas prioritarias para la intervención y planificación de acciones de control del mosquito *Aedes aegypti*, vector del dengue. Para ello, se creó un índice denominado Índice de Desplazamiento de la Hembra de *Aedes* (IDFAedes), que combina la densidad poblacional, los sitios de ovipostura y las notificaciones de casos de dengue. El proyecto utilizó la herramienta Model Builder del software QGIS 2.14 Essen, junto con componentes de GRASS, GDAL/OGR y SAGA, para construir un modelo gráfico que automatiza el proceso de análisis espacial y la generación de mapas de prioridad para la intervención. El Model Builder permitió integrar datos y procesos para aplicar el algoritmo de estimación de densidad de kernel y clasificar las áreas urbanas según niveles de prioridad, facilitando la planificación focalizada

en la lucha contra el dengue (Edmar Franco de Paiva Júnior, Automatic stratification of priority areas for Dengue control, 2016 - 2017)

### **Colombia**

En Bogotá unos ingenieros de la Universidad Distrital Francisco José Caldas, desarrollaron e implementaron un modelo de flujos de trabajo automatizados en ModelBuilder en Arcgis para tareas como importación de datos, delimitación de cuencas y zonificación ambiental

La creación de estos modelos lógicos en ModelBuilder para automatizar: Conversión de tablas de coordenadas Excel a shapefile proyectado, conversión de archivos GPX a shapefile en sistema de coordenadas deseado, con depuración de atributos, Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de un DEM: Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Stream Definition, Stream to Feature, Feature Vertice To Point y Watershed Delineation y

Zonificación ambiental, integrando componentes físico, biótico y socioeconómico mediante operaciones de unión y dissolve, y cálculo de sensibilidad ambiental.

Implementando de los modelos en la compañía, logrando reducir más del 200% los tiempos de procesamiento en tareas repetitivas. (HERRERA, 2015)

En la subcuenca del río Guachiría en el departamento del Casanare, bajo el programa de Especialización en Recursos Hídricos de la Universidad Católica de Colombia, se buscó optimizar y automatizar el cálculo espacial del valor ponderado del Número de Curva (NC) para el método SCS de escorrentía, evitando procesos manuales repetitivos en SIG. Para ello se empleó la herramienta ModelBuilder de ArcGIS, que permite encadenar y parametrizar flujos de trabajo de

geoprocesamiento, agilizando la generación de mapas de cobertura, suelos, pendientes y del NC ponderado sin corregir. (Forero Carreño, 2015)

En Bogotá, una ingeniera de la universidad Militar Nueva Granada, tenía como objetivo desarrollar y automatizar, mediante ModelBuilder de ArcGIS 10.4, un modelo de cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) de una cuenca hidrográfica a partir de sus características morfométricas y la variabilidad de caudales.

Con el uso de ModelBuilder Se diseñó un flujo de trabajo visual que automatiza el cálculo de áreas, perímetros, longitudes de drenajes, pendientes medias, coeficiente de compactación y clasificaciones morfométricas; además categoriza el índice de variabilidad de caudales y combina ambos indicadores para obtener el IVET. (CASTELLANOS, 2017)

En el municipio de Barbosa en el departamento de Antioquia, mediante el uso de la herramienta ModelBuilder, se buscó desarrollar y automatizar un flujo de trabajo que procese y analice variables ambientales (contaminantes criterio: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) y físicas (movimientos en masa, inundación, precipitación) para calcular el índice de vulnerabilidad por exposición de población, infraestructura, ecosistemas y sistemas de producción en Barbosa.

Los resultados obtenidos permiten identificar las zonas prioritarias para intervención y planificación en Barbosa, enfocando esfuerzos de mitigación en áreas con alta vulnerabilidad por exposición a amenazas naturales y contaminantes ambientales. (Pareja, 2024)

En 2021 se desarrolló un proyecto ubicado en el municipio de Guayabetal, Cundinamarca, cuyo objetivo principal fue elaborar un modelo geográfico basado

en la metodología de cálculo de capacidad de carga territorial, específicamente para el cálculo de pendientes complejas según la guía del IGAC 2016. Esto con el fin de analizar la viabilidad del territorio para proveer bienes y servicios a la población, minimizando tiempos de ejecución y automatizando la metodología.

La herramienta Model Builder de ArcGIS Desktop fue utilizada para construir la secuencia lógica del modelo geográfico. Este permitió automatizar el cálculo de pendientes complejas, facilitando la generación de resultados precisos y reduciendo tiempos de procesamiento mediante una integración con un script en Python para el cálculo de pendiente media. Así se logró un proceso eficiente y repetible para el manejo de la información territorial en el área de estudio. (Velásquez, 2021).

En la cuenca Hidrográfica del río Las Ceibas, en el municipio de Neiva, Huila y tuvo como objetivo principal construir un modelo de geoprocésamiento que automatizara los procesos para la zonificación agroecológica de tres cultivos importantes en la cuenca: cacao (*Theobroma cacao*), caña panelera (*Saccharum officinarum*) y guanábano (*Annona muricata*). Este modelo fue desarrollado empleando la herramienta ModelBuilder del software ArcGIS Desktop versión 10.5, con el fin de integrar variables agroecológicas de suelo, clima y relieve para facilitar la toma de decisiones y apoyar la formulación de proyectos agropecuarios sostenibles en la zona. (Trujillo, 2019)

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

El proyecto se fundamenta en la integración de conceptos clave en análisis territorial, hidrología y sistemas de información geográfica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

#### Conceptos Fundamentales

**Automatización de Procesos Geoespaciales:** Se refiere a la implementación de flujos de trabajo programados que permiten ejecutar secuencialmente operaciones de geoprocésamiento sin intervención manual repetitiva. Mediante herramientas como Model Builder en ArcGIS o equivalentes en QGIS (PyQGIS), se encadenan operaciones de análisis espacial para optimizar tiempos y reducir errores de operación (Environmental Systems Research Institute, 2024).

**Análisis del Relieve:** Comprende el estudio de la morfología del terreno mediante Modelos Digitales de Elevación (MDE), permitiendo identificar patrones topográficos, pendientes complejas y características geomorfológicas. Este análisis es fundamental para la planificación territorial, estudios de erosión y evaluación de capacidad de carga del territorio (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).

**Delimitación de Cuencas Hidrográficas (morfometría):** Constituye el proceso de identificación y delineación de áreas de drenaje sobre un territorio. A partir de un DEM, se aplica secuencialmente: relleno de depresiones (Fill), cálculo de dirección de flujo (Flow Direction), acumulación de flujo (Flow Accumulation), definición de corrientes (Stream Definition) y delineación de cuencas (Watershed). Esta

delimitación es esencial para estudios de recursos hídricos, análisis de escorrentía y planificación de infraestructura hidráulica (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2019).

**Modelamiento Geográfico:** Representa la formalización de relaciones espaciales complejas mediante representaciones lógicas que pueden ser operacionalizadas en un SIG. Los modelos son reutilizables, paramétricos y permiten aplicar metodologías estandarizadas en diferentes contextos territoriales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

## 2.2. MARCO LEGAL

El proyecto se enmarca en la normativa ambiental y territorial colombiana vigente, tanto a nivel nacional como regional y local (Congreso de la República de Colombia, 1997).

### Normativa Nacional

**Ley 99 de 1993:** Crea el Ministerio de Ambiente y estructura el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Establece los principios fundamentales para la gestión ambiental, incluyendo la evaluación y control preventivo de efectos de deterioro ambiental derivados de actividades y proyectos de desarrollo (Ministerio del Medio Ambiente, 1993).

**Ley 388 de 1997:** Regula el ordenamiento territorial municipal. Exige a los municipios la formulación de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) como instrumentos de planificación que definen el uso del suelo y la ocupación del territorio. Requiere la conformación de expedientes urbanos con información

georreferenciada que sustenten los diagnósticos territoriales (Congreso de la República de Colombia, 1997).

**Decreto 1729 de 2002:** Reglamenta la elaboración de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA). Establece que cada autoridad ambiental competente debe clasificar y priorizar cuencas en su jurisdicción y formular los planes correspondientes. Define el POMCA como el instrumento de planificación para el uso sostenible de recursos hídricos (Presidencia de la República de Colombia, 2002).

**Decreto 1640 de 2012:** Reglamentación actualizada para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos. Especifica que la zonificación hidrográfica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) constituye la base para la delimitación de cuencas a nivel nacional. Define competencias de autoridades ambientales en evaluaciones regionales del agua y establece lineamientos para programas nacionales de monitoreo del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

**Decreto 3573 de 2011:** Crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). En su artículo 14, numeral 8, ordena el diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta para administrar información geográfica de proyectos, obras y actividades sujetos a licenciamiento ambiental (Presidencia de la República de Colombia, 2011).

**Decreto 1311 de 2016:** Adopta como datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (MAGNA-SIRGAS). Todos los productos

cartográficos y georreferenciados generados deben emplear este datum para garantizar coherencia en la información espacial nacional (Ministerio del Interior, 2016).

**Resolución 1415 de 2012:** Establece lineamientos para la entrega de información geográfica a la ANLA mediante el Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG). Especifica formatos, estándares y requerimientos técnicos para la presentación de datos espaciales en procesos de licenciamiento ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### **Normativa Regional y Local**

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), como autoridad ambiental competente en la jurisdicción del municipio El Playón, es responsable de clasificar y priorizar cuencas, formular Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, evaluar y hacer seguimiento de impactos ambientales, y coordinar estudios hidrológicos y territoriales en la zona de la cuenca río Lebrija (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2012).

El municipio de El Playón debe incorporar en su Planes de Ordenamiento Territorial los resultados del análisis territorial, estableciendo directrices para el ordenamiento de la cuenca hidrográfica local y criterios de uso sostenible del territorio conforme a disposiciones de la Ley 388 de 1997 (Congreso de la República de Colombia, 1997).

## 2.3. MARCO AMBIENTAL

El análisis territorial del municipio El Playón requiere consideración de sus características ambientales y servicios ecosistémicos, en concordancia con disposiciones del sistema nacional ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### Descripción Ambiental

El municipio de El Playón se localiza en la región andina del departamento de Santander, caracterizado por topografía compleja con laderas de pendientes variables que conforman la cuenca del río Lebrija. El territorio integra ecosistemas de bosques húmedos tropicales, que proporcionan servicios ecosistémicos críticos incluyendo regulación hídrica, control de erosión y conservación de biodiversidad (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).

### Recursos Naturales Afectados

**Recurso Hídrico:** La cuenca del río Lebrija constituye el sistema principal de drenaje, cuyas características morfométricas (pendientes, tiempos de concentración, áreas de contribución) determinan el comportamiento hidrológico. El análisis automatizado del relieve permite caracterizar la vulnerabilidad de los sistemas de drenaje frente a eventos extremos y determinar capacidades de recarga de acuíferos (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2019).

**Recurso Suelo:** Los suelos presentes en la cuenca presentan susceptibilidad variable a procesos erosivos según pendientes, coberturas vegetales y propiedades edáficas. La caracterización automatizada mediante análisis morfométrico permite identificar zonas de riesgo erosivo y estimar tasas potenciales de pérdida de suelo,

conforme a metodologías como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016).

**Cobertura Vegetal y Ecosistemas:** Las formaciones boscosas juegan papel crítico en estabilización de laderas y mantenimiento de balance hídrico. El análisis integrado de relieve y cobertura vegetal contribuye a identificar áreas prioritarias para conservación y restauración ecológica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### **Impactos Potenciales del Proyecto**

El proyecto de investigación en sí constituye una actividad de bajo impacto ambiental, clasificable como estudio y monitoreo ambiental sin generación de residuos significativos. Sin embargo, los resultados generados contribuyen a optimización de gestión de recursos y mejora de información ambiental mediante cartografía precisa de cuencas, pendientes y análisis del relieve que alimentan la toma de decisiones ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### **Consideraciones Ambientales en la Implementación**

Los datos geoespaciales utilizados provienen de fuentes públicas institucionales, sin requerimiento de capturas o generación de datos de campo invasivos. El procesamiento se realiza mediante licencias educativas o software libre (QGIS), minimizando dependencias comerciales. Los modelos desarrollados pueden replicarse en diferentes contextos territoriales, maximizando eficiencia de recursos conforme a directrices de gestión ambiental sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

## 2.4. MARCO HISTÓRICO

La evolución del análisis territorial en Colombia ha transitado desde metodologías convencionales hacia la sistematización mediante Sistemas de Información Geográfica (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2012).

### Antecedentes en Colombia

Período Preliminar (1990-2000): El ordenamiento territorial en Colombia se formalizó con la Constitución de 1991 y la Ley 388 de 1997, requiriendo que municipios desarrollaran POT. Durante este período, los análisis de cuencas se realizaban mediante métodos tradicionales, con levantamientos de campo extensos e interpretación de cartografía analógica (Congreso de la República de Colombia, 1997).

Período de Transición (2000-2010): Con la adopción de SIG en instituciones ambientales colombianas, emergieron los primeros ejercicios de automatización. Investigadores en universidades de Colombia comenzaron a implementar herramientas de automatización para delimitación de cuencas y análisis morfométricos. El Decreto 1729 de 2002 estableció POMCA como instrumentos obligatorios, generando demanda por metodologías eficientes de análisis de cuencas (Presidencia de la República de Colombia, 2002).

Período de Consolidación (2010-2020): La implementación de Decreto 1640 de 2012 sobre ordenación de cuencas y acuíferos aceleró la adopción de herramientas de automatización. Se desarrollaron aplicaciones para cálculo de erosión, vulnerabilidad territorial y capacidad de carga, principalmente en contextos de

cuencas del territorio nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Período Actual (2020 en Adelante): La integración de programación avanzada mediante lenguajes de scripting en plataformas SIG ha permitido niveles superiores de automatización. La creciente adopción de QGIS ha democratizado el acceso a herramientas de automatización territorial (Environmental Systems Research Institute, 2024).

### **Contexto Específico en Santander**

En Santander, los estudios territoriales han sido impulsados por la relevancia de cuencas como río Magdalena (estratégico nacional) y río Lebrija (importante regional). La CDMB ha formulado POMCA en cuencas prioritarias, aunque enfrentando limitaciones en capacidad técnica para implementar metodologías avanzadas de análisis. El proyecto responde a esta necesidad regional de fortalecer capacidades en automatización territorial (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2012).

## **2.5. MARCO TEÓRICO**

El proyecto se sustenta en teorías y enfoques científicos del análisis territorial y geomorfología aplicada (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).

### **Fundamentos Teóricos de Análisis de Relieve**

**Teoría Geomorfológica:** El relieve terrestre resulta de la interacción entre procesos endógenos (tectónica, vulcanismo) y exógenos (erosión, sedimentación, meteorización). Los Modelos Digitales de Elevación permiten cuantificar la

respuesta del terreno a estos procesos, identificando geoformas características. Parámetros como pendiente, curvatura y aspectos derivados del MDE constituyen variables proxy para procesos geomorfológicos activos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).

**Teoría Hidrológica de Cuencas:** Una cuenca hidrográfica constituye una unidad funcional de drenaje donde el terreno canaliza escorrentía hacia un punto de desagüe común. El análisis de dirección y acumulación de flujo, basado en altimetría, determina la estructura de la red de drenaje. Los atributos de una cuenca controlan la respuesta hidrológica frente a precipitación (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2019).

**Teoría de Erosión de Suelos:** La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y su versión modificada (MUSLE) integran factores topográficos, pedológicos, climáticos y de uso del suelo para estimar tasas de erosión. La longitud de pendiente y el ángulo de inclinación constituyen componentes críticos del factor topográfico (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016).

### **Fundamentos Teóricos de Sistemas de Información Geográfica**

**Teoría de Abstracción Espacial:** Los SIG operan mediante representaciones discretas del continuo espacial, mediante modelos ráster (celdas) y vectoriales (puntos, líneas, polígonos). Cada modelo presenta ventajas en diferentes tipos de análisis; el flujo de trabajo automatizado integra ambos para optimizar eficiencia computacional (Environmental Systems Research Institute, 2024).

**Teoría de Geoprocesamiento:** El geoprocesamiento constituye la aplicación de operaciones matemáticas y lógicas a datos geoespaciales. Las operaciones pueden

organizarse en flujos de trabajo que ejecutan secuencialmente, permitiendo la formalización de metodologías complejas en modelos reutilizables y paramétricos (Environmental Systems Research Institute, 2024).

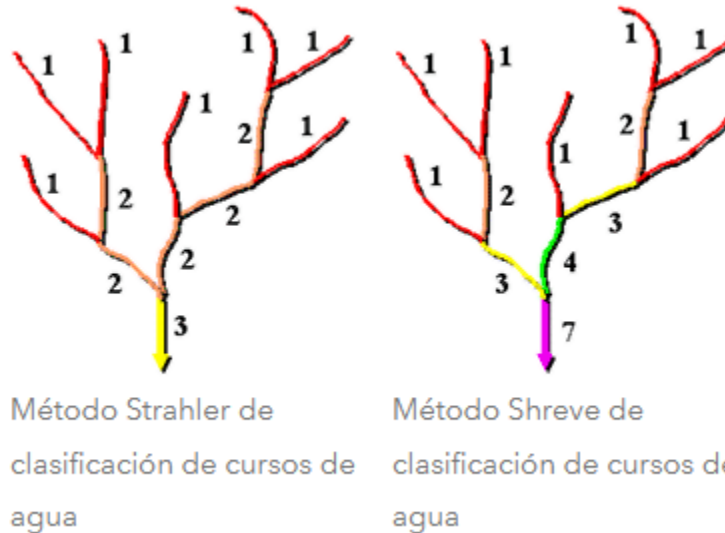
**Modelamiento Geográfico:** La conceptualización de procesos territoriales en modelos formales permite su operacionalización en SIG. Los modelos pueden clasificarse según nivel de complejidad: modelos descriptivos, predictivos y de decisión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### **Fundamento Teórico Clasificación de Drenajes**

**Método Strahler:** El método de Strahler clasifica los cursos de agua asignando orden 1 a aquellos que no tienen afluentes, y el orden aumenta únicamente cuando se unen dos corrientes del mismo orden; por ejemplo, la confluencia de dos corrientes de primer orden genera una de segundo orden, y así sucesivamente. Cuando se interceptan corrientes de diferente orden, el tramo resultante conserva el orden más alto y no se incrementa. Es el método de jerarquización de redes de drenaje más utilizado, aunque puede ser sensible a cambios en la red y no considera todos los enlaces en el aumento del orden.

**Método Shreve:** El método de Shreve asigna magnitud 1 a todos los enlaces exteriores de la red y, a diferencia del método Strahler, en los enlaces interiores los valores son aditivos; es decir, cuando se unen dos corrientes, sus magnitudes se suman (por ejemplo,  $1+1=2$ ;  $1+2=3$ ;  $2+3=5$ ). Por esta razón, en lugar de hablar de órdenes se habla de magnitudes, ya que la magnitud de un tramo representa el número total de enlaces que existen aguas arriba. (ESRI, s.f.)

Ilustración 1 Clasificación de Cursos de agua Strahler y Shreve



Fuente: ArcGis.com <https://shre.ink/A5f0>

**Patrones de Drenajes:** 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 fundamental tener en cuenta el relieve, la distribución de la vegetación y las condiciones estructurales de la zona. (Garagoa, 2016)

**Patrones Erosionales:** Se desarrollan en zonas donde predomina la erosión y el control estructural del terreno.

- **Dendrítico:** Se trata del patrón más común, caracterizado por una ramificación en forma de árbol, donde los afluentes se incorporan al cauce principal formando ángulos agudos. Este tipo de drenaje se desarrolla en suelos homogéneos, de permeabilidad moderada, con pendientes suaves y

sin condicionamientos estructurales. Es frecuente en áreas compuestas por rocas sedimentarias blandas, depósitos aluviales finos, tobas volcánicas y acumulaciones de till glacial. (Garagoa, 2016)

- **Pinado:** Corresponde a un drenaje dendrítico modificado, caracterizado por la presencia de numerosos tributarios cortos y muy próximos entre sí, lo que refleja un alto contenido de limo en el suelo. Se desarrolla en áreas planas o casi planas, con materiales extremadamente homogéneos, friables y de textura fina, de origen eólico o aluvial. Es típico en depósitos como el loess (roca sedimentaria suelta de partículas muy finas), la ceniza volcánica y el till glacial. Al igual que el patrón dendrítico clásico, no presenta controles estructurales. (Garagoa, 2016)
- **Paralelo:** El drenaje paralelo se caracteriza por corrientes principales regularmente espaciadas y dispuestas de manera casi paralela, con afluentes que se incorporan formando ángulos agudos. En este patrón predominan las corrientes paralelas de inmersión. Se desarrolla en regiones donde los estratos presentan una resistencia uniforme y la pendiente regional es marcada, o bien en áreas sometidas a un fuerte control estructural, ejercido por sistemas de fallas geológicas, monoclíneas o isoclíneas estrechamente espaciadas. (Garagoa, 2016)
- **Rectangular:** Es una variante del drenaje dendrítico, en la que los tributarios suelen unirse a las corrientes principales formando ángulos cercanos a los rectos. Este patrón refleja un control estructural marcado por diaclasas, foliaciones y fracturas en las rocas. Cuanto más definido es el trazado rectangular, más delgada resulta la cubierta del suelo. Se desarrolla comúnmente sobre pizarras metamórficas, esquistos y gneis (roca metamórfica compuesta por cuarzo, feldespato y mica). También puede

presentarse en areniscas resistentes bajo climas áridos, o en areniscas con escasa cobertura de suelo en ambientes húmedos. (Garagoa, 2016)

**Patrones deposicionales:** Son aquellos que se forman en ambientes donde predominan los procesos de **sedimentación** más que los de erosión. A diferencia de los patrones erosivos, los deposicionales se desarrollan en superficies planas o de muy baja pendiente, donde los ríos pierden energía y comienzan a distribuir los sedimentos en distintas direcciones.

- **Reticular:** El Patrón Reticular semeja un tejido de canales, corrientes entrelazadas, pantanos y ciénagas, que se encuentran sobre planicies costeras jóvenes y muy planas. Durante las mareas altas, el agua del mar penetra en los canales y pantanos; asimismo, con marea baja, los ríos corren aguas abajo. (Sartori, 2015)
- **Dicotómico:** El Patrón Dicotómico o Distributivo aparece en los abanicos aluviales y en los deltas. Se caracteriza por presentar varios canales divergentes que corren desde ápice de los abanicos sobre la superficie de la unidad. Algunos ramales pueden tener un final desconocido debido a que el agua se filtra dentro del material grueso de los abanicos. (Sartori, 2015)

**Patrones de Corrientes Individuales:** Se refieren a la forma que adoptan los cauces de un río o arroyo considerado de manera aislada, sin analizar toda la red de drenaje. Se centran en la geometría y disposición de la corriente principal y sus tributarios inmediatos.

- **Drenaje Recto:** Son tramos del cauce que discurren en línea casi recta y que pueden estar asociados con problemas de fallas que lo están controlando. Este tipo de canales no son frecuentes en la naturaleza. También se presenta este tipo de cauces en ríos canalizados y, en este caso, no hay relación entre

el cauce y algún fenómeno geológico. Los ríos que corren por llanuras aluviales rara vez son rectos, y ello implica que su curso normalmente es irregular, sinuoso o meándrico.

- **Drenaje Meándrico:** Éste es el caso en el cual un río posee una extensión apreciable como llanura de inundación, allí se generan curvas pronunciadas conocidas como meandros. Para que se genere un comportamiento de este tipo es necesario que el caudal involucrado sea importante, de cantidad apreciable.
- **Drenaje Entrelazado:** Se caracteriza por presentar múltiples canales que se dividen y se vuelven a unir formando un patrón entrelazado, separados por barras o islas de sedimentos. Este tipo de drenaje se desarrolla en ríos con alta carga sedimentaria, pendientes relativamente fuertes y caudales variables. Es común en zonas montañosas, glaciares o en abanicos aluviales, donde la capacidad de transporte disminuye y se produce la deposición de materiales gruesos dentro del cauce, generando constantes cambios en la configuración de los canales.

(Sartori, 2015)

## 2.6. MARCO TECNOLÓGICO

El proyecto implementa tecnologías de vanguardia en análisis territorial y programación (Environmental Systems Research Institute, 2024).

### Herramientas Software

**QGIS con Processing Framework:** Suite de software libre que proporciona capacidades equivalentes mediante plugins. Acceso a herramientas GRASS, GDAL/OGR y SAGA, ampliando catálogo disponible. Ventajas incluyen licencia

abierta, sin restricciones de uso académico, y acceso a código fuente (QGIS Development Team, 2024).

**ArcGeek Calculator:** Es un plugin de QGIS que integra un amplio conjunto de utilidades para realizar cálculos y conversiones de coordenadas, ejecutar operaciones espaciales, desarrollar análisis de cuencas y uso del suelo, modelar inundaciones, trabajar con integración CAD 3D, generar perfiles topográficos, aplicar algoritmos de clasificación mediante aprendizaje automático, optimizar rutas y apoyar la planificación forestal directamente dentro de QGIS (Pucha, 2024).

**Google Earth Engine (GEE):** Es una plataforma en la nube de Google para procesar grandes volúmenes de datos geoespaciales mediante programación en JavaScript o Python, ideal para análisis avanzados de relieve sin descargas locales (Google Earth Engine, 2010).

**Lenguajes de Programación:** Python permite integración de lógica programada en flujos de trabajo SIG, habilitando operaciones complejas no disponibles en interfaces estándar. Scripting avanzado en Python optimiza cálculos morfométricos según metodologías estandarizadas (Environmental Systems Research Institute, 2024).

- Datos Geoespaciales
- Modelos Digitales de Elevación: Productos como SRTM 30m, ALOS DEM, o capas disponibles del IDEAM e IGAC constituyen insumo primario. Resolución espacial de 30m adecuada para análisis de cuencas a escala 1:25,000-1:50,000 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).
- Cartografía Temática: Capas de cobertura vegetal, solos, red de drenaje oficial y límites administrativos proporcionan contexto para análisis integrado, disponibles en repositorios nacionales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020).

- **Sistemas de Referencia:** Toda información se proyecta a MAGNA-SIRGAS, datum oficial colombiano conforme a Decreto 1311 de 2016, garantizando interoperabilidad con información de entidades ambientales (Ministerio del Interior, 2016).

## 2.7. MARCO INSTITUCIONAL

El proyecto se desarrolla en contexto institucional que establece responsabilidades y articulaciones (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2012).

### Entidades Responsables

**Unidades Tecnológicas de Santander (UTS):** Institución educativa responsable de formación técnica en Ingeniería en Topografía. Provee infraestructura académica, laboratorios SIG y supervisión académica mediante director y grupo de investigación GRIMAT.

**Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB):** Autoridad ambiental competente en jurisdicción del municipio El Playón, responsable de gestión ambiental, ordenación de cuencas, y potencial usuario de resultados para formulación de instrumentos de planificación (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2012).

**Alcaldía Municipal de El Playón:** Entidad territorial encargada de planificación local, responsable de incorporar resultados del análisis en POT e instrumentos de planificación municipal conforme a Ley 388 de 1997.

Articulación Interinstitucional

El proyecto se articula con iniciativas regionales y nacionales:

**IDEAM:** Instituto rector en hidrología, meteorología y zonificación hidrográfica nacional (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2019)

**IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi, responsable de información cartográfica base y datum oficial (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2020)

Ministerio de Ambiente: Define políticas ambientales y de gestión de recursos naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

ANLA: Autoridad de licenciamiento ambiental que requiere información georreferenciada estandarizada (Presidencia de la República de Colombia, 2011)

### **Aplicabilidad de Resultados**

Los modelos y metodologías desarrollados se diseñan como herramientas replicables aplicables a otras cuencas en jurisdicción CDMB, contextos geográficos similares en Santander y regiones Andinas de Colombia, futuras actualizaciones de POMCA e instrumentos de ordenamiento territorial, y análisis de vulnerabilidad territorial y riesgos por erosión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de Investigación

El proyecto se clasifica como una investigación de tipo Exploratoria y Descriptiva, dado que su alcance inicial busca explorar las capacidades y límites de la programación avanzada y las herramientas de automatización en el entorno SIG para el análisis territorial. Es Descriptiva porque el propósito central es caracterizar las propiedades físicas fundamentales (relieve e hidrografía) del municipio El Playón. Además, posee una marcada orientación Aplicada y Tecnológica, pues su resultado final es la implementación de un software funcional (modelos y scripts) que sirve como un instrumento práctico para agilizar y optimizar los análisis geoespaciales futuros en la zona hidrográfica del río Lebrija.

#### 3.2. Enfoque de la Investigación

La investigación adopta un enfoque predominantemente Cuantitativo y Geoespacial debido a la naturaleza de las variables y el método de análisis:

- **Cuantitativo:** El enfoque se basa en la medición objetiva y el modelado de variables físicas (altitud, pendiente, densidad y clasificación de drenajes). Se utilizan datos geoespaciales de alta precisión (DEM) y herramientas de programación y software SIG para el análisis estadístico y la generación de modelos numéricos del territorio.
- **Geoespacial:** Todo el proceso, desde la adquisición del DEM hasta la generación de los mapas temáticos finales, se realiza bajo la lógica de los Sistemas de Información Geográfica, siendo esta la herramienta analítica fundamental.

### 3.3. Método de Investigación

El método empleado es el Analítico-Sintético, apoyado en el Método Geoespacial y la Automatización:

- Analítico: Se descompone el análisis territorial en sus componentes esenciales: relieve e hidrografía. Cada componente es analizado individualmente y modelado mediante scripts específicos para obtener sus parámetros derivados (índices de relieve, orden de cuencas, clasificación de cursos de agua).
- Sintético: Los modelos individuales (relieve e Hidrografía) son integrados y superpuestos mediante el SIG para generar el Modelo Hidrográfico Automatizado y el diagnóstico territorial integral del municipio de El Playón.

### 3.4. Técnicas e Instrumentos

Las técnicas e instrumentos se centran en la recopilación de datos digitales y en las herramientas de programación avanzada:

- a) Recolección de Información Geoespacial Secundaria
  - Finalidad: Obtener los insumos cartográficos oficiales y bases de datos para la modelación (MDE, datos edáficos, usos del suelo).
  - Técnicas: Búsqueda y descarga de información en plataformas de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Colombia y entidades como el IGAC o el IDEAM.
  - Instrumentos: Internet, bases de datos geográficas, portales oficiales.
- b) Análisis de Información Geográfica y Programación Avanzada

- Finalidad: Procesar, transformar y automatizar el análisis del relieve e hidrografía.

Instrumentos:

- Software SIG: QGIS y GEE
- Lenguajes y Librerías de Programación: Python, PyQGIS, GDAL, JAVA
- Herramientas de Automatización: ArcGeek Calculator, Scripting en línea de comandos.

Productos:

- Scripts de Automatización y Modelos Digitales (funcionales y documentados).
- Cartografía Temática Avanzada (Mapas de pendientes detallados, densidad de drenaje).

c) Validación y Verificación del Modelo

- Finalidad: Confirmar la precisión geométrica y la validez técnica de los modelos y los resultados cartográficos generados automáticamente.
- Técnicas: Comparación de los resultados del modelo con cartografía oficial preexistente o datos de puntos de control de campo (si son necesarios para la verificación).

## **FASE 1: Preparación y Adquisición de Datos**

Objetivo: Establecer el marco teórico y contextual, y obtener, validar y preparar todos los insumos geoespaciales y cartográficos necesarios para la modelación.

Actividades Principales:

- **Revisión y Diagnóstico:** Investigación de metodologías avanzadas en SIG y el análisis de relieve. Se realiza el diagnóstico inicial de las características físicas de la zona de estudio.
- **Descargue de Información:** Adquisición del Modelo Digital de Elevación (DEM) y de datos complementarios, como información edáfica (suelos).
- **Procesamiento de Datos y Cartografía Preliminar:** Verificación de la calidad de los datos y corrección topológica del DEM. Se elabora la cartografía temática preliminar para el análisis detallado.

## **FASE 2: Modelamiento Geoespacial Automatizado**

Objetivo: Implementar la programación avanzada para generar modelos digitales de relieve e hidrografía (morfometría de la cuenca), integrando los componentes en un modelo final y validado del área de estudio.

Actividades Principales:

- **Desarrollo de Scripts y Programación Avanzada:** Codificación y prueba de las rutinas de automatización (Python) para la generación de modelos de geo morfometría y la delimitación de la red de drenaje.
- **Ejecución e Integración de Modelos:** Aplicación de los scripts automatizados sobre toda la zona hidrográfica del río Lebrija para obtener el Modelo Integrado Final.

- Validación: Se valida la precisión y confiabilidad de los resultados del modelo automatizado comparándolos con referencias cartográficas.

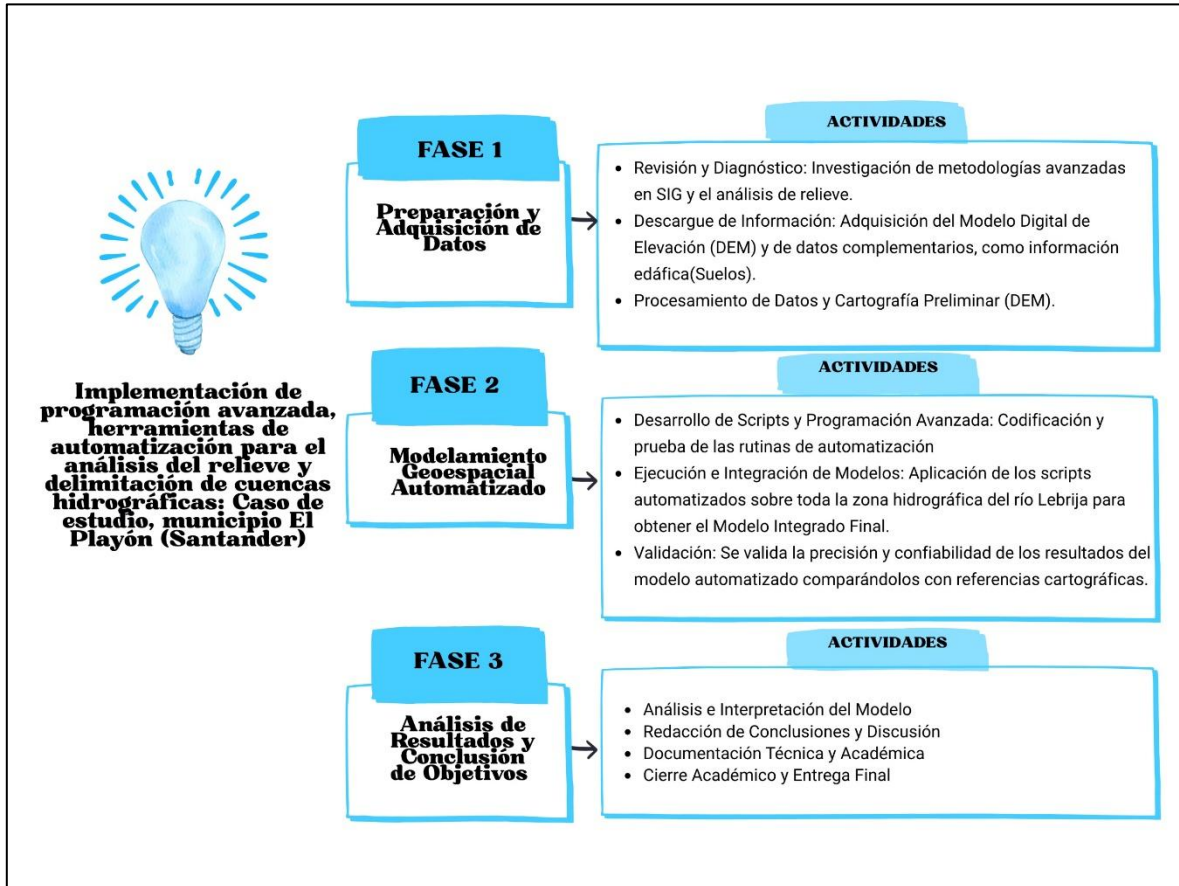
### **FASE 3: Análisis de Resultados y Conclusión de Objetivos**

Objetivo: Interpretar el Modelo Integrado obtenido, generar el informe de resultados detallado y verificar la conclusión de cada objetivo específico del proyecto de investigación.

Actividades Principales:

- Análisis e Interpretación del Modelo: Se interpreta la información final del modelo integrado, extrayendo las conclusiones sobre el análisis del relieve y delimitación de cuencas así cómo, la efectividad del método de automatización aplicado.
- Redacción de Conclusiones y Discusión: Se redacta la sección de discusión del trabajo de grado, demostrando el cumplimiento de los objetivos a través de los modelos automatizados.
- Documentación Técnica y Académica: Se elabora el informe final del proyecto y la documentación técnica de los scripts de programación avanzada.
- Cierre Académico y Entrega Final: Preparación de la presentación, sustentación del trabajo de grado, incorporación de correcciones y entrega oficial del documento final a la universidad.

Figura 1 Diagrama de Flujo



Fuente: Autor

#### 4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Este proyecto se ejecutó mediante un proceso estructurado en fases y etapas específicas, para consolidar una base de conocimiento mediante la recolección y organización de datos geoespaciales disponibles. Estas fases garantizaron claridad en objetivos, coordinación entre participantes y control eficiente de actividades. Se aplicó una metodología exploratoria y descriptiva de enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), orientada a integrar análisis técnico y geoespacial para optimizar el análisis del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas en El Playón (Santander).

El proyecto se realizó siguiendo una estructura compuesta por tres fases.

1. Preparación y adquisición de datos
2. Modelamiento Geoespacial Automatizado
3. Análisis de Resultados y Conclusión de Objetivos

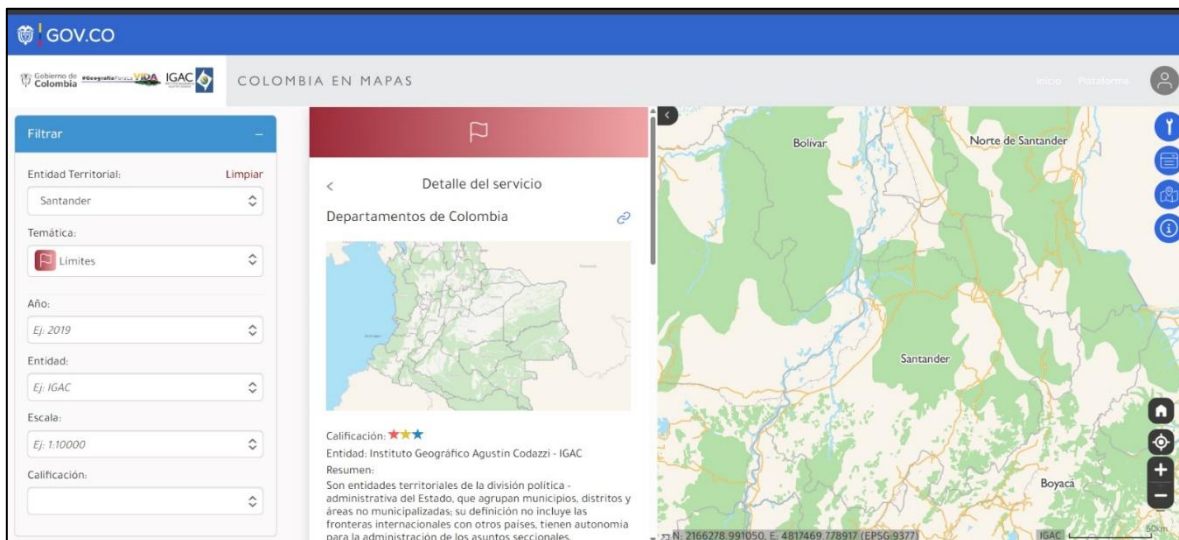
A continuación, se detallan los insumos, las herramientas cartográficas y las etapas de desarrollo del proyecto, elementos que hicieron posible alcanzar los objetivos propuestos.

#### 4.1. Preparación y Adquisición de Datos

En esta fase se examinaron estudios a nivel internacional, nacional y local provenientes de Hungría, Indonesia, España, Rusia, Alemania, Irak, Perú, Brasil, Colombia, también se adquirió la cartografía base para el desarrollo del proyecto.

En el geoportal Colombia en mapas se extrajo el shapefile de departamentos en el cual se localiza el departamento de Santander y posteriormente ubicar la zona de estudio.

Ilustración 2 Departamentos de Colombia



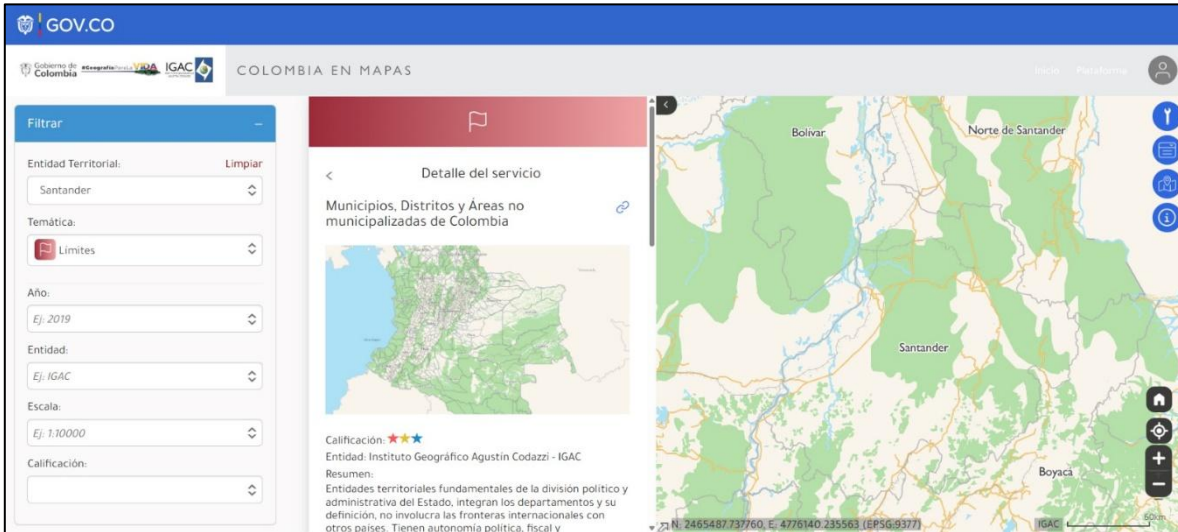
*Fuente: Colombia en Mapas.*

<https://www.colombiaenmapas.gov.co>

Seguidamente, se adquirió el shapefile con la delimitación de municipios, distritos y zonas no municipalizadas, dentro de las cuales se localiza el municipio de El Playón en Santander.

se realizó la descarga de imágenes satelitales de tipo Alos Palsar con el propósito de obtener el modelo digital de elevación (DEM) del municipio El Playón.

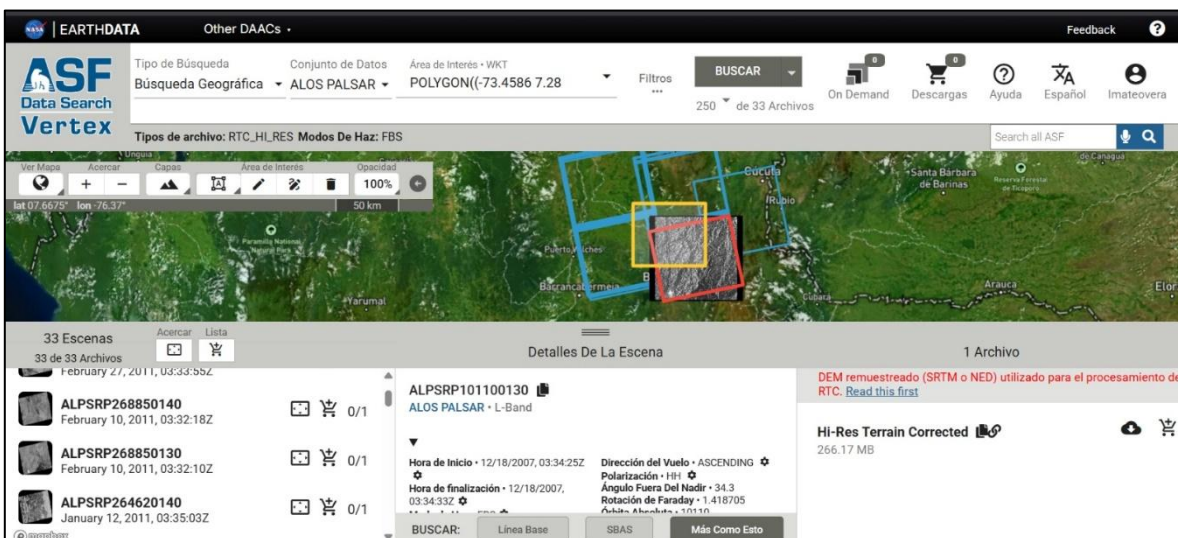
Ilustración 3 Municipios, Distritos y Áreas no municipalizadas de Colombia



Fuente: Colombia en Mapas.

<https://www.colombiaenmapas.gov.co>

Ilustración 4 Alos Palsar



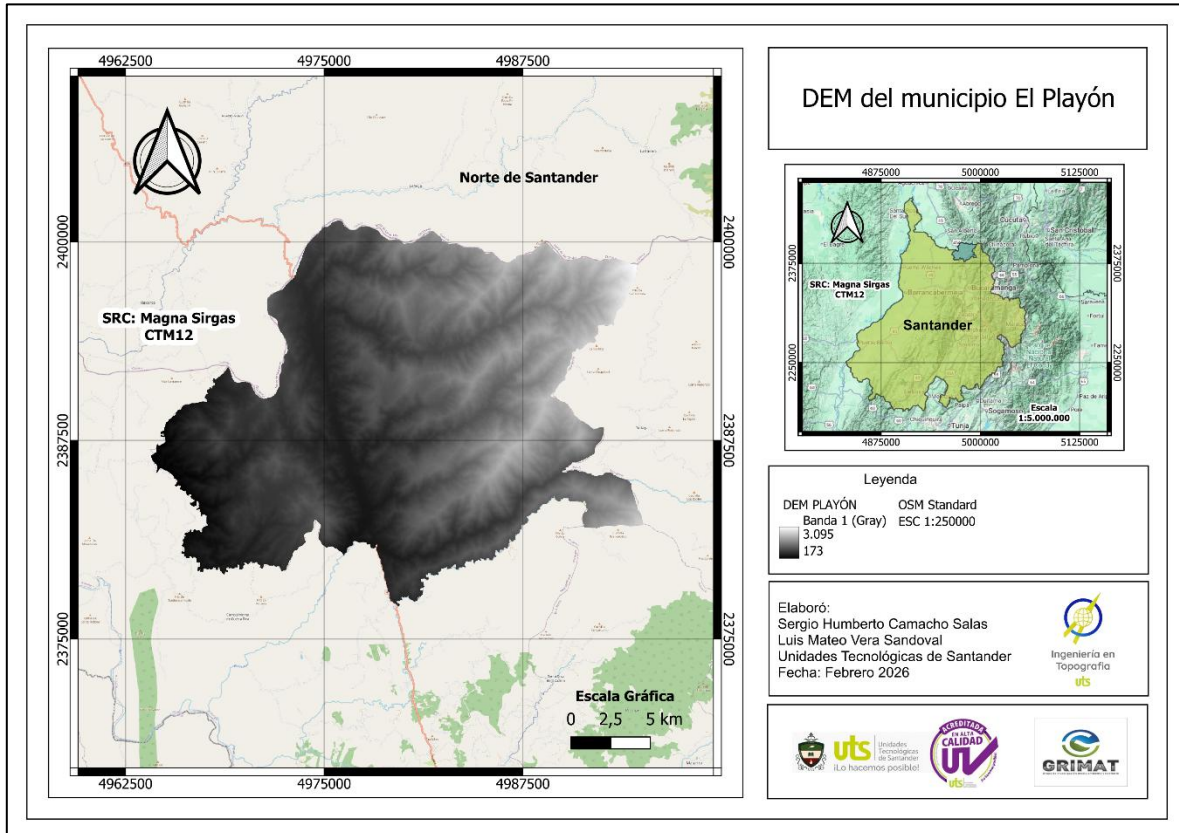
Fuente: <https://search.asf.alaska.edu/>

ELABORADO POR:  
Docencia

REVISADO POR:  
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión  
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Ilustración 5 DEM municipio El Playón



*Fuente: Autor*

A partir de la descarga de imágenes satelitales ALOS PALSAR (resolución ~12.5 m), se realizó el procesamiento de las imágenes y recorte vectorial al polígono municipal de El Playón. El DEM resultante confirma relieve montañoso oriental, con valles aluviales y cabeceras escarpadas.

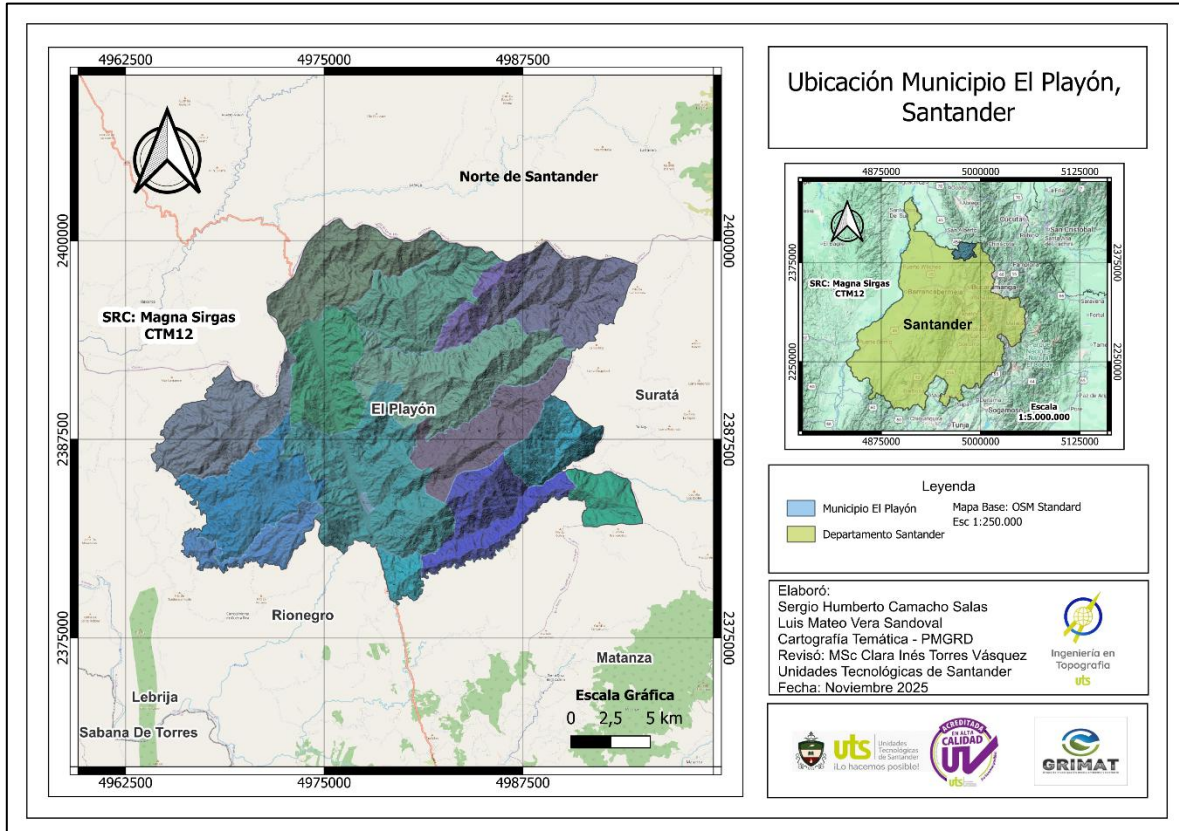
**ELABORADO POR:**  
Docencia

**REVISADO POR:**  
Sistema Integrado de Gestión

**APROBADO POR:** Líder del Sistema Integrado de Gestión  
**FECHA APROBACIÓN:** Octubre de 2023

#### 4.1.1. Características físicas del municipio El Playón, Santander

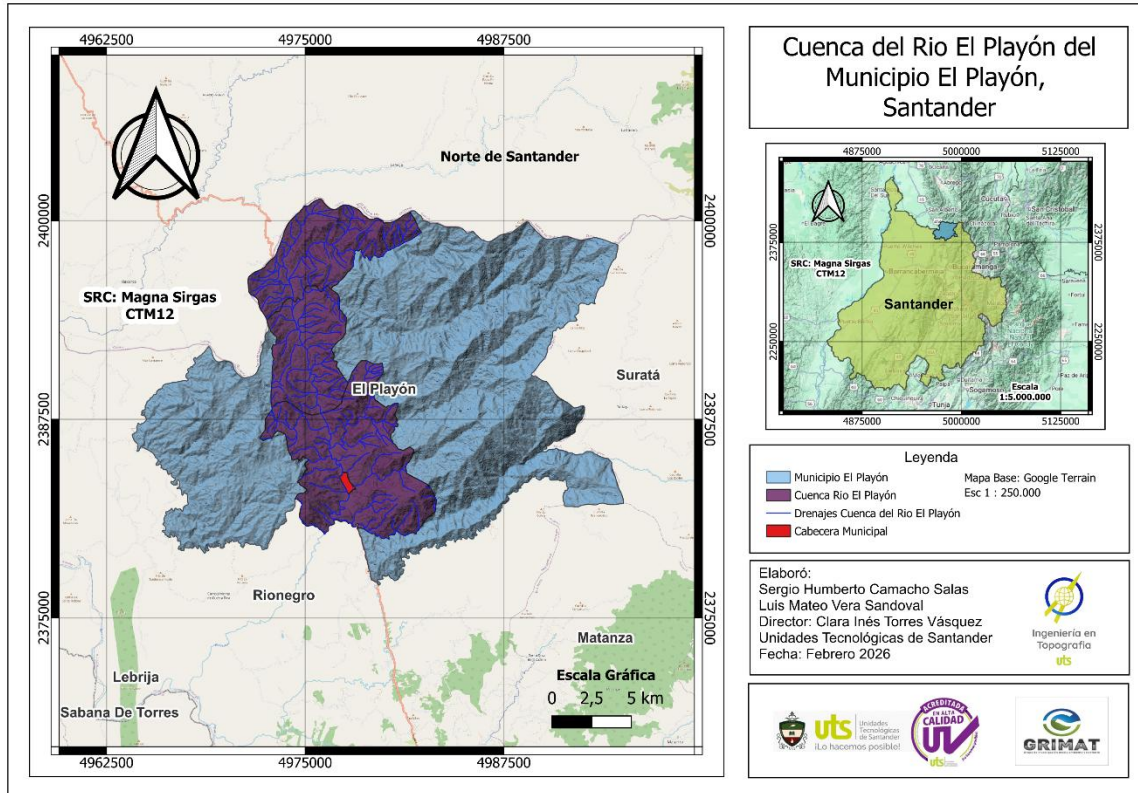
Ilustración 6 Mapa de Ubicación El Playón, Santander



*Fuente: Autor*

El municipio de El Playón está ubicado a los 7°28'15" de latitud norte, y a los 73°12' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, al norte de la provincia de Soto en el Departamento de Santander con una altura aproximada que varía entre 170 a 3100 m. s. n. m. limita hacia el norte con el Municipio de Cáchira (Norte de Santander), hacia el este con el Municipio de Surata, hacia el sur con el Municipio de Rionegro y hacia el oeste con los municipios de Rionegro y Cachira. (CDMB, 2015)

Ilustración 7 Cuenca Rio El Playón



*Fuente: Autor*

La cuenca del río Playón en El Playón, Santander, delimita una subcuenca hidrográfica de 28.605 ha en tonos azules intensos, integrando microcuencas como La Naranjera, La Negraña, Cachirí y Silgará, que confluyen en el Playonero hacia la cuenca mayor del Cachirí del Sur (Lebrija), con altitudes de 145-2790 msnm y media de 1049 msnm.

Esta cuenca presenta cabeceras montañosas con pendientes fuertes (>25%) propensas a escorrentía rápida y sedimentación, y valles medios-bajos con terrazas aluviales vulnerables a inundaciones (caudales pico de 303 m<sup>3</sup>/s en retorno 500 años). Según la CDMB, existen amenazas altas por avenidas torrenciales en

quebradas como La Sardina, afectando áreas urbanas como Barrio Nuevo y La Pedrera, agravadas por precipitaciones de 1041-2000 mm/año y la Falla de Bucaramanga.

Ilustración 8 Esri Land Cover



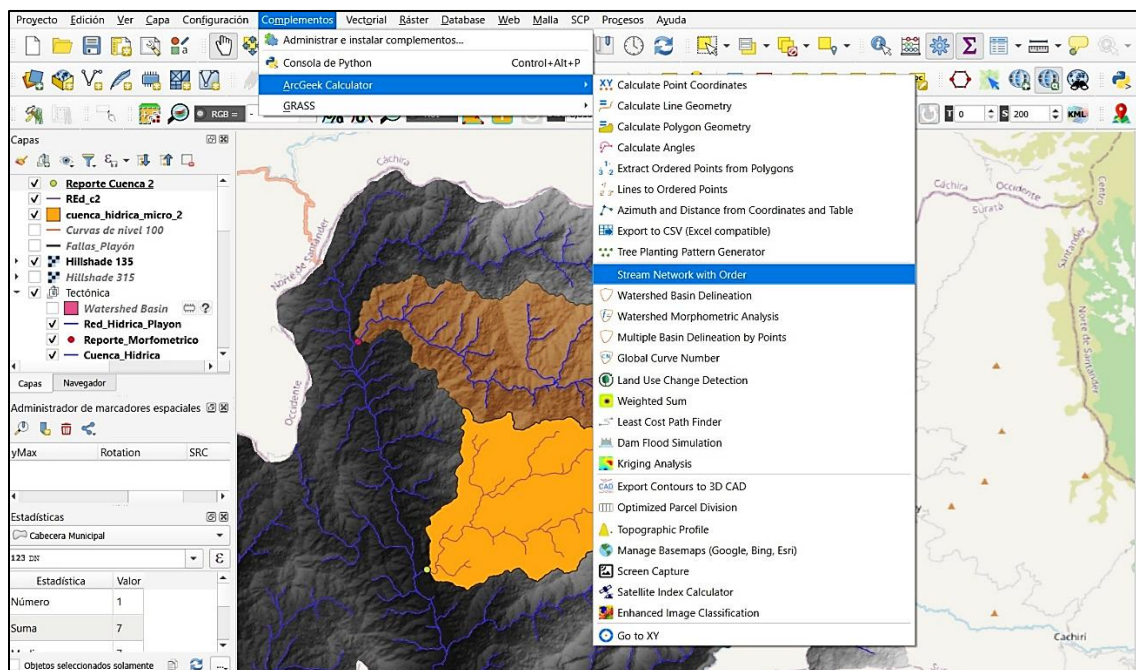
Fuente: Esri Land Cover <https://n9.cl/ahif3>

A partir de la información obtenida de Esri Land Cover, podemos observar que hay predominio de coberturas naturales, principalmente vegetación, asociadas a zonas de pendiente media y alta. Las áreas de pastizales y cultivos se distribuyen de forma dispersa en sectores con pendientes más suaves, mientras que la cobertura construida es reducida y se concentra en la cabecera municipal. La red hídrica es densa y bien definida, resaltando la importancia de las coberturas vegetales en la protección de microcuencas y del suelo.

## 4.2. Modelamiento Geoespacial Automatizado

Esta fase comprendió la implementación de herramientas de automatización en entornos SIG orientadas al procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM) y la generación de variables morfométricas del relieve necesarias para el análisis del relieve en el municipio El Playón (Santander). Esta etapa permitió estructurar un flujo metodológico reproducible mediante la integración de complementos especializados de QGIS, programación en PyQGIS y procesamiento en la plataforma Google Earth Engine.

Ilustración 9 Herramienta ArcGeek

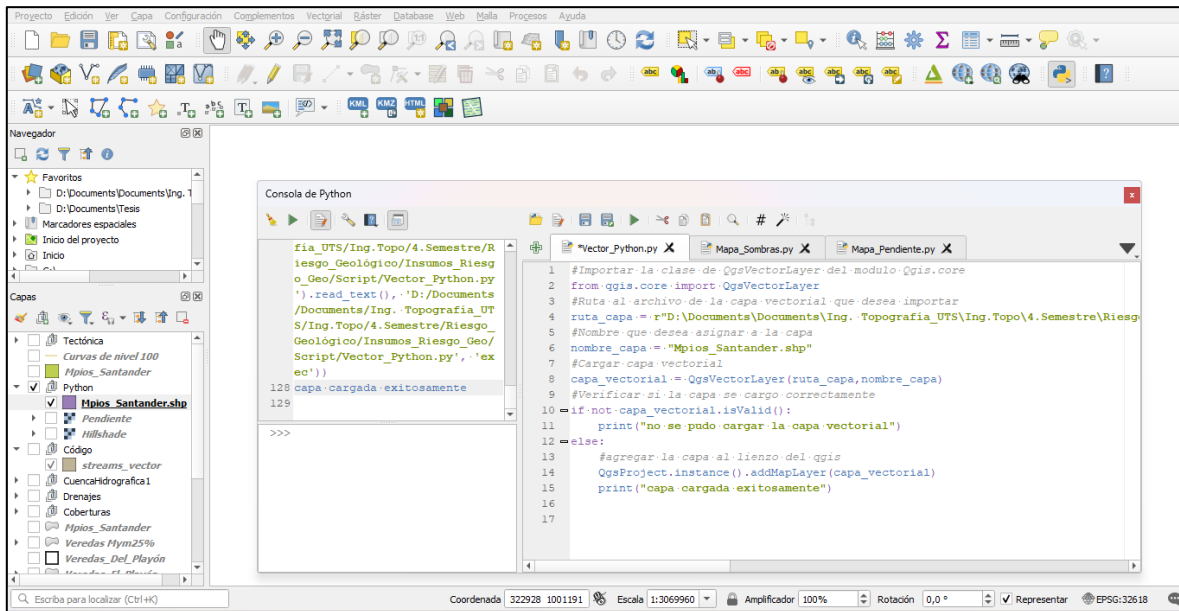


*Fuente: Autor*

Se inició el proceso con la herramienta ArcGeek en QGIS para extraer datos hidrológicos del modelo digital de elevación (DEM). Primero, se ejecutó la función Stream Network with Order para crear la red de drenaje ordenada del área

estudiada. Luego, se aplicó Watershed Basin Delineation para definir la cuenca hidrográfica del sector analizado. Por último, Watershed Morphometric Analysis generó parámetros morfométricos de la cuenca, incluyendo la curva hipsométrica, clave para evaluar la evolución geomorfológica del sistema fluvial.

### Ilustración 10 Script en PyQGIS



*Fuente: Autor*

Se crearon scripts en PyQGIS para automatizar el procesamiento del DEM y generar variables topográficas derivadas. En particular, se programaron rutinas que producen el mapa de pendientes y el de sombras (hillshade), fundamentales para interpretar el relieve, detectar patrones geomorfológicos y realizar análisis espacial del territorio. Esta automatización optimizó los tiempos de cálculo y aseguró la reproducibilidad de los resultados.

### Ilustración 11 Script Google Earth Engine

```

Google Earth Engine
Search places and datasets...

EL_Playón *
Get Link Save Run Reset Apps

1 //Visualizamos un DEM a nivel global
2 var dem = ee.Image("NASA/NASADEM_HGT/001");
3 Map.addLayer(dem)
4
5 //Seleccionamos Elevaciones
6 var elevation = dem.select("elevation");
7 Map.addLayer(elevation,{min:0,max:4000},"elevation")
8
9 //Visualizar los países del mundo
10 var países = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017");
11 Map.addLayer(países)
12
13 //Visualizar solo a Colombia
14 var filtro = países.filterMetadata("country_co","equals","CO");
15 Map.addLayer(filtro)
16
17 //Seleccionamos elevaciones para Colombia
18 var clip = elevation.clip(filtro)
19 Map.addLayer(clip,{min:0,max:4000},"elevationColombia");
20
21 var veredas = ee.FeatureCollection("users/CT91/Veredas");
22 Map.addLayer(veredas)
23
24 var filtro = veredas.filterMetadata("NOM_DEP","equals","SANTANDER");
25 Map.addLayer(filtro)
26
27 //Visualizamos Elevaciones
28 var clip = elevation.clip(filtro);
29 Map.addLayer(clip,{min:0,max:4000},"ElevationSantander")
30
31 //Visualizamos Municipio del Playón
32 var filtro1 = veredas.filterMetadata("NOMB_MPIO","equals","EL PLAYÓN");
33 Map.addLayer(filtro1,{color:"#9C321E"},"filtro1")
34
35 //generamos un corte para la zona de estudio
36 var clip2 = elevation.clip(filtro1);

```

*Fuente: Autor*

A través de Google Earth Engine, se ejecutó un script que extrajo el Modelo Digital de Elevación (DEM) del municipio de El Playón (Santander) del dataset NASADEM global, aplicando filtros espaciales precisos por país, departamento y municipio. De este recorte se derivaron automáticamente dos productos cartográficos esenciales: el mapa de sombras (hillshade) que resalta la morfología tridimensional mediante contrastes lumínicos, y el mapa de pendientes clasificado en paleta multicolor que cuantifica visualmente los gradientes del terreno desde zonas planas hasta laderas extremadamente inclinadas, facilitando el análisis geomorfológico del relieve local.

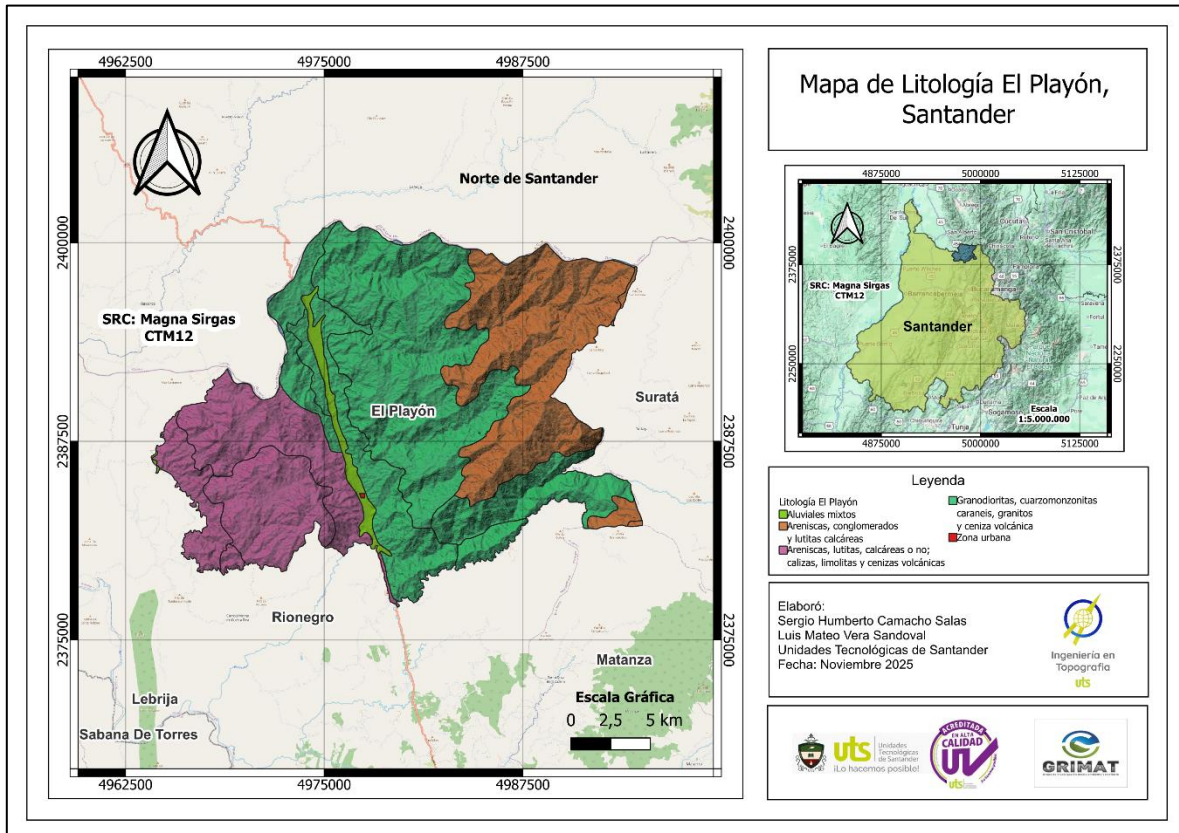
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Análisis del relieve

Para el presente proyecto se requiere realizar un análisis del relieve desde el conocimiento topográfico (Ingeniería en Topografía) para determinar la influencia del relieve en la organización hidrológica del territorio. Para esto se ha trabajado en el municipio del Playón realizando una revisión de información Topográfica, Geológica, Hidrológica y Geomorfológica. Se parte de un modelo digital de elevación (DEM) de Alos Palsar a 12.5m de resolución espacial (Ilustración 4.)

### 5.1.1. Análisis Geomorfológico y procesos morfodinámicos

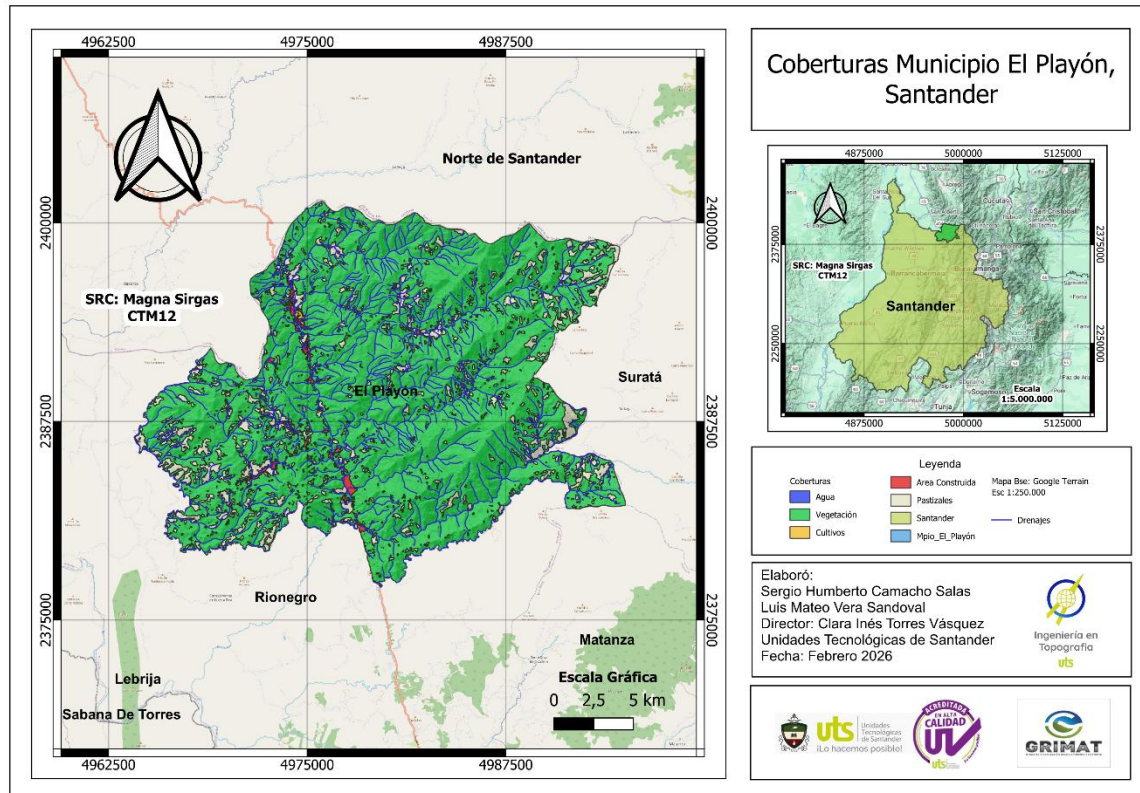
Ilustración 12 Litología El Playón, Santander



*Fuente: Autor*

Con base a la información obtenida del shape de Colombia en mapas (Ilustración 3), podemos concluir que el municipio del El Playón cuenta con una variedad litológica, donde podemos encontrar granodioritas, areniscas, conglomerados, granitos, aluviales mixtos, entre otros.

Ilustración 13 Mapa de Coberturas El Playón Santander

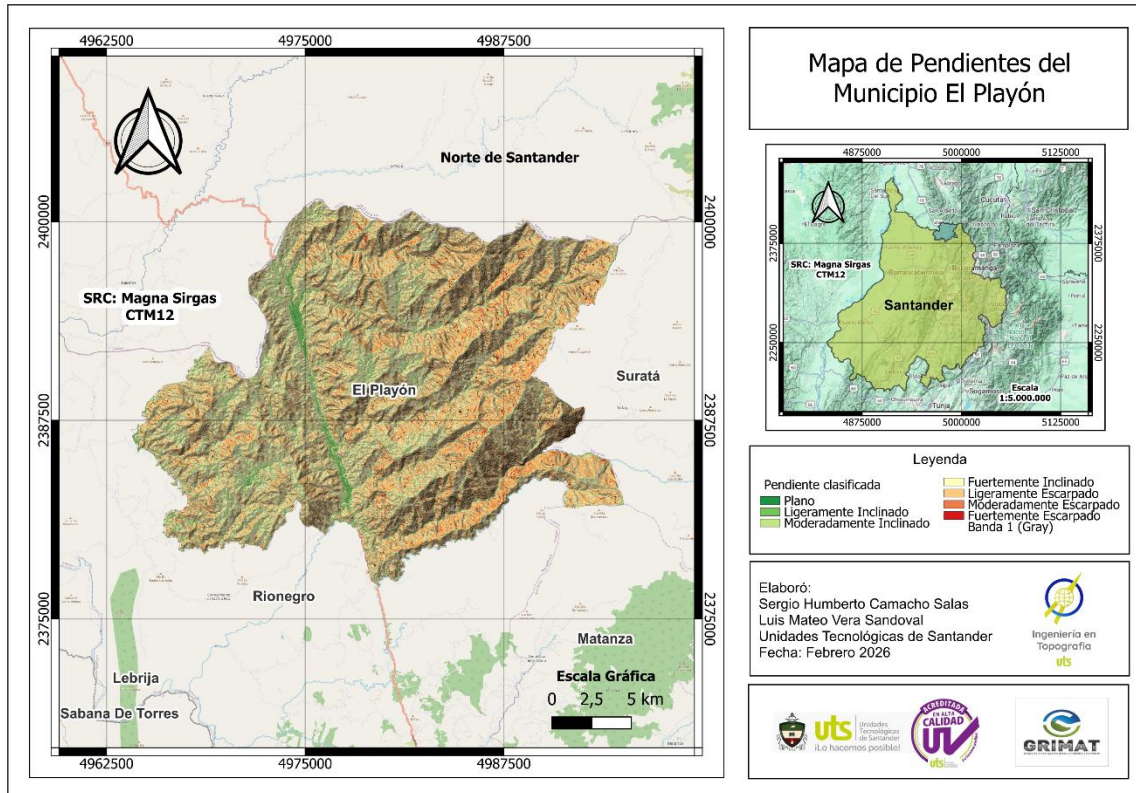


*Fuente: Autor*

El mapa de coberturas en El Playón muestra un dominio forestal y natural, con vegetación espesa y una compleja red hidrográfica que abarca gran parte de su relieve montañoso. Las zonas de pastoreo y agricultura humana se distribuyen de manera dispersa, limitándose el uso urbano a un núcleo clave junto al eje vial principal

### 5.1.2. Análisis e interpretación de pendientes

Ilustración 14 Mapa de Pendientes El Playón



*Fuente: Autor*

El municipio de El Playón, Santander, muestra una topografía variada con pendientes desde planos hasta fuertemente escarpados (>25%), dominada por sistemas colinados y montañosos en el flanco oriental de la Cordillera Oriental. Predominan valles aluviales en zonas bajas del río Playonero y quebradas como La Naranjera y La Negraña (400-800 msnm), con terrazas fluviales y llanuras de inundación en colores verdes y amarillos del mapa, contrastando con laderas rojas de alto riesgo erosivo en alturas orientales (hasta 2200-2800 msnm).

La pendiente mide qué tan inclinado está el terreno en un área determinada y corresponde a la tasa de cambio de la elevación respecto a la distancia.

$$Pendiente = \frac{\Delta Elevación}{\Delta Distancia} \times 100$$

Para este caso se expresa en %

El análisis de un mapa de pendiente brinda un significado geomorfológico, dando información sobre erosión, escorrentías, zonas de acumulación, zonas de infiltración y estabilidad del suelo. Las pendientes bajas están asociadas a zonas de acumulación, mientras que las medias a transporte de sedimentos y las altas a procesos erosivos.

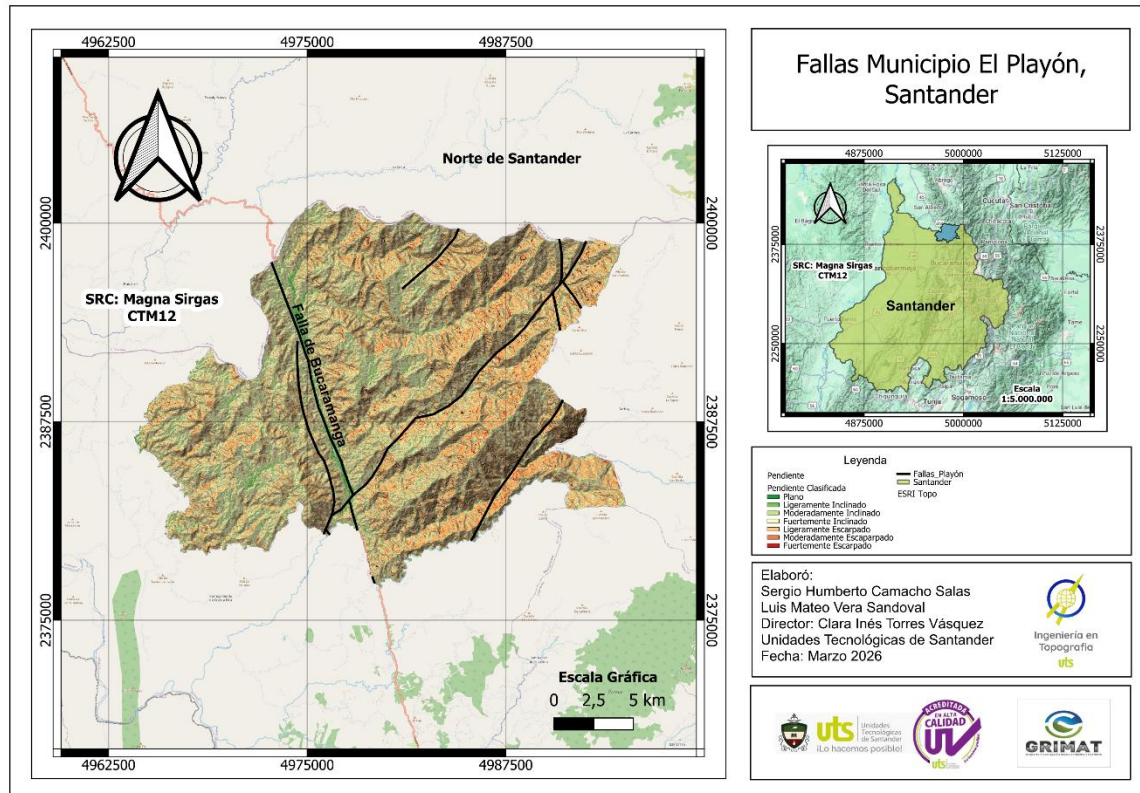
El mapa de pendientes evidencia una heterogeneidad morfométrica (Pendientes más altas >25%) con predominio de sectores de gradientes medios a altos, los cuales se asocian a laderas estructuralmente controladas y a procesos de disección fluvial activa.

Las pendientes >25% están concentradas en zonas de relieve montañoso principalmente hacia el este y sureste de la zona de estudio, indicando alta energía geomorfológica y fuerte incisión en la red hídrica y dominio de procesos erosivos. Esta zona corresponde a vertientes escarpadas con potencial susceptibilidad a procesos de remoción en masa y limitaciones para el desarrollo de infraestructura o expansión urbana, para lo cual se requerirá estudios geotécnicos detallados. Entre las veredas donde predominan estas condiciones topográficas se encuentran: Planadas, Miraflores, Pino, Betania, San Benito, Santa Bárbara, Filo, La Aguada, Ceiba y El Playón.

Las zonas con pendiente <25% y principalmente <6% se localizan en fondos de valles y superficies de acumulación de sedimentos (Zona oeste y noroeste), es decir predominan procesos de sedimentación y modelado fluvial. Son zonas de menor energía del relieve, áreas transicionales entre ambientes montañosos y planicies aluviales, hay un contraste claro entre zonas altas y bajas, lo que sugiere una transición geomorfológica bien definida dentro del municipio. Entre las veredas donde predominan estas condiciones topográficas se encuentran: Límites, Río Blanco, Arrumbazón, San Pedro y Huchaderos.

Los procesos morfogenéticos fluviales intensos, controlados por fallas activas como la de Bucaramanga y litologías de rocas duras intercaladas en blandas, generan relieves tectónico-fluviales exacerbados por precipitaciones >2800 mm/año y deforestación. Áreas críticas como filos de San Isidro y La Garrapata destacan por amenaza alta de deslizamientos y remociones en masa. (CDBM, 2015)

Ilustración 15 Mapa de Fallas Geológicas El Playón

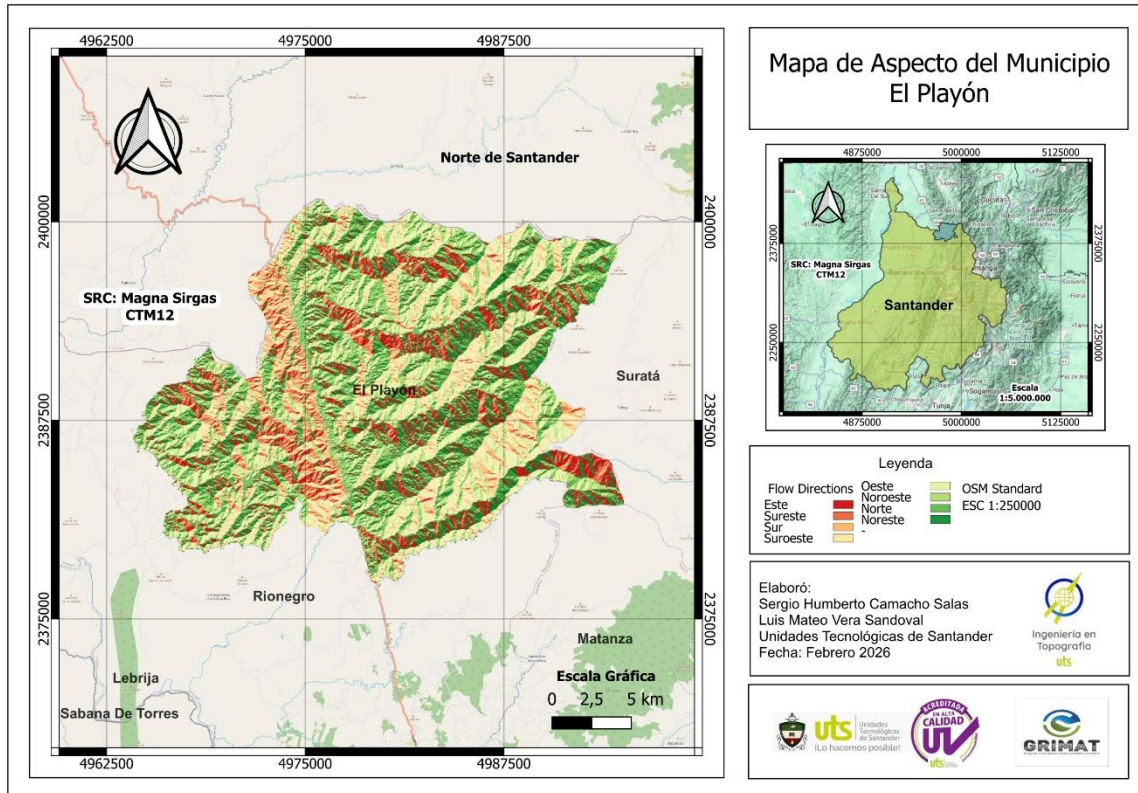


*Fuente: Autor*

El contraste entre zonas altas y bajas en el municipio del Playón está acorde con las dinámicas tectónicas y fluviales que condicionan la evolución del paisaje en esta área.

### 5.1.3. Análisis de la dirección de pendientes (Mapa de Aspecto)

Ilustración 16 Mapa de Aspecto El Playón

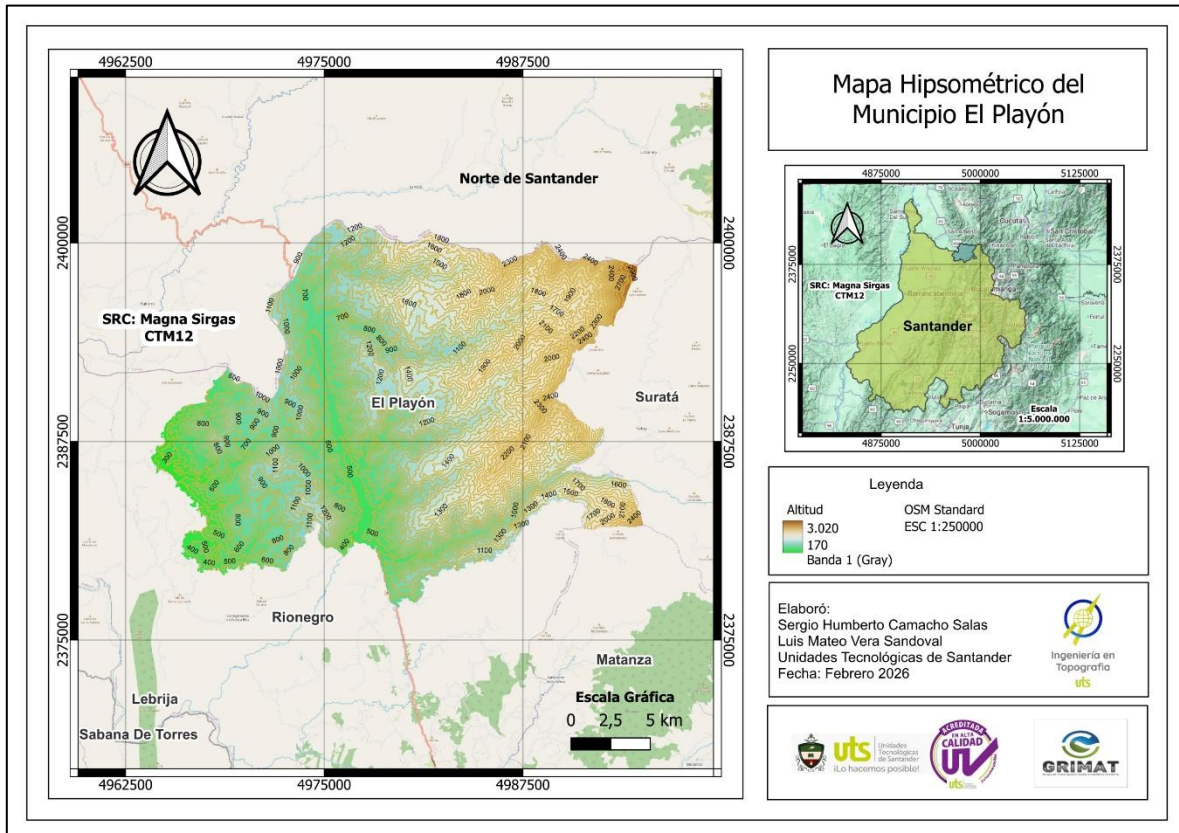


*Fuente: Autor*

Se observan laderas centrales donde se pueden apreciar flujos hacia el Este, Sureste y Sur. En el sector occidental y noroccidental los flujos se aprecian hacia el Oeste y Sureste, además podemos ver crestas montañosas que generan zonas divisorias de aguas (divergencia de flujos).

### 5.1.4. Análisis Hipsométrico

Ilustración 17 Mapa Hipsométrico El Playón



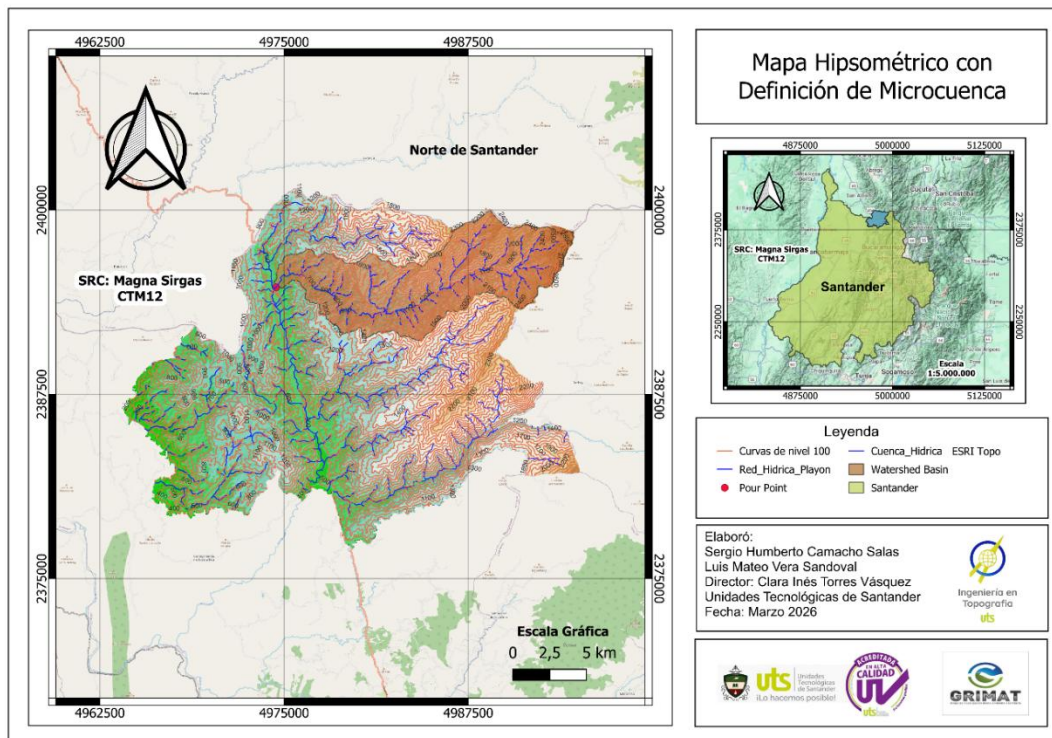
*Fuente: Autor*

El mapa hipsométrico nos muestra que, el municipio El Playón Santander tiene una distribución altitudinal cercana a los 2.850 m lo que favorece la presencia de distintos pisos térmicos. La distribución altitudinal muestra que en las zonas occidental y suroccidental predominan altitudes bajas, en la zona central hay presencia de altitudes intermedias, caracterizada por un relieve fuertemente ondulado, en las zonas oriental y nororiental se presentan las mayores altitudes, indicando pendientes pronunciadas y relieve montañoso escarpado.

La distribución altitudinal del territorio influye de manera directa en los procesos geomorfológicos, al determinar la formación de pendientes marcadas, el comportamiento de la escorrentía superficial y la configuración de la red hidrográfica. Las zonas más elevadas suelen relacionarse con procesos de erosión y disección del relieve, mientras que las áreas bajas presentan con mayor frecuencia formas asociadas a acumulación o transición geomorfológica. Por tanto, la variación altitudinal del municipio es un elemento clave para la planificación del uso del suelo, la gestión del recurso hídrico y la evaluación de amenazas naturales.

## 5.2. Definición de Microcuencas mediante herramienta de Automatización (ArcGeek)

Ilustración 18 Mapa Hipsométrico con Microcuencia 1



*Fuente: Autor*

**ELABORADO POR:**  
Docencia

**REVISADO POR:**  
Sistema Integrado de Gestión

**APROBADO POR:** Líder del Sistema Integrado de Gestión  
**FECHA APROBACIÓN:** Octubre de 2023

Tabla 1 Morfometría de la Microcuenca 1

Parameter	Value	Unit	Interpreta
1 Basin Area (A)	88,05259999999998	km <sup>2</sup>	Small basin
2 Perimeter (P)	60,88830000000001	km	Basin perimeter
3 Basin Length (Lb)	20,52600000000000	km	Basin length
4 Basin Width (B)	4,28980000000000	km	Basin width
5 Relief (H)	2490,000000000000	m	Very high relief, indicating mountainous terrain
6 Mean Elevation	1586,33989999999943	m a.s.l.	Average elevation of the basin
7 Minimum Elevation	605,00000000000000	m a.s.l.	Minimum elevation of the basin
8 Maximum Elevation	3095,00000000000000	m a.s.l.	Maximum elevation of the basin
9 Start Elevation (Main Channel)	1748,55559999999913	m a.s.l.	Elevation at the start of the main channel
10 End Elevation (Main Channel)	605,33330000000008	m a.s.l.	Elevation at the end of the main channel

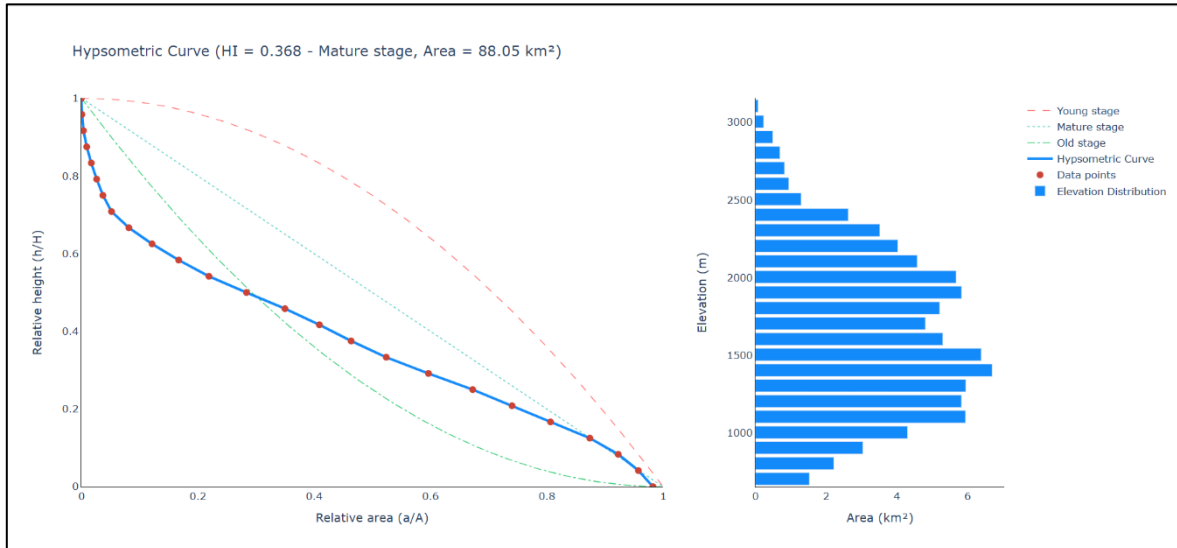
*Fuente: Autor*

El reporte morfométrico de la microcuenca detalla parámetros morfohidrográficos clave para evaluar el comportamiento hidrológico en El Playón, Santander, zona de alto riesgo de inundaciones.

Incluye un área de 88,05 km<sup>2</sup>, perímetro de 60,89 km, longitud de 20,53 km y ancho de 4,28 km, reflejando una forma alargada que acelera la escorrentía.

Presenta un relieve total de 2490 m, elevación media de 1586,34 m (rango 605-3095 m), elevación inicial del cauce principal en 1748,5 m y final en 605,3 m, lo que genera una pendiente media pronunciada.

Ilustración 19 Curva hipsométrica Microcuenca 1



*Fuente: Autor*

La curva hipsométrica es una herramienta geomorfológica que representa la relación entre el área relativa de la cuenca ( $a/A$ ) en el eje horizontal y la altura relativa ( $h/H$ ) en el eje vertical, revelando el nivel de erosión y la evolución del relieve.

Teóricamente, distingue tres etapas del paisaje: la línea naranja indica un relieve joven, la celeste un maduro y la verde un viejo. La línea azul muestra el caso real de esta microcuenca, con puntos muestreados; a la derecha, se grafica elevación contra área en  $\text{km}^2$ .

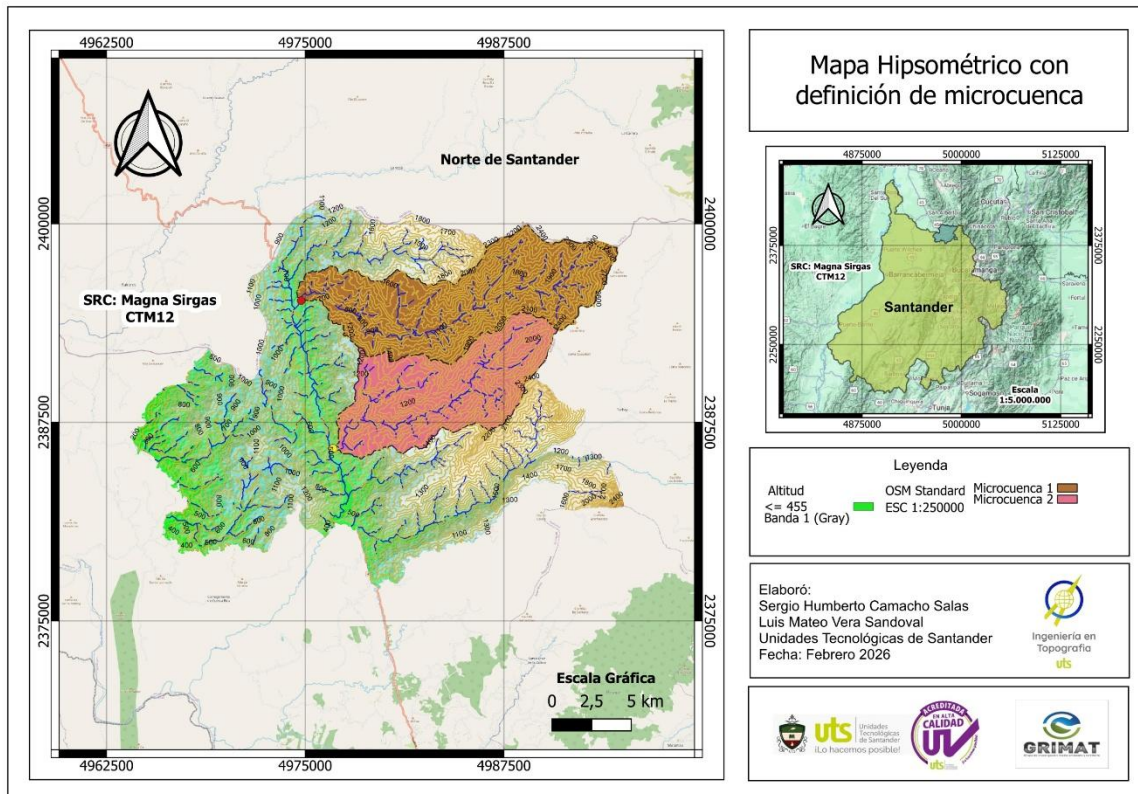
Destacan dos hallazgos: el índice hipsométrico (HI) de 0.368 señala un relieve en etapa madura avanzada con intensa erosión, y la forma ligeramente cóncava de la curva refleja una disección marcada del relieve, impulsada por estructuras locales que facilitan la acción de las corrientes hídricas.

También podemos observar la distribución del área de la cuenca con respecto a la elevación, en donde encontramos que la microcuenca 1 presenta una mayor área

en las elevaciones comprendidas entre 1400 y 1500 m.s.n..m y 1900 y 2000 m.s.n.m.

Se realiza análisis de una segunda microcuenca para hacer la comparación entre ellas y verificar la efectividad del modelo.

Ilustración 20 Mapa Hipsométrico con Microcuenca 1 y 2



Fuente: Autor

Tabla 2 Morfometría de la Microcuenca 2

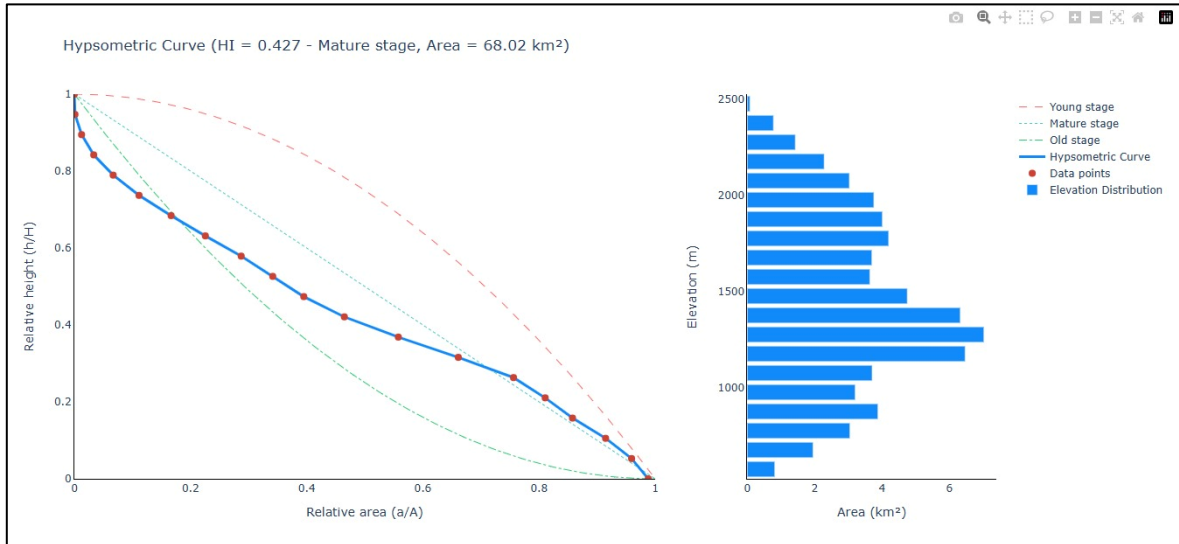
Parameter	Value	Unit	Interpreta
1 Basin Area (A)	68,018000000000001	km <sup>2</sup>	Small basin
2 Perimeter (P)	47,833199999999998	km	Basin perimeter
3 Basin Length (Lb)	16,009499999999999	km	Basin length
4 Basin Width (B)	4,248600000000000	km	Basin width
5 Relief (H)	1938,000000000000000	m	Very high relief, i...
6 Mean Elevation	1386,886899999999969	m a.s.l.	Average elevation of the basin
7 Minimum Elevation	476,000000000000000	m a.s.l.	Minimum elevation of the basin
8 Maximum Elevation	2414,000000000000000	m a.s.l.	Maximum elevation of the basin
9 Start Elevation (Main Channel)	626,111099999999965	m a.s.l.	Elevation at the ...
10 End Elevation (Main Channel)	476,399999999999977	m a.s.l.	Elevation at the ...

*Fuente: Autor*

El reporte morfométrico de la Microcuenca 2 encontramos un área de 68,018 km<sup>2</sup>, perímetro de 47,83 km, longitud de 16,00 km y ancho de 4,24 km, reflejando una forma alargada que acelera la escorrentía.

Presenta un relieve total de 1938 m, elevación media de 1386,88 m (rango 476-2414 m), elevación inicial del cauce principal en 626,11 m y final en 476,4 m.

Ilustración 21 Curva Hipsométrica Microcuenca 2



*Fuente: Autor*

Como en la anterior curva hipsométrica (Ilustración 19), en este caso destacan dos hallazgos: el índice hipsométrico (HI) de 0.427 que señala una etapa madura avanzada con intensa erosión, y la forma ligeramente cóncava de la curva refleja una disección marcada del relieve, impulsada por estructuras locales que facilitan la acción de las corrientes hídricas. En esta microcuenca, la mayor distribución del área se encuentra ubicada entre 1200 y 1400 m.s.n.m.

A partir del análisis morfométrico de las microcuencas de El Playón, se estableció que el relieve corresponde a una etapa geomorfológica madura avanzada, evidenciando una marcada evolución del paisaje producto de procesos erosivos prolongados y de una redistribución intermedia de las alturas dentro de la red de drenaje. Estas condiciones muestran un estado de relativo equilibrio entre las partes altas y bajas del terreno, en concordancia con los valores del índice hipsométrico y la forma de la curva hipsométrica.

### 5.3. Programación Avanzada (PyQGIS)

Mediante Scripts en PyQGIS y el algoritmo GDAL Hillshade ver (Ilustración 10) aplicado al DEM del municipio de El Playón, se generó un mapa de sombras con parámetros específicos: factor Z de 1.0, azimut de 315°, altitud solar de 45° y cálculo de bordes activado. Esta representación tridimensional sintética del relieve, que simula la iluminación direccional sobre la superficie topográfica, acentúa la textura montañosa, resalta alineaciones estructurales (como fallas y pliegues), facilita la detección de formas cóncavas-convexas y mejora la interpretación geomorfológica del paisaje mediante contrastes lumínicos que revelan la orientación y rugosidad del terreno en relación con las fallas regionales identificadas.

Ilustración 22 Código PyQGIS Mapa de Sombras

```

1 # Python Console
2 # Use iface to access
  s.QGIS.API.interface
  or type '?' for more
  e.info
3 # Security warning:
  typing commands from
  an untrusted source
  can harm your compu
  ter
4
>>>

```

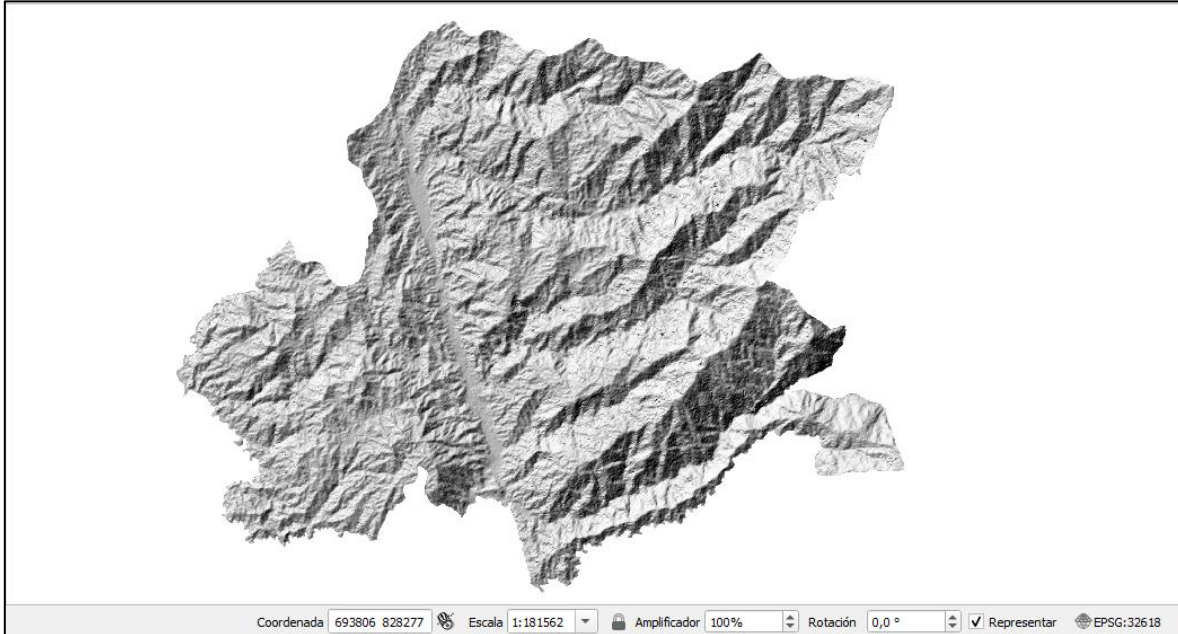
```

1 # Importar la clase de QgsRasterLayer del modulo Qgis.core
2 from qgis.core import QgsRasterLayer, QgsProject
3 import processing
4 # Generar Hillshade o mapa de sombras
5 # ruta al dem de entrada
6 dem_ruta = r"D:\Documents\Documents\Ing. Topografía UTS\Ing.Topo\4.Semestre\Riesgo_Geológico\
7 # ruta donde se va a guardar el hillshade
8 salida_ruta = r"D:\Documents\Documents\Ing. Topografía UTS\Ing.Topo\4.Semestre\Riesgo_Geológi
9 # cargar el dem
10 dem_layer = QgsRasterLayer(dem_ruta, "DEM")
11
12 if not dem_layer.isValid():
13     print("Error: no se pudo cargar el DEM.")
14 else:
15     print("DEM cargado correctamente")
16
17 # Definir parámetro para el Hillshade
18 params = {
19     'INPUT': dem_ruta,
20     'BAND': 1,
21     'Z_FACTOR': 1.0,
22     'AZIMUTH': 315.0,
23     'ALTITUDE': 45.0,
24     'COMPUTE_EDGES': True,
25     'ZEVENBERGEN': False,
26     'MULTIDIRECTIONAL': False,
27     'OUTPUT': salida_ruta
28 }

```

Fuente: Autor

Ilustración 23 Mapa de Sombras a partir de PyQGIS



*Fuente: Autor*

Además, se derivó el mapa de pendientes del DEM de El Playón con escala de 1.0, salida en grados, procesamiento de bordes y método de primer orden. Esta capa raster cuantifica la inclinación media del terreno, evidenciando gradientes extremos ( $>45^\circ$ ) en filos y cabeceras, pendientes fuertes ( $30-45^\circ$ ) en laderas inestables, moderadas ( $15-30^\circ$ ) en interfluvios erosionados y suaves ( $<15^\circ$ ) en fondos aluviales. Los contrastes espaciales revelan lineamientos estructurales, áreas críticas de escorrentía concentrada y zonas de acumulación sedimentaria, fundamentales para evaluar susceptibilidad a deslizamientos, modelación hidrológica y planificación territorial según estabilidad geomorfológica.

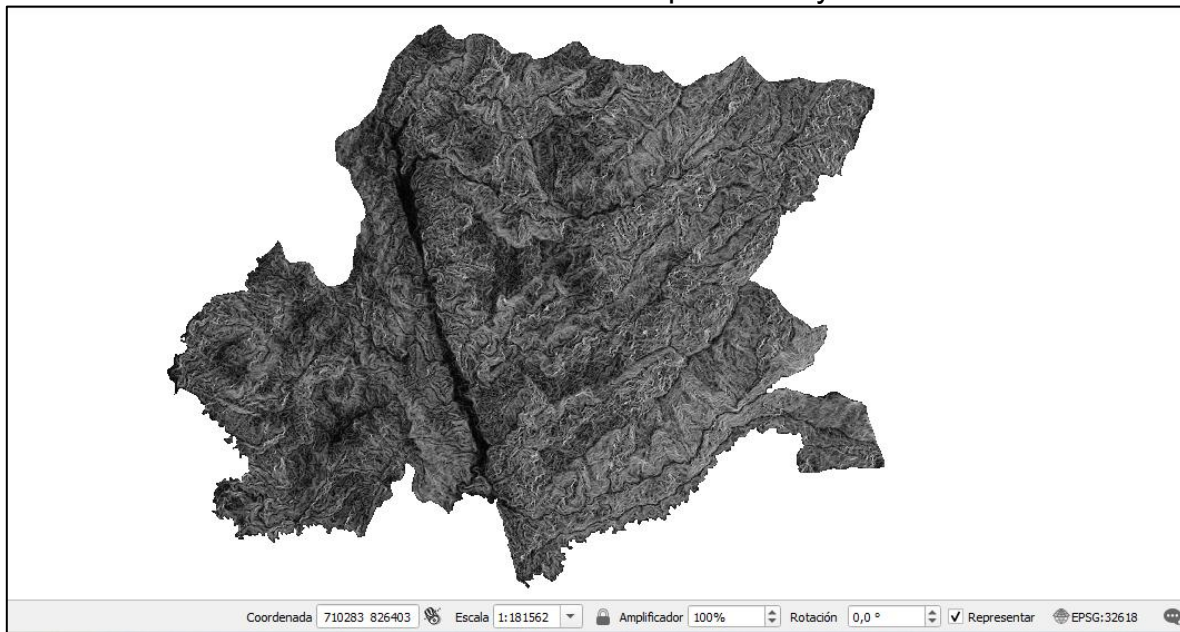
Ilustración 24 Código PyQGIS Pendientes

```

Consola de Python
1 # Python Console
2 # Use iface to access
  .QGIS API interface o
  r type '?' for more i
  nfo
3 # Security warning: t
  yping commands from a
  n untrusted source ca
  n harm your computer
4
>>>
Mapa_Pendiente.py X
2 from qgis.core import QgsRasterLayer, QgsProject
3 import processing
4
5 #cargar capa raster DEM
6 dem_ruta = r"D:\Documents\Documents\Ing. Topografía_UTS\Ing. Topo\4.Semestre\Riesgo_Geológico\Insumos
7 dem_layer = QgsRasterLayer(dem_ruta, "DEM")
8
9 = if not dem_layer.isValid():
10     print("Error: No se pudo cargar el DEM")
11 = else:
12     print("DEM cargado correctamente")
13 #Establecer parámetros para el algoritmo GDAL Slope
14 = params = {
15     'INPUT': dem_ruta,
16     'BAND': 1,
17     'SCALE': 1.0,
18     'AS_PERCENT': False,
19     'COMPUTE_EDGES': True,
20     'ZEVENBERGEN': False,
21     'OUTPUT': r'D:\Documents\Documents\Ing. Topografía_UTS\Ing. Topo\4.Semestre\Riesgo_Geológico\Insum
22 }
23 #Ejecutar algoritmo de cálculo de pendiente
24 result = processing.run("gdal:slope", params)
25
  
```

Fuente: Autor

Ilustración 25 Pendientes a partir de PyQGIS

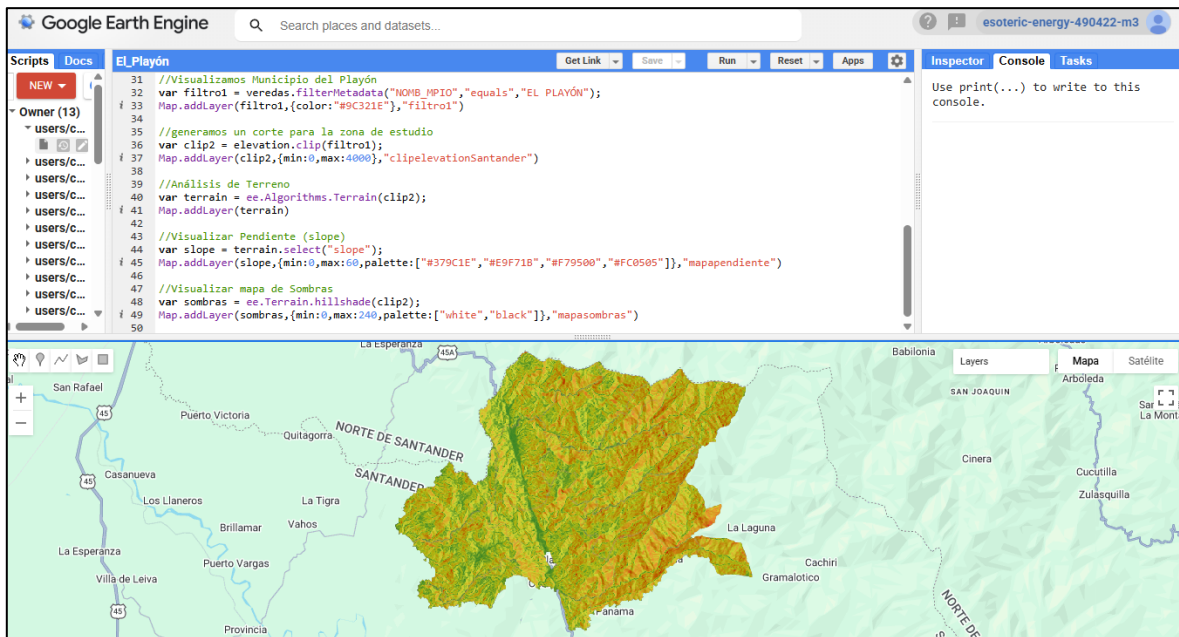


Fuente: Autor

## 5.4. Programación en Google Earth Engine

Utilizando JavaScript en Google Earth Engine ver (Ilustración 11), se cargó el DEM NASADEM global y se aplicaron filtros sucesivos para delimitar elevaciones del municipio de El Playón (Santander, Colombia).

Ilustración 26 Ejecución del Script en Google Earth Engine



*Fuente: Autor*

Posteriormente, se generaron simultáneamente el mapa de pendientes (escala 0-60° con paleta de verdes a rojos) y sombras (escala 0-240 con gradiente blanco-negro). Estos productos resaltan la morfología montañosa local, gradientes extremos en laderas (>45°), alineaciones estructurales y contrastes lumínicos que facilitan la interpretación geomorfológica del relieve en contexto de fallas regionales (Ilustración 27).

Ilustración 27 Relieve a partir de Google Earth Engine



*Fuente: Autor*

## 6. CONCLUSIONES

La implementación de programación avanzada mediante herramientas como PyQGIS, ArcGeek Calculator y Google Earth Engine permitió optimizar el análisis geomorfométrico y la delimitación de cuencas hidrográficas del municipio de El Playón (Santander), reduciendo la dependencia de procedimientos manuales tradicionales y garantizando mayor eficiencia, reproducibilidad y precisión en el procesamiento de información geoespacial.

El flujo de trabajo automatizado desarrollado a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) permitió generar de manera sistemática productos cartográficos como mapas de pendientes, sombras del relieve, red de drenaje y delimitación de microcuencas, demostrando que la integración de herramientas SIG y scripting constituye una alternativa viable y replicable para estudios hidrológicos y geomorfológicos en contextos territoriales similares.

El análisis morfométrico de las microcuencas y la interpretación de la curva hipsométrica evidenciaron que el relieve del municipio de El Playón se encuentra en una etapa geomorfológica madura avanzada, caracterizada por un equilibrio relativo entre procesos de erosión y disección del terreno, lo cual influye directamente en la dinámica hidrológica y en la configuración de la red de drenaje local.

Los resultados obtenidos permiten identificar sectores con pendientes pronunciadas, zonas de escorrentía concentrada y áreas potencialmente susceptibles a procesos de remoción en masa, constituyéndose en insumos técnicos relevantes para la planificación territorial, la gestión del riesgo y la formulación de instrumentos como POT y POMCA.

## 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar los flujos de trabajo automatizados desarrollados en otros contextos geográficos de Santander y Colombia (zonas andinas, amazónicas o costeras) para validar su versatilidad y eficiencia en diferentes condiciones topográficas.

Es fundamental mantener la actualización de los Modelos Digitales de Elevación (DEM) utilizando tecnologías más precisas como LiDAR, ya que la precisión de la delimitación automática depende directamente de la calidad del dato de entrada para evitar errores en zonas de llanura o desembocaduras.

Se sugiere profundizar en la implementación de estos modelos en plataformas de software libre como QGIS (PyQGIS), para democratizar el acceso a estas metodologías en municipios con presupuestos limitados para licencias.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CDMB. (2015). *Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga*. Obtenido de CDMB:  
<http://web.cdmb.gov.co/web/images/PLAN%20DE%20ACCION%20RIESG%20EL%20PLAYON%20final.pdf>
- ESRI. (s.f.). *ArcGis Pro*. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-stream-order-works.htm>
- Forero Carreño, D. L. (2015). *Aplicación de la herramienta Modelbuilder de Arcgis, para calcular el valor ponderado del número de curva en una Cuenca*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/0b22039c-2b46-4623-952f-e1ec93491402>
- Garagoa, C. R. (2016). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO GARAGOA.
- García, F. G. (2015-2016). *Aplicación de las Geotecnologías Cartográficas al cálculo del caudal de la Cuenca Río Zapatón*. Salamanca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10366/132570>
- Google Earth Engine. (2010). Obtenido de <https://earthengine.google.com/platform/>
- HERRERA, R. M. (2015). APLICACIÓN DE MODELOS DE GEOPROCESAMIENTO PARA LA OPTIMIZACIÓN. 66. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/items/95be81cc-b73e-48e5-9a18-0cb37ebf8f0a>
- Joerg SCHALLER, C. M. (Enero de 2010). ArcGIS ModelBuilder Applications for Landscape Development Planning in. 12. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/237458970\\_ArcGIS\\_ModelBuilder](https://www.researchgate.net/publication/237458970_ArcGIS_ModelBuilder)

-----  
\_Applications\_for\_Landscape\_Development\_Planning\_in\_the\_Region\_of\_M  
unich\_Bavaria

Pareja, J. P. (2024). *Elaboración de un índice de vulnerabilidad por exposición que involucre variables ambientales y geológicas para la toma de decisiones en el municipio de Barbosa ubicado en el departamento de Antioquia*. Universidad de San Buenaventura, Medellín. Obtenido de <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstreams/aaca1e6c-339e-4154-a8b7-b307dfab6fa4/download>

Péter Csáfordi, A. P. (Diciembre de 2012). Soil Erosion Analysis in a Small Forested Catchment Supported by ArcGIS. *researchgate*, 19. Recuperado el AGOSTO de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/269516384\\_Soil\\_Erosion\\_Analysis\\_in\\_a\\_Small\\_Forested\\_Catchment\\_Supported\\_by\\_ArcGIS\\_Model\\_Builder](https://www.researchgate.net/publication/269516384_Soil_Erosion_Analysis_in_a_Small_Forested_Catchment_Supported_by_ArcGIS_Model_Builder)

Pucha, F. (2024). QGIS. Obtenido de <https://plugins.qgis.org/plugins/ArcGeekCalculator/#plugin-versions>

Rodríguez, J. A. (2024). *HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE CIUDADES O TERRITORIOS INTELIGENTES Y SOSTENIBLES PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LOS PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN COLOMBIA*. Fundación Universitaria del Área Andina. Obtenido de <https://revia.areandina.edu.co/index.php/DT/article/view/2439>

Sartori, V. (Octubre de 2015). *Patrones de Drenajes*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/287823107/Patrones-de-Drenaje>

Trujillo, V. F. (2019). *Modelo SIG para la Zonificación Agroecológica de Cultivos: Estudio de caso Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas, Huila, Colombia*. Manizales. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/server/api/core/bitstreams/1c4b83d3-cefd-43ee-a72c-1c89cfad1805/content>

Velásquez, D. L. (2021). *AUTOMATIZACIÓN A TRAVES DE UN MODELO GEOGRAFICO PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PENDIENTES COMPLEJAS*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.umng.edu.co/items/4413cc88-7f77-4631-b78f-ab4b2ebb8ad8>

Vladimir Tabunshchik, P. D. (2025). Delineation and Morphometric Characterization of Small- and. *MDPI*, 47. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/5/679>

## 9. ANEXOS

La sección de anexos será usada para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros.

Cada Anexo debe estar identificado por una letra (A –Z), la cual será usada para diferenciar las figuras, tablas y ecuaciones que se encuentren en estas secciones.