



Identificación de zonas susceptibles de inundación en la parte baja de la unidad hidrográfica río Lebrija mediante análisis del relieve y como apoyo a la gestión del riesgo, 2026.

Modalidad:

Proyecto de
Investigación

Angie Daniela Barajas Gamboa.
CC. 1098606193
Liren Senith Rincón Estupiñán.
CC. 1005346123

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad Ciencias e Ingeniería
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga 11/09/2026



Identificación de zonas susceptibles de inundación en la parte baja de la unidad hidrográfica río Lebrija mediante análisis del relieve y como apoyo a la gestión del riesgo, 2026.

Modalidad:

Proyecto de
Investigación

Angie Daniela Barajas Gamboa.
CC. 1098606193
Liren Senith Rincón Estupiñán.
CC. 1005346123

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Topógrafo

DIRECTOR
Clara Inés Torres Vásquez

Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad Ciencias e Ingeniería
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga 11/09/2026

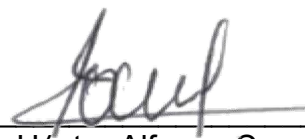
F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

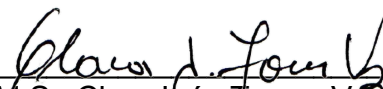
VERSIÓN: 2.0

Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
La Universitaria Tecnológica de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo
Según acta #29 del Comité de Proyectos de Grado
Del 02 de octubre de 2026
Docente evaluador: Ing. Héctor Alfonso Correa Ráangel
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



Ing. Héctor Alfonso Correa Rangel
Firma del Evaluador



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez
Firma del Director

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de grado, en primer lugar, a Dios, por darnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar esta meta. A nuestros padres y familias, por su amor incondicional, apoyo y confianza durante cada etapa de este camino.

A quienes, con sus consejos, palabras de motivación y compañía hicieron más llevadero este proceso.

A nosotros mismos, por el esfuerzo, compromiso y dedicación que nos permitieron superar cada desafío.

De manera especial, nos dedicamos este logro el uno al otro, por compartir no solo este proyecto, sino también cada reto, aprendizaje y satisfacción que encontramos en el camino.

Hoy culminamos una etapa importante de nuestras vidas, llevando con nosotros grandes enseñanzas y la ilusión de continuar construyendo juntos nuestros sueños metas. Este logro representa el resultado de muchos esfuerzos y, sobre todo, de la confianza y el amor que nos acompañaron hasta el final.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios, por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar satisfactoriamente este proyecto de investigación y permitirnos superar cada uno de los retos que se presentaron durante este proceso.

A nuestras familias, expresamos nuestro más sincero agradecimiento por su apoyo incondicional, comprensión, paciencia y motivación durante nuestra formación académica. Su acompañamiento fue fundamental para mantenernos firmes y continuar trabajando por el cumplimiento de nuestras metas.

Agradecemos especialmente a la institución educativa y a los docentes, quienes durante nuestra formación compartieron sus conocimientos, experiencias y orientaciones, contribuyendo significativamente a nuestro crecimiento académico y profesional. De manera especial, agradecemos a la directora del proyecto de investigación, por su acompañamiento, orientación, dedicación y aportes durante el desarrollo de cada una de las etapas de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. ESTADO DEL ARTE	18
2. MARCO REFERENCIAL	26
2.1. MARCO TEORICO.....	26
ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN COLOMBIA	26
2.2. MARCO LEGAL	41
2.3. MARCO AMBIENTAL	42
2.4. MARCO CONCEPTUAL	45
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	48
4.DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	59
4.1 FASE 1: RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	60
4.2 FASE 2: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DEL RELIEVE.....	61
5 RESULTADOS.....	76
5.1 FASE 3: RESULTADOS.....	76
5.1.1 MAPA HIPSOMÉTRICO.....	79
5.1.2 MAPA DE ASPECTOS	80
5.1.3 MAPA DE PENDIENTE.....	82
5.1.4 MAPA DE GEOFORMAS	83
5.1.5 CUENCA ANALIZADA.....	88
6.CURVA HIPSOMÉTRICA	90

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

.....	90
<u>6</u>	<u>CONCLUSIONES.....91</u>
<u>7</u>	<u>RECOMENDACIONES 94</u>
<u>8</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96</u>
<u>9</u>	<u>APÉNDICES..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</u>
<u>10</u>	<u>ANEXOS.....97</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Flujo	57
Figura 2. Ubicación área de estudio.	59
Figura 3. Recorte DEM del Municipio de Lebrija.	62
Figura 4. Hillshade con azimut de 0°.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Hillshade con azimut de 135°.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6. Hillshade con azimut de 240°.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7. Hillshade con azimut de 315°.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8. Mapa hipsométrico	65
Figura 9. Mapa de pendientes altas, medias y bajas	67
Figura 10. Mapa de Aspecto.....	68
Figura 11. Mapa de Climas.	70
Figura 12. Mapa UGC	71
Figura 13. Mapa de Geoformas.....	72
Figura 14. buffer de drenajes a 100.....	73
Figura 15. buffer de drenajes a 200.....	73
Figura 16. buffer de fallas a 100.....	74
Figura 17. buffer de falas a 200.....	74
Figura 18. Base de Datos.....	80
Figura 19. Mapa de Hipsometrico.....	810
Figura 20. Mapa de Aspectos.....	83
Figura 21. Mapa de pendientes.....	85
Figura 22. Mapa de Geoformas	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1. Combinación de mapas de aspectos, hipsométrico, pendiente y geoformas.....	88
Figura 24. Cuenca Analizada	89
Figura 25. Curva Hipsométrico	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fase 1¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como propósito identificar y delimitar las zonas susceptibles a inundación en la zona baja de la unidad hidrográfica del río Lebrija, mediante el análisis del relieve y el uso de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como apoyo a los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo de desastres.

La investigación surge a partir de la ocurrencia de eventos de inundación y desbordamiento asociados al río Lebrija, los cuales han generado afectaciones sobre la población, las viviendas, la infraestructura, las vías de comunicación y las actividades productivas localizadas en las áreas próximas a la dinámica fluvial. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer el conocimiento del territorio y contar con información espacial que permita reconocer las áreas con mayor susceptibilidad frente a este tipo de fenómenos naturales.

El estudio se desarrollará mediante la recopilación, procesamiento y análisis de información cartográfica, geográfica y geoespacial disponible para el área de estudio. Se emplearán Modelos Digitales de Elevación (MDE) y diferentes variables relacionadas con las características del relieve y la dinámica del terreno, con el propósito de identificar sectores que presenten condiciones favorables para la acumulación o desplazamiento de agua y, posteriormente, delimitar las áreas con mayor susceptibilidad a inundación.

Como resultado, se generará cartografía temática de susceptibilidad a inundaciones, acompañada de un análisis espacial que permita reconocer las zonas potencialmente afectadas. Esta información podrá constituirse en un insumo técnico para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión del riesgo de desastres, el ordenamiento y la planificación territorial, así como para orientar acciones de prevención, reducción del riesgo y manejo de posibles emergencias.

El proyecto se desarrollará teniendo como marco de referencia la Ley 1523 de 2012, mediante la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia, promoviendo el conocimiento del riesgo como elemento fundamental para la prevención y reducción de los impactos asociados a fenómenos naturales.

Palabras clave: Susceptibilidad a inundaciones; Sistemas de Información Geográfica (SIG); planificación territorial; análisis espacial; gestión del riesgo de desastres.

INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo de desastres en Colombia, Ley 1523 de 2012, se entiende que es un proceso esencial para garantizar el bienestar y seguridad de la comunidad ante amenazas naturales.

Una inundación es un fenómeno natural que ocurre cuando el agua proveniente de ríos, quebradas, lluvias intensas u otras fuentes hídricas supera la capacidad de conducción del cauce y ocupa temporalmente terrenos que normalmente permanecen secos. En términos de gestión del riesgo, una inundación se convierte en una condición de amenaza cuando puede afectar población, viviendas, infraestructura, vías, cultivos y demás elementos expuestos.

Para el municipio de Lebrija, Santander, el Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT identifica las áreas susceptibles a inundación a partir de factores como la morfometría, geomorfología, pendientes, relieve, drenaje, suelos, clima, uso del suelo y actividades antrópicas. El EOT establece específicamente que las zonas de mayor amenaza por inundación se encuentran en el centro poblado de Vanegas.

En el caso de Vanegas, el riesgo está asociado principalmente a su ubicación próxima al río Lebrija y a la desembocadura del río Cáchira del Sur. El EOT señala que el sector comprendido entre las veredas El Conchal y Vanegas corresponde a un área de amenaza alta por inundación. La situación puede agravarse durante temporadas de lluvias cuando aumentan simultáneamente los caudales del río Lebrija y del río Cáchira del Sur.

Un aspecto particularmente importante es que el EOT señala que el río Cáchira del Sur desemboca en el río Lebrija a una distancia inferior a 400 metros del caserío de Vanegas. Ante un incremento considerable de los caudales, pueden presentarse condiciones de represamiento y desplazamiento de las aguas hacia el margen

donde se encuentra ubicado el centro poblado, aumentando la exposición de la población, viviendas e infraestructura.

El área de estudio se encuentra localizada en Colombia, en el departamento de Santander, municipio de Lebrija, específicamente en la vereda Vanegas, sector que presenta condiciones de susceptibilidad frente a fenómenos de inundación debido a su ubicación y a la dinámica de los cuerpos de agua presentes en la zona.

En este territorio se han presentado eventos asociados al desbordamiento y aumento de los niveles de los cuerpos de agua, generando afectaciones sobre la población, las viviendas, la infraestructura, las vías de comunicación y las actividades productivas. Estas condiciones evidencian la necesidad de fortalecer el conocimiento del territorio mediante estudios técnicos que permitan identificar y delimitar espacialmente las áreas susceptibles a inundación.

La problemática adquiere especial importancia debido a que la disponibilidad limitada de estudios técnicos detallados y de información espacial actualizada puede dificultar los procesos de prevención, reducción y manejo del riesgo, particularmente en las áreas rurales. Por esta razón, la presente investigación busca generar información cartográfica y espacial que contribuya al reconocimiento de las zonas susceptibles a inundación y sirva como insumo para la planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres.

De acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Lebrija, se reconocen sectores con amenaza por inundación, incluyendo áreas asociadas al centro poblado de Vanegas y a la dinámica hídrica del río Lebrija. El EOT establece disposiciones relacionadas con las áreas de amenaza y riesgo, particularmente en los Artículos 73, 75 y 190, referentes a las áreas susceptibles y de amenaza por inundaciones. Alcaldía Municipal de Lebrija. (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del municipio de Lebrija, Santander. Acuerdo No.

011 de noviembre 28 de 2003. Artículos 73, 75 y 190, relacionados con las áreas de amenaza por inundaciones.

La presente investigación constituye un aporte técnico para el municipio de Lebrija, debido a que permitirá identificar y representar espacialmente las zonas susceptibles a inundación en la vereda Vanegas mediante el análisis de variables del relieve y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información generada contribuirá al conocimiento de las condiciones físicas del territorio y podrá ser utilizada como insumo para la planificación territorial, la gestión del riesgo de desastres y la formulación de estrategias orientadas a la prevención y reducción de la vulnerabilidad de las áreas expuestas.

Para abordar esta problemática, la presente investigación empleará herramientas geomáticas orientadas al análisis espacial y a la identificación de las zonas susceptibles a inundación en la vereda Vanegas. La metodología se fundamentará en la recopilación, procesamiento y análisis de información cartográfica y geoespacial mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), Modelos Digitales de Elevación (MDE) y técnicas de análisis del relieve. A partir de estas herramientas se evaluarán variables como la elevación, pendiente, drenaje y configuración del terreno, permitiendo delimitar áreas con diferentes niveles de susceptibilidad a inundación y generar cartografía temática como apoyo a la planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Lebrija, ubicado en el departamento de Santander, presenta una alta susceptibilidad a eventos de inundación debido a la influencia del río Lebrija, han generado múltiples emergencias a lo largo del tiempo por los factores como la variabilidad climática, la precipitación y las condiciones topográficas del terreno.

La vereda Vanegas ha sido escenario recientemente de una calamidad asociada al desbordamiento del río, ocasionando desastres significativos en viviendas, infraestructura vial, actividades agrícolas y seguridad a la comunidad. Esta situación muestra la limitada planificación y gestión del riesgo en las zonas rurales.

Una de las principales problemáticas se identifica en la falta de estudios detallados que permitan identificar las zonas de mayor amenaza de inundación, la gestión del territorio y la aplicación de la ley referente a la gestión de riesgos de desastres.

Se hace necesario desarrollar un estudio que permita analizar los riesgos asociados al Río Lebrija, para así cumplir con lo establecido en la Ley 1523 de 2012 y poder fortalecer la planificación territorial y gestión del riesgo del Municipio, desde un análisis del relieve donde se debe tener en cuenta los conocimientos de pendiente, hipsometría, dirección del flujo entre otros aspectos pertinentes a la topografía.

Según la Ley 1523 del 2012, sobre la gestión del riesgo de desastres, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres.

De acuerdo con lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo el análisis del relieve desde la topografía y usando información existente y modelos digitales de elevación permite identificar zonas susceptibles a inundación en la zona baja de la unidad hidrográfica del río Lebrija?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El río Lebrija ha presentado múltiples eventos de creciente e inundación que han generado afectaciones. En el municipio de Lebrija, especialmente en el corregimiento de Vanegas, se han registrado emergencias recientes con pérdidas humanas, viviendas destruidas y familias desplazadas, pone en evidencia necesidad el poco conocimiento que se tiene de la gestión del riesgo. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer los conocimientos y reducir los riesgos, mediante estudios.

Se hace evidente la necesidad de estudios que permitan identificar las zonas susceptibles a inundación, con el fin de fortalecer los procesos de planificación territorial y toma de decisiones.

La ausencia de información en variables topográficas, como el relieve, limita la implementación de medidas preventivas a este tipo de amenazas.

El presente trabajo abra una aplicación de herramientas de análisis geoespacial, como los Modelos Digitales de Elevación (DEM), que permiten evaluar variables como pendiente y dirección de flujo, facilitando la delimitación de áreas con mayor probabilidad de inundación. Este enfoque técnico contribuye al cumplimiento de lo establecido en la Ley 1523 de 2012, la cual promueve la gestión del riesgo de desastres como un proceso orientado al conocimiento, reducción y manejo del riesgo.

El estudio aportará información cartográfica y analítica útil para entidades territoriales, organismos de gestión del riesgo y la comunidad en general, promoviendo un desarrollo sostenible, protección de la comunidad y la reducción de pérdidas ante futuros eventos. Por ende, la investigación no solo es importante en lo académico, sino también un alto impacto social y territorial.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar zonas susceptibles a inundación en la zona baja de la unidad hidrográfica del Río Lebrija, mediante el análisis del relieve a partir de un DEM y herramientas de información geográfica (SIG) como apoyo a la gestión del riesgo y planificación territorial.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar datos geoespaciales mediante la recolección de información existente en informes, plataformas documentos técnicos vigentes que permitan la construcción de bases de datos y cartografía temática.
- Analizar el comportamiento del relieve en la zona de estudio, mediante herramientas SIG con el fin de identificar las condiciones geomorfológicas asociados con inundaciones.
- Delimitar las zonas susceptibles a inundación en la parte baja del Río Lebrija, mediante el análisis espacial del relieve, con el fin de apoyar la gestión del riesgo y planificación territorial.

1.4. ESTADO DEL ARTE

GLOBAL

- **Autor:** Md. Saiful Islam et al.

Fecha: 2025

Título: Geospatial flood susceptibility modelling using analytical hierarchy process: A case study in the south-central coastal region of Bangladesh.

El estudio desarrollado en la región costera centro-sur de Bangladesh utilizó un modelo de análisis jerárquico (AHP) integrado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar la susceptibilidad a inundaciones. Los investigadores analizaron diferentes factores relacionados con la amenaza, entre ellos la elevación, la pendiente y la densidad de drenaje. Los resultados mostraron que la elevación presentó la mayor influencia dentro del modelo, seguida por la pendiente y la densidad de drenaje.

El estudio demuestra la utilidad de integrar variables físicas del territorio mediante herramientas SIG para establecer diferentes niveles de susceptibilidad a inundaciones. Este antecedente es importante para investigaciones que buscan identificar zonas vulnerables, debido a que evidencia que las características topográficas y la configuración del drenaje pueden ser determinantes en la distribución espacial del peligro de inundación.

- **Autor:** Jusoh et al.

Fecha: 2019

Título: Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia.

En Perlis, Malasia, se desarrolló una investigación orientada a determinar la susceptibilidad a inundaciones mediante la integración del método Analytic Network Process (ANP), Sistemas de Información Geográfica y datos derivados de sensores remotos. El modelo consideró diferentes factores que influyen en la ocurrencia de inundaciones y permitió representar espacialmente cinco niveles de susceptibilidad, desde zonas con baja hasta muy alta susceptibilidad.

Los resultados evidenciaron que la integración de diferentes variables mediante SIG permite establecer espacialmente sectores prioritarios para la prevención y gestión del riesgo. Este antecedente aporta al presente estudio debido a que demuestra la utilidad de los métodos multicriterio para combinar información ambiental y territorial y generar mapas de susceptibilidad a inundaciones.

- **Autor:** BBC News Mundo

Fecha: 27 de enero de 2026

Título: *Las impresionantes imágenes del pueblo italiano que quedó al borde de un precipicio tras un enorme deslave.*

La BBC News Mundo (2026) informó sobre un deslizamiento de gran magnitud ocurrido en Niscemi, Sicilia, Italia, después de intensas lluvias y fuertes vientos asociados a la tormenta Harry. El movimiento del terreno afectó aproximadamente cuatro kilómetros de una ladera y generó una situación de riesgo para la población ubicada en sectores cercanos. Como medida preventiva, más de 1.500 habitantes fueron evacuados mientras las autoridades adelantaban estudios geológicos para determinar las condiciones de estabilidad del terreno.

Este acontecimiento permite evidenciar la influencia que pueden tener los eventos de precipitación intensa sobre la estabilidad del terreno y la seguridad de las poblaciones. Además, demuestra la importancia de realizar estudios preventivos que permitan identificar zonas susceptibles a movimientos del terreno y otros fenómenos asociados al agua. El caso constituye un referente para comprender la necesidad de integrar información ambiental, topográfica y geológica dentro de los procesos de gestión del riesgo.

- **Autor:** Gobierno de Canadá

Fecha: 2026

Título: *Flood Susceptibility Mapping.*

Canadá ha desarrollado una metodología nacional para representar espacialmente la susceptibilidad a inundaciones mediante modelos de inteligencia artificial. El sistema integra información relacionada con la elevación, el tipo de suelo, la cobertura del terreno, la vegetación, la precipitación y la temperatura, además de registros históricos de inundaciones. Dentro de los modelos evaluados se seleccionó XGBoost debido a su desempeño para estimar la probabilidad de inundación en diferentes sectores del territorio.

Este antecedente demuestra la evolución de las metodologías utilizadas para el análisis de inundaciones, pasando de modelos basados exclusivamente en información física hacia sistemas que integran grandes cantidades de datos ambientales y técnicas de inteligencia artificial. Su principal aporte consiste en evidenciar la importancia de combinar variables topográficas,

meteorológicas y de cobertura del suelo para mejorar la identificación de zonas susceptibles a inundación.

LATINOAMERICA

- **Autor:** Banco Interamericano de Desarrollo – BID

Fecha: febrero de 2016

Título: *Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores claves y experiencia adquirida.*

El Banco Interamericano de Desarrollo analizó los principales factores relacionados con la ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe. El estudio identifica aspectos como la urbanización, el cambio climático, la planificación territorial, la capacidad institucional y las deficiencias en los sistemas de drenaje como elementos que pueden incrementar las consecuencias de estos eventos.

El documento resalta que la gestión de las inundaciones requiere superar las acciones exclusivamente correctivas y avanzar hacia procesos de planificación, prevención y reducción del riesgo. Este antecedente resulta relevante porque permite comprender que las inundaciones no dependen únicamente de las condiciones naturales, sino también de la forma en que las poblaciones ocupan y transforman el territorio.

- **Autor:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL

Fecha: 2020

Título: *Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.*

La CEPAL (2020) plantea la necesidad de incorporar la gestión del riesgo de desastres dentro de los procesos de planificación del desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. El documento destaca que los efectos de los fenómenos naturales pueden aumentar cuando existen condiciones de vulnerabilidad, por lo que resulta necesario mejorar el conocimiento de las amenazas y fortalecer los sistemas de información utilizados para la toma de decisiones.

El aporte de este antecedente se relaciona con la importancia de generar información territorial que permita reconocer las condiciones de amenaza y vulnerabilidad antes de que ocurran los eventos. De esta manera, los estudios de susceptibilidad a inundaciones pueden convertirse en herramientas para apoyar la planificación territorial y la reducción del riesgo.

COLOMBIA

- **Autor:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

Fecha: diciembre de 2017

Título: *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación.*

El IDEAM desarrolló una guía metodológica orientada a proporcionar herramientas para el análisis y elaboración de mapas de inundación en Colombia. El documento establece criterios para estudiar estos fenómenos y mejorar el conocimiento del riesgo, considerando la necesidad de generar

información que permita identificar escenarios de amenaza y apoyar los procesos de prevención, control y reducción del riesgo de desastres.

Este antecedente es fundamental para el desarrollo de estudios relacionados con inundaciones en Colombia, debido a que proporciona lineamientos técnicos para la generación de información cartográfica y el análisis de las áreas susceptibles. Además, respalda la utilización de herramientas geográficas y metodologías de análisis territorial para mejorar el conocimiento de las condiciones de amenaza.

- **Autor:** Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD

Fecha: 2019

Título: *Informe de Gestión 2018.*

La Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres presentó en su informe de gestión las acciones desarrolladas para fortalecer la prevención, reducción y manejo de los desastres en Colombia. Dentro de sus líneas de trabajo se destaca la importancia de fortalecer la gestión del riesgo desde las comunidades y mejorar la capacidad institucional para responder ante los diferentes eventos naturales que afectan al territorio nacional.

Este antecedente permite reconocer que la reducción del riesgo requiere tanto del conocimiento de las amenazas como de la articulación entre las entidades responsables y las comunidades. Para los estudios de inundación, esta perspectiva resulta importante porque la identificación de zonas susceptibles debe estar acompañada de acciones de planificación y

prevención que permitan disminuir las posibles afectaciones sobre la población.

- **Autor:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

Fecha: 2024

Título: *Protocolo de Modelación Hidrológica e Hidráulica.*

El IDEAM incorporó dentro de sus documentos técnicos para el manejo del recurso hídrico un protocolo de modelación hidrológica e hidráulica, junto con una guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Estas herramientas buscan fortalecer la generación de información relacionada con el comportamiento del agua y apoyar los procesos de evaluación y gestión del riesgo en el territorio colombiano.

La incorporación de modelos hidrológicos e hidráulicos permite complementar el análisis espacial de las inundaciones con información sobre el comportamiento de los cuerpos de agua. Este antecedente aporta al estudio debido a que evidencia la importancia de utilizar información topográfica, hidrológica y cartográfica para comprender la distribución espacial de las áreas potencialmente afectadas.

SANTANDER

- **Autor:** Gobernación de Santander

Fecha: 15 de noviembre de 2017

Título: *Entrega de obras para la mitigación del riesgo en Santander.*

La Gobernación de Santander informó sobre la ejecución de obras destinadas a reducir el riesgo de inundaciones y otros fenómenos asociados a las lluvias en diferentes municipios del departamento. Entre las intervenciones se destacó la construcción de muros de protección en sectores cercanos al río Frío, en Girón, con el propósito de disminuir la afectación ocasionada por las inundaciones en una población que históricamente ha presentado problemas relacionados con estos eventos.

Este antecedente demuestra la presencia de amenazas asociadas a inundaciones en diferentes sectores de Santander y evidencia la necesidad de implementar medidas de reducción del riesgo. Asimismo, permite reconocer la importancia de complementar las obras de mitigación con estudios que permitan determinar previamente las zonas con mayor susceptibilidad.

- **Autor:** Gobernación de Santander – Oficina para la Gestión del Riesgo de Desastres

Fecha: 2023

Título: *Informe de Gestión 2023 – Obras de mitigación para la reducción del riesgo en el departamento de Santander.*

Durante 2023, la Gobernación de Santander reportó la ejecución de un programa de obras de mitigación para reducir el impacto de diferentes fenómenos naturales en el departamento. El informe registra 65 obras de mitigación y 48 municipios beneficiados, orientadas principalmente a disminuir las condiciones de riesgo y proteger la integridad de los habitantes y sus bienes.

El antecedente permite evidenciar que la gestión del riesgo en Santander requiere intervenciones diferenciadas de acuerdo con las condiciones de amenaza de cada municipio. Además, muestra la importancia de generar información sobre las zonas expuestas para orientar las obras y acciones de reducción del riesgo. Para una investigación relacionada con la identificación de zonas susceptibles a inundación, este contexto departamental permite establecer la necesidad de contar con información espacial que apoye la priorización de áreas y la planificación de medidas preventivas.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

Ordenamiento territorial en Colombia

El ordenamiento territorial constituye un instrumento fundamental para orientar la organización, ocupación y transformación del territorio, buscando establecer relaciones equilibradas entre la población, las actividades económicas, los recursos naturales y las condiciones físicas y ambientales existentes. En Colombia, el ordenamiento territorial adquiere especial importancia debido a la diversidad geográfica, ambiental, social y económica del país y a la existencia de territorios expuestos a diferentes amenazas naturales.

La planificación territorial permite determinar dónde es conveniente desarrollar actividades residenciales, productivas, industriales, comerciales, de infraestructura y conservación, teniendo en cuenta las características ambientales y físicas de cada territorio. En este sentido, el ordenamiento territorial no debe comprenderse únicamente como una herramienta para definir usos del suelo, sino como un mecanismo para orientar el desarrollo sostenible y disminuir conflictos derivados de la ocupación inadecuada del territorio.

La Ley 388 de 1997 establece los principios y mecanismos relacionados con el ordenamiento territorial municipal y señala la importancia de regular la utilización, transformación y ocupación del espacio. Dentro de esta perspectiva, los municipios deben incorporar las condiciones ambientales, sociales, económicas y de riesgo existentes en su territorio como elementos determinantes de la planificación.

El ordenamiento territorial tiene una relación directa con la gestión del riesgo de desastres, debido a que las decisiones sobre localización de asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas pueden aumentar o disminuir la exposición de la población frente a fenómenos naturales. Por esta razón, la identificación de áreas susceptibles a inundaciones constituye un insumo importante para la planificación territorial.

En el caso del municipio de Lebrija, el ordenamiento territorial se materializa principalmente mediante el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), instrumento que permite establecer criterios para la clasificación del territorio, los usos del suelo, la protección ambiental, la ocupación del suelo y la incorporación de condiciones de amenaza y riesgo.

Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT

El Esquema de Ordenamiento Territorial es el instrumento de planificación territorial utilizado por municipios que, de acuerdo con la normativa colombiana, se encuentran dentro de la categoría correspondiente para adoptar este tipo de instrumento.

El EOT tiene como finalidad orientar el desarrollo físico y espacial del municipio, estableciendo criterios para la utilización y ocupación del suelo urbano, rural y de expansión, así como las áreas destinadas a conservación, protección ambiental, infraestructura y prevención de riesgos.

El EOT integra información relacionada con aspectos físicos, ambientales, económicos, sociales y territoriales. Su contenido permite reconocer las características del municipio y establecer normas y estrategias para orientar su desarrollo.

Para el municipio de Lebrija, el EOT constituye una herramienta particularmente importante debido a la diversidad de condiciones físicas presentes en el territorio, incluyendo áreas montañosas, zonas de pendiente elevada, valles, sistemas de drenaje, cuerpos de agua, áreas agrícolas, asentamientos humanos y sectores expuestos a amenazas naturales.

El EOT original del municipio de Lebrija fue adoptado mediante el Acuerdo Municipal No. 011 del 28 de noviembre de 2003. El documento fue elaborado por la administración municipal y contiene componentes relacionados con diagnóstico, formulación, usos del suelo, clasificación territorial, aspectos ambientales y condiciones de amenaza. La documentación oficial del EOT se encuentra publicada por la Alcaldía Municipal de Lebrija y también existe una copia en el repositorio de la ESAP.

Evolución del EOT del municipio de Lebrija

El EOT de Lebrija no debe analizarse como un instrumento estático. Desde su adopción en 2003 ha presentado modificaciones y ajustes destinados a responder a nuevas condiciones territoriales, ambientales, normativas y de gestión del riesgo. El EOT fue adoptado inicialmente mediante el Acuerdo 011 de 2003. Posteriormente, mediante el Acuerdo 010 del 24 de julio de 2011, se adoptó una revisión excepcional del Esquema de Ordenamiento Territorial. Esta revisión incorporó nuevos contenidos relacionados con gestión del riesgo, estructura ecológica principal, clasificación del territorio, sistema vial, espacio público, usos del suelo y normas urbanísticas.

La revisión excepcional de 2011 resulta especialmente importante para la presente investigación porque incorporó de manera expresa un capítulo dedicado a la gestión del riesgo. Entre sus disposiciones se encuentran aspectos relacionados con el conocimiento de las amenazas, prevención, reducción del riesgo, actualización de mapas de amenazas, estudios de amenaza y riesgo, suelos de protección y sistemas de información geográfica.

Posteriormente, el municipio realizó otros ajustes al instrumento. Documentos oficiales de planificación municipal señalan que mediante el Acuerdo 034 de 2013 se realizó un ajuste al EOT y que mediante instrumentos expedidos en 2019 se realizaron modificaciones relacionadas con la cartografía y la clasificación territorial. Por lo tanto, para efectos de la presente investigación, el EOT debe ser entendido como un instrumento cuya base corresponde al Acuerdo 011 de 2003, pero que ha sido objeto de posteriores procesos de revisión y ajuste.

Componentes del EOT

El ordenamiento territorial municipal se estructura a partir de diferentes componentes que permiten abordar integralmente las características del territorio.

Dentro de estos componentes se encuentran:

- Componente general.
- Componente urbano.
- Componente rural.
- Normas urbanísticas.
- Sistema ambiental.
- Gestión del riesgo.
- Clasificación del suelo.
- Sistemas estructurantes.
- Programas y proyectos.
- Cartografía de soporte.

La articulación de estos elementos permite que las decisiones de planificación no se limiten a establecer usos del suelo, sino que consideren también las condiciones ambientales y las amenazas existentes.

En el caso de Lebrija, el EOT incorpora información relacionada con la clasificación territorial, estructura ecológica, amenazas naturales, usos del suelo, infraestructura, sistemas viales y condiciones ambientales.

Componente general del EOT de Lebrija

El componente general establece los principales objetivos, políticas y estrategias territoriales de largo plazo. En este componente se determinan elementos que afectan la totalidad del municipio y que sirven como marco para los componentes urbano y rural.

Dentro del componente general adquieren importancia los siguientes aspectos: visión territorial; objetivos de desarrollo; políticas territoriales; clasificación general del suelo; estructura ambiental; sistemas estructurantes; áreas de protección; amenazas y riesgos; infraestructura; conectividad; estrategias de desarrollo municipal.

El componente general permite interpretar el municipio como un sistema territorial integrado, donde las áreas urbanas y rurales se relacionan mediante sistemas ambientales, económicos, sociales y de infraestructura.

Para la presente investigación, este componente resulta importante debido a que la identificación de zonas susceptibles a inundación debe interpretarse dentro de la estructura territorial general del municipio y no únicamente como un fenómeno localizado.

Componente urbano

El componente urbano establece las condiciones de organización y desarrollo del suelo urbano. Incluye elementos relacionados con usos del suelo, tratamientos urbanísticos, infraestructura, espacio público, equipamientos, sistema vial, servicios públicos y áreas de protección.

En el municipio de Lebrija, el componente urbano también debe considerar las condiciones de amenaza existentes dentro de la cabecera municipal.

El EOT de 2003 identifica sectores urbanos con condiciones de amenaza por inundación. Específicamente, el artículo 75 establece que en la cabecera municipal existen sectores con amenaza media, entre ellos el barrio San Jorge, para los cuales se plantean medidas relacionadas con la mitigación y control de inundaciones.

Esta información permite comprender que el fenómeno de inundación no constituye exclusivamente una problemática rural, sino que puede presentarse también en sectores urbanos cuando existen condiciones topográficas, hidrológicas y de ocupación del territorio que favorecen la acumulación o desbordamiento del agua.

Componente rural

El componente rural tiene como propósito orientar la ocupación y utilización del suelo rural, teniendo en cuenta las características productivas, ambientales y sociales del territorio.

En este componente se consideran aspectos como:

áreas agrícolas; áreas forestales; áreas de conservación; áreas de protección; cuerpos de agua; infraestructura rural; centros poblados; vías rurales; actividades productivas; áreas de amenaza y riesgo.

Para Lebrija, este componente adquiere especial importancia debido a la extensión rural del municipio y a la presencia de diferentes sistemas naturales y productivos.

Las zonas rurales próximas al río Lebrija presentan una relación directa con la dinámica fluvial. Por esta razón, la planificación rural debe considerar las

condiciones de inundabilidad y las restricciones que puedan existir para la ocupación de determinadas áreas.

Clasificación del suelo en el EOT de Lebrija

La clasificación del suelo es uno de los elementos fundamentales del ordenamiento territorial, debido a que permite determinar el régimen de uso y ocupación aplicable a diferentes sectores del municipio.

La revisión excepcional de 2011 contempla un capítulo específico sobre clasificación del territorio y establece categorías relacionadas con suelo urbano, suelo de expansión y suelo rural.

De manera general, la clasificación territorial permite diferenciar:

Suelo urbano

Corresponde a las áreas destinadas principalmente al desarrollo de actividades urbanas y que cuentan o pueden contar con infraestructura y servicios requeridos para su urbanización.

Suelo de expansión urbana

Corresponde a áreas destinadas a la expansión de los asentamientos urbanos bajo condiciones de planificación y disponibilidad de servicios.

Suelo rural

Comprende las áreas destinadas principalmente a actividades agrícolas, pecuarias, forestales, de conservación y otras actividades propias del territorio rural.

Suelo de protección

Corresponde a áreas que, debido a sus características ambientales, paisajísticas o de amenaza, requieren condiciones especiales de protección y manejo.

Esta última categoría tiene especial importancia para la investigación porque las áreas expuestas a determinadas amenazas naturales pueden requerir restricciones en su ocupación.

Estructura ecológica principal

La estructura ecológica principal constituye un elemento fundamental dentro de la planificación ambiental del territorio. Su función es reconocer y proteger los elementos naturales que cumplen funciones ecológicas esenciales.

La revisión excepcional del EOT de Lebrija de 2011 incorporó expresamente disposiciones sobre la Estructura Ecológica Principal, incluyendo su definición, objetivos y tratamiento dentro del EOT.

La estructura ecológica se relaciona con:

áreas de conservación; bosques; nacimientos de agua; ríos; quebradas; rondas hídricas; áreas forestales protectoras; ecosistemas estratégicos; áreas de especial importancia ambiental.

Desde la perspectiva de la presente investigación, la estructura ecológica resulta relevante porque los sistemas hídricos constituyen elementos esenciales para comprender el comportamiento de las inundaciones.

Gestión del riesgo dentro del EOT de Lebrija

La gestión del riesgo constituye uno de los aspectos más importantes para el presente proyecto de investigación.

El EOT de 2003 reconoce las amenazas naturales y establece disposiciones relacionadas con su identificación y manejo. El artículo 73 define como áreas de amenaza aquellas zonas que presentan alta susceptibilidad a fenómenos como remoción en masa, inundación, represamiento y sismicidad. Para su identificación se consideran variables relacionadas con morfometría, geomorfología, dirección y forma de las pendientes, relieve, densidad de drenaje, suelos, erosión, altura, uso del suelo, clima y actividades antrópicas.

Esta disposición tiene una relación directa con la metodología de la presente investigación, debido a que evidencia que el propio EOT reconoce la importancia de las variables físicas del territorio para determinar condiciones de amenaza.

Además, el artículo 74 establece la necesidad de implementar un sistema de información de riesgos que permita actualizar permanentemente los estudios y la gestión del riesgo.

Por su parte, la revisión excepcional de 2011 fortaleció el componente de gestión del riesgo mediante disposiciones relacionadas con el conocimiento de las amenazas, actualización de mapas, estudios detallados, sistemas de información geográfica y seguimiento del EOT.

Amenaza por inundación según el EOT de Lebrija

La inundación constituye uno de los fenómenos naturales expresamente reconocidos por el EOT de Lebrija.

El artículo 75 del EOT establece disposiciones relacionadas con las amenazas naturales por inundación y señala que los asentamientos humanos localizados en áreas urbanas con amenaza alta de inundación por desbordamiento de cauces naturales deben ser objeto de medidas destinadas a evitar afectaciones sobre la vida y los bienes de la población.

El mismo artículo identifica al Centro Poblado de Vanegas como la zona de mayor amenaza por inundación. También reconoce sectores de amenaza media en la cabecera municipal, como el barrio San Jorge.

Esta identificación resulta fundamental para el presente proyecto porque la zona de estudio se encuentra asociada con la parte baja de la unidad hidrográfica del río Lebrija y específicamente con sectores próximos al centro poblado de Vanegas.

2.12. Vanegas y la amenaza por inundación

El centro poblado de Vanegas representa uno de los sectores más importantes para el análisis de inundaciones en el municipio de Lebrija.

De acuerdo con la información incorporada en el proyecto de investigación, el EOT identifica el sector comprendido entre las veredas El Conchal y Vanegas como un área de alta amenaza por inundación. Esta condición está relacionada con la proximidad al río Lebrija y con la desembocadura del río Cáchira del Sur.

La ubicación de Vanegas frente a estos sistemas hídricos genera una condición territorial que debe ser analizada desde la topografía y la hidrología.

la desembocadura del río Lebrija se encuentra a menos de 400 metros del caserío de Vanegas y que, durante incrementos importantes de los caudales, pueden presentarse condiciones de represamiento y desplazamiento del agua hacia sectores donde se encuentra ubicado el centro poblado.

Por lo anterior, Vanegas constituye un sector prioritario para el análisis espacial de susceptibilidad a inundación.

Relación entre EOT y análisis del relieve

El EOT de Lebrija reconoce que las condiciones del relieve constituyen una variable fundamental para determinar amenazas naturales.

El artículo 73 relaciona la identificación de amenazas con variables como la morfometría, geomorfología, pendientes, relieve y densidad de drenaje.

Esta consideración coincide con la metodología empleada en la presente investigación, en la cual se utiliza un Modelo Digital de Elevación para generar productos relacionados con: elevación; pendiente; hipsometría; aspecto; dirección de flujo; acumulación de flujo; zonas bajas; drenaje; geoformas.

El documento de investigación establece que el DEM constituye uno de los principales insumos para representar las características altimétricas del municipio y generar productos derivados del relieve.

Por lo tanto, existe una relación metodológica directa entre los criterios utilizados por el EOT y el análisis geomático desarrollado en la investigación.

Pendiente y susceptibilidad a inundación

La pendiente representa el grado de inclinación del terreno y constituye una variable importante para interpretar la dinámica superficial del agua.

En términos generales, las superficies con pendientes bajas presentan menores velocidades potenciales de escorrentía y pueden favorecer la acumulación temporal del agua, especialmente cuando se encuentran asociadas con zonas bajas, fondos de valle o áreas cercanas a cuerpos de agua.

Por el contrario, las pendientes elevadas favorecen el desplazamiento rápido del agua hacia sectores inferiores. Aunque las pendientes altas no necesariamente representan por sí mismas una zona de inundación, pueden contribuir a generar escorrentía que posteriormente se concentra en sectores de menor pendiente.

El proyecto de investigación utiliza el mapa de pendientes como uno de los productos principales derivados del DEM y reconoce su importancia para analizar el comportamiento superficial del terreno.

Hipsometría y zonas bajas

La hipsometría permite representar la distribución de las elevaciones del terreno.

Para el análisis de inundaciones, esta variable es importante porque permite diferenciar sectores altos, intermedios y bajos. Las zonas de menor elevación pueden funcionar como áreas receptoras de escorrentía y, dependiendo de la configuración del drenaje y la proximidad a los cauces, presentar mayores condiciones de susceptibilidad.

En el proyecto se desarrolló un mapa hipsométrico a partir del DEM para representar la distribución altitudinal del municipio. El análisis reconoce que el agua tiende a desplazarse desde sectores de mayor elevación hacia zonas de menor altura.

Dirección y acumulación de flujo

La dirección de flujo representa la trayectoria que puede seguir el agua superficial de acuerdo con la configuración topográfica del terreno.

La acumulación de flujo, por su parte, permite identificar sectores hacia los cuales converge una mayor cantidad de escurrimiento.

Estas dos variables son particularmente importantes para el análisis de inundaciones porque permiten reconocer áreas de concentración del agua y posibles trayectorias naturales de drenaje.

En la metodología del proyecto se plantea obtener la dirección y acumulación de flujo a partir del DEM para identificar drenajes, zonas bajas y sectores de concentración de agua.

Red hidrográfica y dinámica fluvial

La red hidrográfica constituye uno de los elementos principales para comprender las inundaciones.

El río Lebrija y sus tributarios forman un sistema de drenaje que condiciona las características ambientales y territoriales del municipio. Las zonas localizadas próximas a los cauces pueden presentar una mayor exposición a crecientes y desbordamientos.

El proyecto de investigación considera la red de drenaje como una variable relevante y plantea relacionarla con pendiente, elevación, acumulación de flujo y demás características del terreno.

El EOT también reconoce la importancia de la densidad de drenaje dentro de la identificación de áreas de amenaza, lo cual evidencia la relación existente entre el instrumento de ordenamiento territorial y el análisis hidro geomorfológico.

Rondas hídricas y protección de los cuerpos de agua

Las rondas hídricas constituyen áreas de importancia ambiental y territorial asociadas a los cuerpos de agua.

Su protección permite conservar las funciones ecológicas de los cauces y reducir procesos relacionados con erosión, socavación y ocupación inadecuada de áreas expuestas a crecientes.

La ocupación de estas zonas puede incrementar la exposición de viviendas, vías, infraestructura y actividades productivas.

En el proyecto de investigación se reconoce la proximidad a los cuerpos de agua como una variable de interés para la identificación de zonas susceptibles a inundación.

Geomorfología y ordenamiento territorial

La geomorfología estudia las formas del relieve, su origen, evolución y dinámica.

Su incorporación al ordenamiento territorial permite comprender las condiciones físicas que pueden favorecer diferentes procesos naturales.

En Lebrija, el análisis geomorfológico es importante debido a la diversidad del relieve municipal, donde se encuentran zonas montañosas, valles, laderas, crestas, depresiones y superficies asociadas con procesos fluviales.

La geomorfología permite establecer relaciones entre las formas del terreno y fenómenos como: inundaciones; erosión; movimientos en masa; avenidas torrenciales; socavación; sedimentación.

El EOT incorpora la geomorfología como una de las variables para determinar áreas de amenaza.

Sistema de Información Geográfica y EOT

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una herramienta fundamental para integrar la información territorial utilizada en el ordenamiento.

Mediante un SIG es posible superponer diferentes capas de información, realizar análisis espaciales, generar mapas temáticos y establecer relaciones entre variables físicas y ambientales.

La revisión de 2011 del EOT de Lebrija reconoce expresamente la importancia de los sistemas de información geográfica para la gestión de amenazas y riesgos.

En la presente investigación se utiliza QGIS para procesar información espacial y generar productos derivados del DEM.

La metodología del proyecto contempla la integración de variables como pendiente, elevación, dirección de flujo, acumulación de flujo, distancia a cuerpos de agua, red de drenaje, geomorfología e información ambiental.

Cartografía del EOT

La cartografía constituye un componente esencial del ordenamiento territorial porque permite representar espacialmente las decisiones adoptadas por el municipio.

Dentro de la cartografía asociada al EOT se encuentran mapas relacionados con: clasificación del territorio; usos del suelo; estructura ecológica; amenazas; sistema vial; áreas urbanas; áreas rurales; zonas de expansión; áreas de protección.

La revisión excepcional de 2011 incorporó actualización cartográfica y estableció planos relacionados con clasificación territorial, amenazas, zonificación ambiental, usos urbanos y otros elementos territoriales.

Para una investigación topográfica, la cartografía del EOT constituye una fuente fundamental de información secundaria, ya que permite comparar la planificación

territorial existente con la información geoespacial obtenida mediante modelos digitales de elevación y SIG.

EOT y gestión del riesgo de inundaciones

La relación entre ordenamiento territorial y gestión del riesgo puede entenderse a partir de tres procesos fundamentales:

Conocimiento del riesgo: identificación y caracterización de las amenazas y de los elementos expuestos.

Reducción del riesgo: implementación de medidas para disminuir las condiciones de amenaza y vulnerabilidad.

Manejo de desastres: preparación y respuesta ante eventos que puedan producir afectaciones.

En Lebrija, la revisión excepcional de 2011 fortaleció el componente de gestión del riesgo del EOT, incluyendo disposiciones relacionadas con conocimiento, prevención, reducción, estudios de amenaza, actualización cartográfica y sistemas de información geográfica.

Por ello, la generación de una cartografía actualizada de susceptibilidad a inundaciones puede contribuir a fortalecer el conocimiento territorial requerido para la gestión del riesgo.

EOT y POMCA del río Lebrija

El ordenamiento municipal debe relacionarse con los instrumentos de planificación ambiental de escala superior, especialmente con los instrumentos de ordenación de cuencas hidrográficas.

El POMCA del río Lebrija constituye un referente ambiental importante para interpretar las condiciones hidrográficas, geomorfológicas, ambientales y de amenaza existentes en el territorio.

El proyecto de investigación reconoce que la información del POMCA puede complementar el análisis de susceptibilidad a inundaciones mediante variables ambientales, hidrológicas, geomorfológicas y territoriales.

La articulación entre EOT y POMCA permite comprender que las inundaciones no deben analizarse únicamente desde los límites administrativos municipales, sino también desde la dinámica de la cuenca hidrográfica.

EOT, cambio climático y variabilidad climática

La variabilidad climática puede modificar temporalmente las condiciones de precipitación y temperatura y, en determinados escenarios, contribuir al aumento de caudales y escorrentía.

En consecuencia, la planificación territorial debe considerar las condiciones climáticas y la posibilidad de eventos hidrometeorológicos extremos.

El proyecto reconoce que la precipitación, temperatura, cobertura del suelo, elevación y pendiente pueden ser variables relevantes para comprender las condiciones ambientales asociadas con inundaciones.

La incorporación de criterios de adaptación al cambio climático dentro del ordenamiento territorial permite fortalecer la capacidad del municipio para anticipar posibles escenarios de riesgo.

2.2. MARCO LEGAL

- **Ley 1523 de 2012**

Establece la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia y crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Su objetivo es orientar las acciones de conocimiento, reducción y manejo de desastres para proteger a la población, los bienes y el medio ambiente frente a amenazas naturales o antrópicas. (Congreso de Colombia, 2012)

- **Ley 388 de 1997**

Regula el ordenamiento territorial en Colombia y establece los mecanismos para que los municipios planifiquen el uso y ocupación del suelo de manera sostenible. Su finalidad es promover el desarrollo equilibrado del territorio, mejorar la calidad de vida de la población, proteger los recursos naturales y prevenir la ocupación de zonas con riesgos para la comunidad. (Congreso de Colombia, 1997)

- **Decreto 2157 de 2017**

Establece las directrices para la elaboración e implementación de los Planes de Gestión del Riesgo de Desastres de las entidades públicas y privadas en Colombia. El decreto busca fortalecer la identificación, análisis y reducción de los riesgos, así como la preparación para responder ante posibles emergencias. Para el desarrollo de estudios relacionados con inundaciones, esta normativa es relevante porque promueve el conocimiento de las amenazas y la implementación de medidas orientadas a prevenir y reducir sus efectos sobre la población, la infraestructura y el territorio. (Presidencia de la República de Colombia, 2017)

2.3. MARCO AMBIENTAL

- **POMCA RIO LEBRIJA**

El municipio de Lebrija se encuentra relacionado con la cuenca hidrográfica del río Lebrija, por lo que el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica (POMCA) constituye un instrumento importante para la planificación y gestión ambiental del territorio. Este instrumento establece lineamientos para el manejo adecuado de los recursos naturales, la conservación de los ecosistemas y la regulación de los usos del suelo de acuerdo con las características ambientales y físicas de la cuenca.

Dentro del POMCA se consideran aspectos relacionados con la oferta y demanda del recurso hídrico, las condiciones de los ecosistemas, el uso y cobertura del suelo, las características geomorfológicas y las diferentes amenazas naturales presentes en la cuenca. Estos elementos permiten reconocer sectores que pueden presentar condiciones de susceptibilidad frente a fenómenos como inundaciones, movimientos en masa, erosión y procesos de socavación.

Para el municipio de Lebrija, la información proporcionada por el POMCA constituye un insumo relevante para la planificación territorial, especialmente en sectores próximos a ríos, quebradas y demás cuerpos de agua. La identificación de las áreas de protección y de las zonas con condiciones de amenaza permite establecer medidas orientadas a prevenir la ocupación inadecuada del territorio y reducir los posibles impactos sobre la población y la infraestructura.

En relación con el presente estudio, el POMCA del río Lebrija permite complementar el análisis de susceptibilidad a inundaciones mediante información ambiental, hidrológica, geomorfológica y territorial, contribuyendo a una mejor interpretación de las condiciones que favorecen la ocurrencia de estos eventos.

- **PLAN INTEGRAL DE GESTION DEL CAMBIO CLIMATICO TERRITORIAL DE SANTANDER-PIGCCT**

El Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial de Santander (PIGCCT) constituye un instrumento de planificación que busca orientar acciones de adaptación y mitigación frente a los efectos del cambio climático en el departamento. Dentro de sus principales componentes se encuentran la gestión del recurso hídrico, la protección de los ecosistemas, la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la capacidad de respuesta de los municipios frente a eventos climáticos extremos.

En el municipio de Lebrija, las condiciones climáticas y ambientales deben ser consideradas dentro de los procesos de planificación territorial, debido a que las variaciones en la precipitación pueden generar cambios en el comportamiento de las corrientes de agua y aumentar la posibilidad de ocurrencia de inundaciones en sectores con condiciones físicas favorables para la acumulación o desbordamiento del agua.

El PIGCCT permite incorporar criterios de adaptación al cambio climático en los procesos de ordenamiento y gestión territorial. En este sentido, el análisis de variables como precipitación, temperatura, pendiente, elevación, cobertura del suelo y proximidad a cuerpos de agua puede contribuir a reconocer áreas con mayor exposición frente a fenómenos hidrometeorológicos.

Para el presente estudio, este instrumento resulta relevante debido a que proporciona un marco de referencia para analizar la relación entre variabilidad climática, condiciones ambientales y riesgo de inundación en el municipio de Lebrija. La identificación espacial de sectores susceptibles puede contribuir a fortalecer las estrategias de prevención, adaptación y gestión del riesgo.

- **PROTECCIÓN DE RONDAS HÍDRICAS Y CUERPOS DE AGUA**

En el municipio de Lebrija, la protección de las fuentes hídricas constituye un elemento fundamental para la conservación ambiental y la prevención de riesgos asociados a fenómenos hidrológicos. Las rondas hídricas y las áreas forestales protectoras cumplen funciones importantes en la regulación del flujo de agua, la conservación de los ecosistemas asociados a los cauces y la reducción de procesos de erosión y socavación.

La ocupación o transformación inadecuada de estas áreas puede incrementar la exposición de viviendas, vías, cultivos e infraestructura ante crecientes y desbordamientos. Por esta razón, la delimitación y protección de las zonas asociadas a los cuerpos de agua debe ser considerada dentro de los procesos de ordenamiento territorial y gestión ambiental del municipio.

En el contexto del presente estudio, las rondas hídricas constituyen una variable de interés para determinar la susceptibilidad a inundaciones, debido a que la cercanía a los cauces representa una condición que puede aumentar la probabilidad de afectación durante eventos de precipitación intensa o crecientes. El análisis espacial de estas áreas, junto con variables como pendiente, elevación y precipitación, permite obtener una visión más completa de las condiciones territoriales relacionadas con el riesgo de inundación.

2.4. MARCO CONCEPTUAL

Hipsometría: Medida y representación de las variaciones en la altitud de la superficie terrestre con respecto al nivel medio del mar, utilizada habitualmente para categorizar rangos de elevación en cuencas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2021).

Modelo Digital de Elevación (DEM): Estructura numérica de datos matriciales que representa de manera cuantitativa e informatizada la distribución de la altitud de la superficie terrestre (Felicísimo, 1994).

Pendiente: Relación geométrica existente entre el desnivel vertical de una porción de terreno y la distancia horizontal que lo compone, expresada técnicamente en porcentaje o en grados sexagesimales (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Dirección de Flujo: Atributo hidrológico espacial asignado a cada celda de un modelo digital, el cual determina analíticamente la trayectoria del agua superficial hacia la celda vecina con menor cota altimétrica (Jenson & Domingue, 1988).

Acumulación de Flujo: Operación y matriz resultante dentro de un entorno informático que contabiliza el número total de celdas laderas arriba que drenan de forma acumulativa e indirecta hacia un píxel determinado (Tarboton, 1997).

Geomorfología: Disciplina científica que estudia la configuración estructural, las formas y el origen evolutivo de los diversos accidentes del relieve sobre la corteza terrestre (Biolley, 2010).

Variabilidad Climática: Fluctuaciones o variaciones naturales y temporales registradas en los valores medios de los parámetros meteorológicos, tales como la precipitación y la temperatura, respecto a una serie de datos histórica (IDEAM, 2015).

Teledetección: Técnica científica aplicada a la topografía que posibilita capturar, almacenar y analizar información física de la superficie terrestre a distancia,

empleando sensores montados sobre satélites o plataformas aéreas (Chuvieco, 2010).

Cartografía Temática: Rama de la cartografía orientada específicamente a la representación gráfica, simbólica y espacial de fenómenos geográficos, ambientales o socioeconómicos concretos sobre una base geográfica preexistente (IGAC, 2019).

Precipitación: Cantidad total de agua en estado líquido o sólido que cae desde la atmósfera y alcanza la superficie terrestre, siendo el factor meteorológico dinamizador de las crecientes en corrientes fluviales (IDEAM, 2017).

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Plataformas integradas de hardware, software y datos alfanuméricos diseñadas explícitamente para almacenar, manipular, analizar, modelar y visualizar información espacialmente georreferenciada (Olaya, 2014).

Calamidad Pública: Situación de afectación severa, de origen natural o antrópico, que altera de manera grave el orden social, económico y ambiental en un territorio, requiriendo la intervención coordinada del Estado (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2018).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto de investigación, es de tipo descriptiva con un enfoque cualitativo usando métodos de deductivo o de análisis y técnicas como:

- uso de teledetección de sistemas de información geográfica sig.
- análisis mediante imágenes satelitales
- uso de software SIG y el procedimiento o fases que se van a emplear para desarrollar el proyecto se presenta a continuación:

INICIO – Definición del área de estudio

El proceso metodológico comienza con la definición del área de estudio, correspondiente a una parte de la baja cuenca hidrográfica del río Lebrija, en el departamento de Santander. En esta etapa se establece espacialmente el sector sobre el cual se desarrollará el análisis.

La delimitación del área es fundamental porque permite determinar qué información geográfica, topográfica, hidrológica y ambiental debe ser recopilada y procesada. Además, establece los límites espaciales para la generación de los mapas y el análisis posterior de las condiciones de susceptibilidad a inundación.

FASE 1. Recolección y procesamiento de información

La primera fase corresponde a la recolección, organización y preparación de la información necesaria para desarrollar el estudio. Su objetivo es obtener una base de datos confiable que permita realizar posteriormente los análisis espaciales.

1. Revisión bibliográfica y documental

Inicialmente se realiza una revisión de investigaciones, artículos científicos, documentos técnicos, estudios anteriores y normativa relacionada con inundaciones, gestión del riesgo, análisis territorial, Sistemas de Información Geográfica (SIG), modelos digitales de elevación y variables hidrológicas.

Esta revisión permite conocer las metodologías utilizadas anteriormente y seleccionar los procedimientos más adecuados para el análisis de susceptibilidad a inundaciones en el área de estudio.

2. Obtención de cartografía base

Posteriormente se recopila la cartografía base proveniente de fuentes oficiales como IGAC, IDEAM y la Alcaldía, entre otras entidades que dispongan de información geográfica relevante.

La cartografía puede incluir límites administrativos, red hidrográfica, vías, centros poblados, curvas de nivel, drenajes y demás elementos necesarios para representar correctamente el territorio.

3. Descarga de Modelos Digitales de Elevación – DEM

Se obtienen Modelos Digitales de Elevación (DEM) para representar las características altimétricas del territorio.

El DEM constituye uno de los insumos principales del estudio, debido a que permite obtener información sobre la elevación y pendiente del terreno, así como realizar posteriormente análisis de dirección y acumulación de flujo, identificación de drenajes y delimitación de zonas bajas.

4. Información hidrológica y ambiental

En esta etapa se recopila información relacionada con las condiciones hidrológicas, climáticas y ambientales del área de estudio.

Puede incluir información sobre precipitación, cuerpos de agua, red de drenaje, cobertura y uso del suelo, características ambientales y antecedentes de inundaciones.

Estas variables permiten complementar el análisis topográfico y comprender qué condiciones naturales pueden favorecer la ocurrencia o acumulación de agua.

5. Construcción de la base de datos geográfica

Toda la información recopilada se organiza dentro de una base de datos geográfica, procurando que los diferentes archivos tengan un sistema de coordenadas compatible y una adecuada organización de atributos.

Esto permite integrar posteriormente la información en un entorno SIG y facilitar su procesamiento, análisis y representación cartográfica.

6. Procesamiento, depuración y validación de la información

Los datos recopilados son revisados y preparados para su utilización. Se verifican errores, información duplicada, diferencias de proyección, inconsistencias geométricas y posibles problemas de calidad.

Esta etapa es importante porque garantiza que los datos utilizados en las siguientes fases sean confiables y compatibles entre sí.

FASE 2. Análisis e interpretación del relieve

La segunda fase constituye el análisis espacial y topográfico del territorio. En ella se utilizan principalmente los Modelos Digitales de Elevación y las herramientas SIG

para conocer cómo se comporta el relieve y cómo podría influir en la circulación y acumulación del agua.

1. Generación del mapa de pendiente

A partir del DEM se genera el mapa de pendientes, que permite identificar las zonas con mayor y menor inclinación del terreno.

Las áreas con pendientes bajas pueden presentar mayores condiciones para la acumulación de agua, mientras que las zonas con mayor pendiente favorecen el desplazamiento superficial del agua hacia sectores más bajos.

Por esta razón, la pendiente constituye una variable importante dentro del análisis de susceptibilidad a inundación.

2. Generación del mapa hipsométrico

El mapa hipsométrico representa la distribución de las diferentes elevaciones del terreno mediante rangos de altura.

Este mapa permite identificar las zonas altas, medias y bajas del área de estudio. Su importancia radica en que el agua generalmente se desplaza desde sectores de mayor elevación hacia áreas de menor elevación, por lo que las zonas bajas pueden presentar mayor posibilidad de acumulación.

3. Determinación de la dirección de flujo

Mediante el procesamiento del DEM se determina la dirección de flujo superficial del agua.

Este procedimiento permite establecer hacia dónde tendería a desplazarse el agua sobre el terreno de acuerdo con las características topográficas. La información

obtenida ayuda a comprender la dinámica del drenaje superficial y a identificar posibles trayectorias de escorrentía.

4. Determinación de la acumulación de flujo

A partir de la dirección de flujo se genera el mapa de acumulación de flujo.

Esta herramienta permite identificar los lugares donde converge una mayor cantidad de flujo superficial. Los sectores con altos valores de acumulación pueden relacionarse con cauces, drenajes naturales y zonas donde existe una mayor concentración del agua.

5. Identificación de zonas bajas y áreas de drenaje

Se identifican las áreas con menor elevación y los principales sectores de drenaje, relacionándolos con la red hidrográfica existente.

Esta actividad permite reconocer aquellos sectores donde las condiciones topográficas pueden favorecer la concentración o permanencia del agua durante eventos de precipitación intensa.

6. Análisis geomorfológico del territorio

Se realiza un análisis geomorfológico, teniendo en cuenta las formas del relieve, pendientes, drenajes, elevaciones y características físicas del territorio.

Este análisis permite interpretar de manera conjunta cómo la configuración del terreno puede influir en el comportamiento del agua y en la distribución espacial de las zonas susceptibles.

Integración de variables topográficas en SIG

Una vez generados estos productos, se integran las diferentes variables dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG).

En esta etapa se combinan variables como:

Pendiente.

Elevación.

Dirección de flujo.

Acumulación de flujo.

Distancia a los cuerpos de agua.

Red de drenaje.

Características geomorfológicas.

Información hidrológica y ambiental.

La integración permite pasar del análisis individual de cada variable a una interpretación conjunta de las condiciones de susceptibilidad del territorio.

FASE 3. Delimitación de zonas susceptibles a inundación y resultados

La tercera fase corresponde a la identificación, clasificación y representación de las zonas susceptibles a inundación. En esta etapa se integran los resultados obtenidos anteriormente para generar el producto cartográfico final.

1. Clasificación de niveles de susceptibilidad

Las variables seleccionadas se integran para establecer diferentes niveles de susceptibilidad a inundación.

Por ejemplo, el territorio puede clasificarse en categorías como:

Muy baja susceptibilidad.

Baja susceptibilidad.

Moderada susceptibilidad.

Alta susceptibilidad.

Muy alta susceptibilidad.

La clasificación permite diferenciar espacialmente los sectores que presentan mayores o menores condiciones para verse afectados por inundaciones.

2. Análisis espacial y delimitación de zonas susceptibles

Con los resultados de la clasificación se realiza el análisis espacial para delimitar las áreas susceptibles a inundación.

En esta etapa se identifican específicamente los sectores donde coinciden varias condiciones favorables para la ocurrencia o acumulación de agua, como baja pendiente, baja elevación, alta acumulación de flujo y cercanía a cuerpos de agua.

3. Elaboración de mapas temáticos

Se generan los mapas temáticos correspondientes a las variables analizadas y al resultado final.

Estos mapas permiten representar gráficamente la información y facilitar la interpretación de los resultados. Entre ellos pueden encontrarse:

Mapa de pendiente.

Mapa hipsométrico.

Mapa de dirección de flujo.

Mapa de acumulación de flujo.

Mapa de drenajes.

Mapa de variables ambientales.

Mapa final de susceptibilidad a inundación.

4. Validación de resultados con información secundaria

Los resultados obtenidos son comparados con información secundaria, como registros históricos de inundaciones, información institucional, estudios anteriores, imágenes satelitales, reportes de eventos y cartografía disponible.

La validación permite determinar si las zonas clasificadas como susceptibles presentan correspondencia con antecedentes reales de inundación o con condiciones territoriales que justifiquen dicha clasificación.

5. Análisis e interpretación de resultados

Una vez realizada la validación, se interpretan los resultados para determinar cuáles son las principales zonas susceptibles y qué variables tienen mayor influencia en su distribución espacial.

Esta interpretación permite establecer relaciones entre el relieve, la hidrología, las características ambientales y la posible ocurrencia de inundaciones en la baja cuenca del río Lebrija.

6. Formulación de recomendaciones para la gestión del riesgo

A partir de los resultados se formulan recomendaciones orientadas a la prevención y gestión del riesgo.

Estas recomendaciones pueden estar relacionadas con:

Ordenamiento y planificación del territorio.

Protección de rondas hídricas.

Control de ocupación de zonas susceptibles.

Conservación de áreas de drenaje natural.

Monitoreo de sectores críticos.

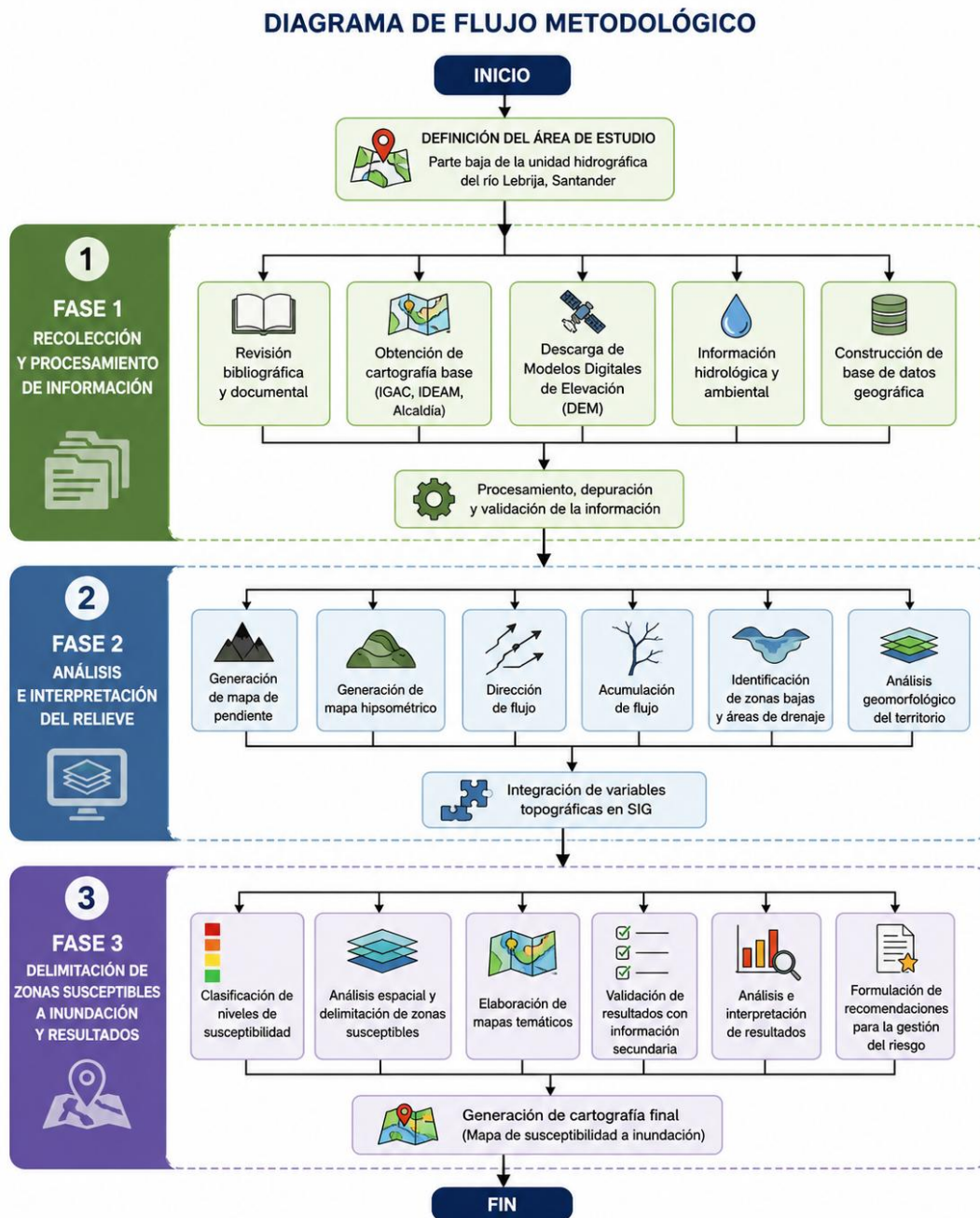
Fortalecimiento de la información cartográfica.

Implementación de medidas preventivas ante temporadas de lluvias.

Como resultado de las tres fases se obtiene la cartografía final de susceptibilidad a inundación de la parte baja de la cuenca hidrográfica del río Lebrija, Santander. Este producto permite identificar y representar espacialmente las áreas con diferentes niveles de susceptibilidad, proporcionando información que puede ser utilizada como apoyo para la planificación territorial, gestión del riesgo, prevención de inundaciones y toma de decisiones.

A Continuación, Se Presenta Diagrama De Flujo Explicado Anteriormente:

Figura 2. Diagrama de Flujo



*Fuente: Elaborado por autores con instrucción de inteligencia artificial (ChatGpt),
bajo instrucciones.*

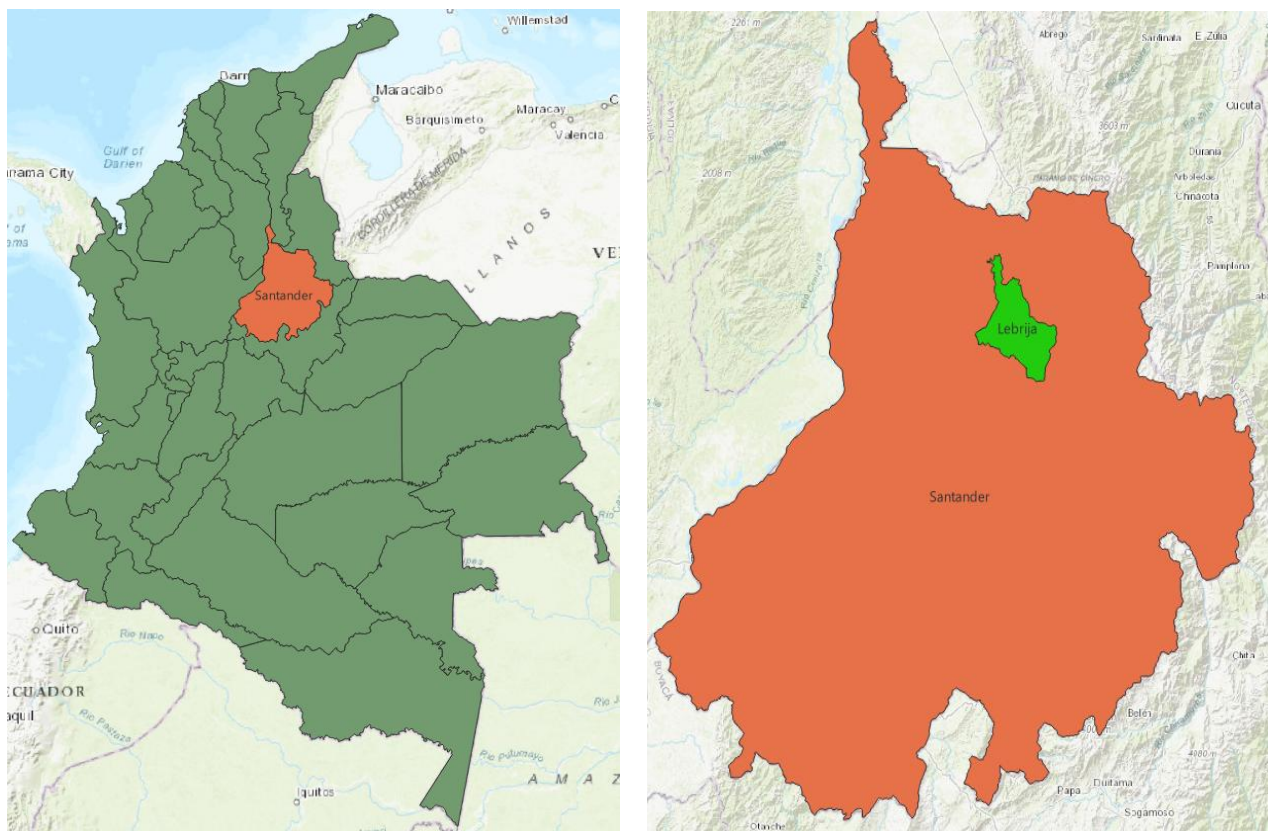
la metodología es una estrategia de enseñanza-aprendizaje centrada en el estudiante, que busca integrar conocimientos teóricos y práctico a través de un proyecto como tal.

esta metodología propone que enfrente un problema vinculado al contexto territorial, social y ambiental, que a partir de allí utilicen herramientas de análisis geográfico y de sistema de información geográfica (SIG) para plantear soluciones o generar productos aplicados área de estudio.

4.DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Lebrija es un municipio del departamento de Santander, en el noreste de Colombia, se ubica a 15km de Bucaramanga, a menos de 3km del aeropuerto internacional Palonegro. Sus coordenadas aproximadas son 7°25'N 73°25'O. Cuenta con una extensión de unos 550 km², una altura media de 1.055 m s. n. m. y una temperatura promedio de 20 °C a 23 °C. Se le conoce como la Capital Piñera de Colombia.

Figura 3. Ubicación área de estudio.



Fuente: Elaborado por autores basado a partir de información suministrada de Colombia en mapas-IGAC 2026 y modificada a través de QGIS.

4.1 Fase 1: Recolección y procesamiento de información

En la primera fase del proyecto corresponde a recolección, selección, organización y procesamiento inicial de información geoespacial, cartográfica y normativa necesaria para el desarrollo de la investigación. Esta etapa construye la base para la generación cartográfica y para el análisis del relieve del municipio de Lebrija, Santander mediante herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se inicio recopilando y revisión de información secundaria relacionada con las características físicas y territoriales del municipio. Para ello se consultaron documentos técnicos, información cartográfica existente y normativa territorial, incluyendo el Esquema Territorial del municipio de Lebrija (EOT), para así reconocer las condiciones del territorio y los antecedentes relacionados con las amenazas naturales y la gestión del riesgo.

Uno de los principales insumos utilizados fue el Modelo Digital de Elevación (DEM) suministrado de la plataforma de Alaska Vertex, obtenido con una resolución espacial de 12,5 metros. Este modelo es una fuente fundamental para este estudio, debido a que permite representar digitalmente la distribución de las elevaciones del terreno y sirve para generar diferentes productos derivados del relieve.

A partir de la información de la plataforma Colombia en Mapas-IGAC, se descargó información relacionadas con suelos, drenajes dobles y sencillos, estos elementos relevantes para la interpretación territorial debido a su relación con la dinámica del agua superficial y con procesos erosivos, avenidas torrenciales e inundaciones.

Así mismo, se recopiló información geológica proveniente del Servicio Geológico Colombiano, correspondiente a las estructuras y fallamiento presente en la zona de estudio, la información obtenida permitió identificar la Falla de Espino y la Falla de Lebrija, las cuales fueron consideradas para la interpretación del relieve.

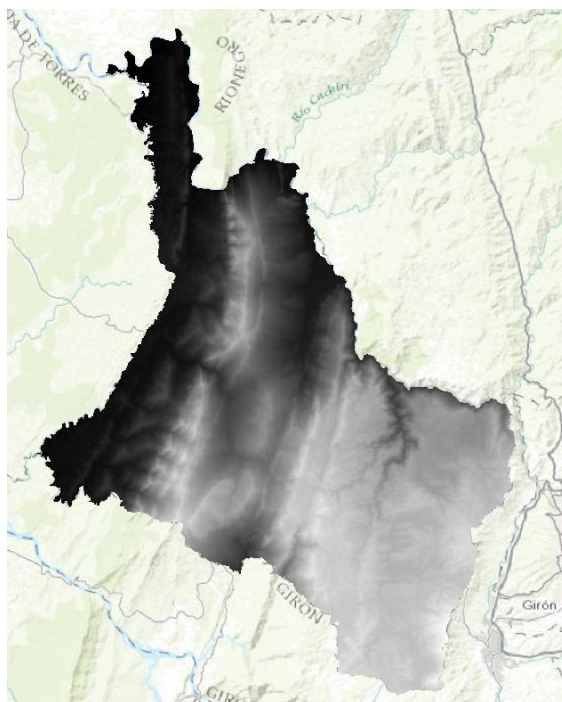
4.2 Fase 2: Análisis e interpretación del relieve

La segunda fase del proyecto corresponde al análisis e interpretación de la información geoespacial recopilada durante la fase uno, con el propósito de caracterizar las condiciones topográficas y geomorfológicas del área de estudio. Para el desarrollo de esta fase se utilizaron herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), principalmente en el software QGIS, en el cual se interpretaron y procesaron las diferentes capas cartográficas y el Modelo Digital de Elevación (DEM).

Uno de los principales insumos utilizados en el desarrollo del proyecto es el Modelo Digital de Elevación (DEM), debido a que permite interpretar de manera digital la distribución espacial de las elevaciones del terreno.

A partir del DEM se generaron diferentes productos que permitieron analizar la variabilidad del relieve; entre ellos se encuentran el Mapa de Sombras, Mapa de Pendientes, Mapa Hipsométrico, Mapa de Aspectos. Cada uno de estos productos permitió representar una característica específica del territorio.

Figura 4. Recorte DEM del Municipio de Lebrija.



Fuente: Elaborado por autores, basado en el Modelo Digital de Elevación, descargado de la plataforma de Alaska Vertex y modificada a través del software QGIS.

En primer lugar, se generaron diferentes representaciones de Mapas de Sombra (Hillshade), generados a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM), para mejorar la interpretación de relieve.

Para el presente estudio se generaron cuatro representaciones de Hillshade con diferente azimuth de 0°, 135°, 240° y 315°, que correspondientes a diferentes direcciones de iluminaciones sobre el territorio. El propósito de utilizar diferentes azimuths fue observar el relieve desde distintas direcciones y evitar que determinadas formas del terreno quedaran ocultas debido a una única dirección de iluminación. De esta manera, los diferentes mapas de sombras funcionan como

herramientas complementarias para mejorar la interpretación visual del relieve del municipio de Lebrija y facilitar la identificación de crestas, valles, laderas, cambios de pendiente, escarpes y otras irregularidades de la superficie terrestre.

Figura 4. Hillshade con azimut de 0°

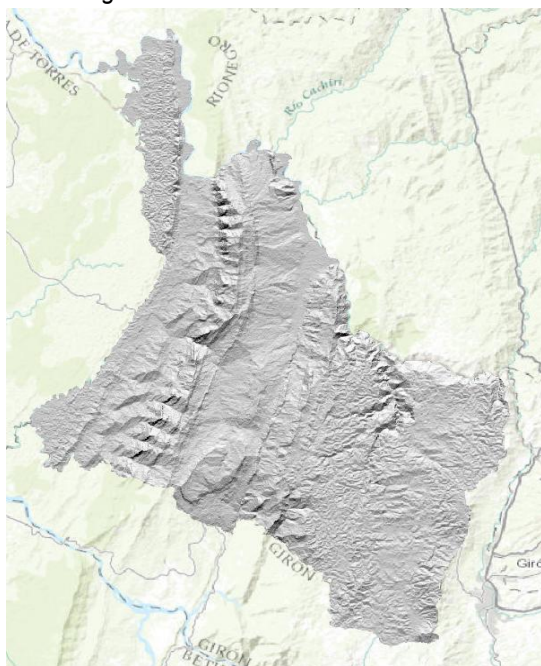


Figura 5. Hillshade con azimut de 135°

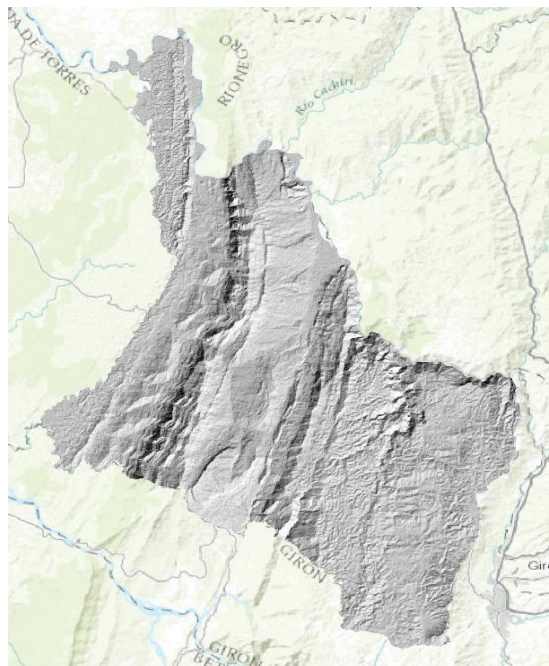


Figura 6 . Hillshade con azimut de 240°

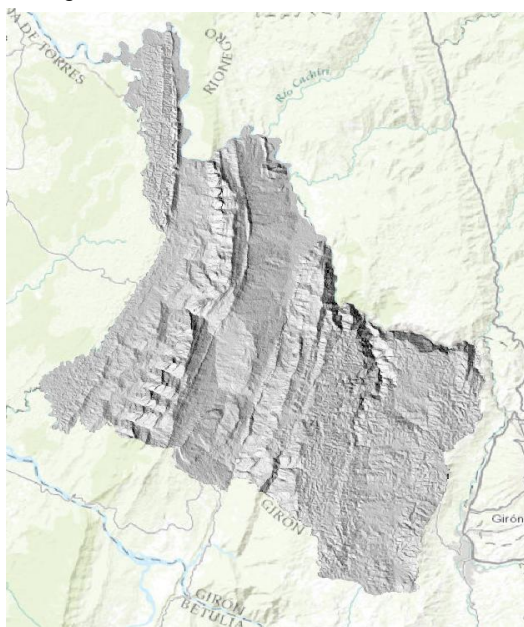
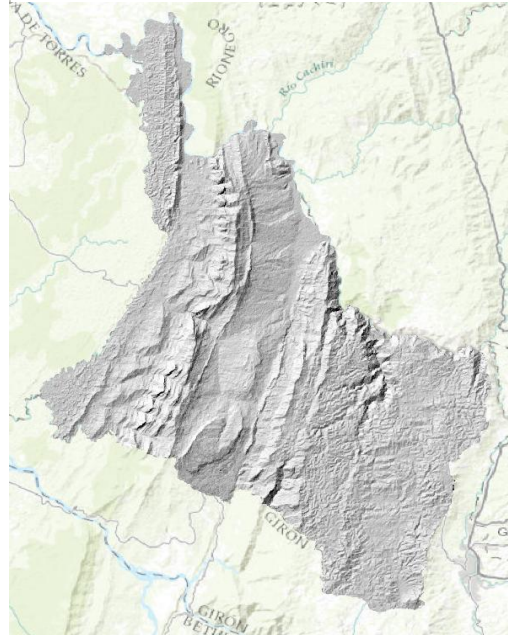


Figura 7. Hillshade con azimut de 315°

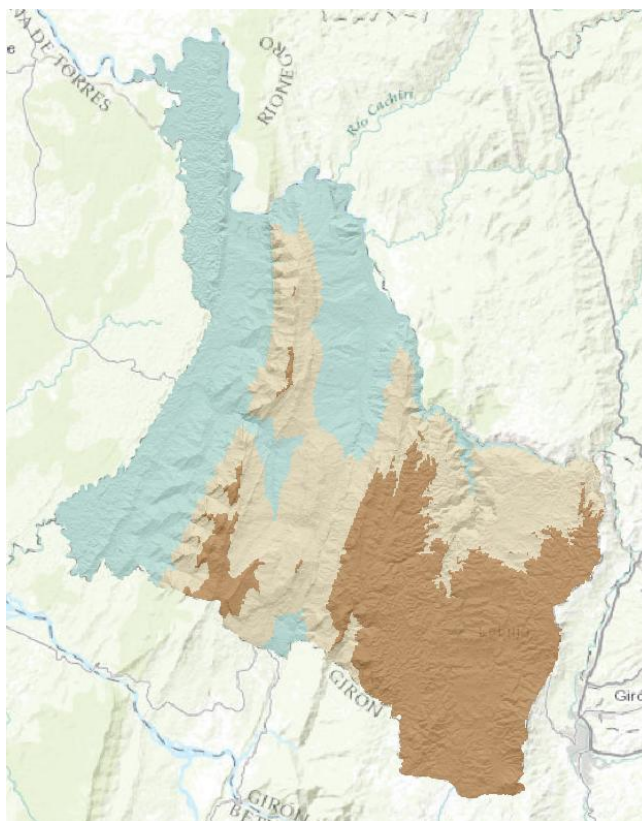


Fuente: Elaborado por autores, a partir del Modelo Digital de Elevación

La elaboración del mapa hipsométrico se realizó a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM), del cual se obtuvo la información de altitud del área de estudio. Posteriormente, los valores de elevación fueron clasificados en tres categorías: baja, media y alta, con el fin de facilitar la interpretación espacial de las diferencias de altura presentes en el municipio. El mapa hipsométrico se realiza porque conocer la distribución de las alturas del terreno es fundamental para interpretar las condiciones físicas del territorio. La elevación influye directamente en la dirección y comportamiento de la escorrentía superficial, ya que el agua tiende a desplazarse desde las zonas de mayor altura hacia las zonas más bajas.

Por esta razón, la información hipsométrica permite reconocer sectores que pueden funcionar como zonas de concentración o recepción del agua, así como áreas ubicadas en posiciones topográficas más elevadas. Esta información constituye una base importante para posteriormente relacionar el relieve con otros factores, como la pendiente, la red de drenaje y los posibles escenarios de amenaza.

Figura 5. Mapa hipsométrico



Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

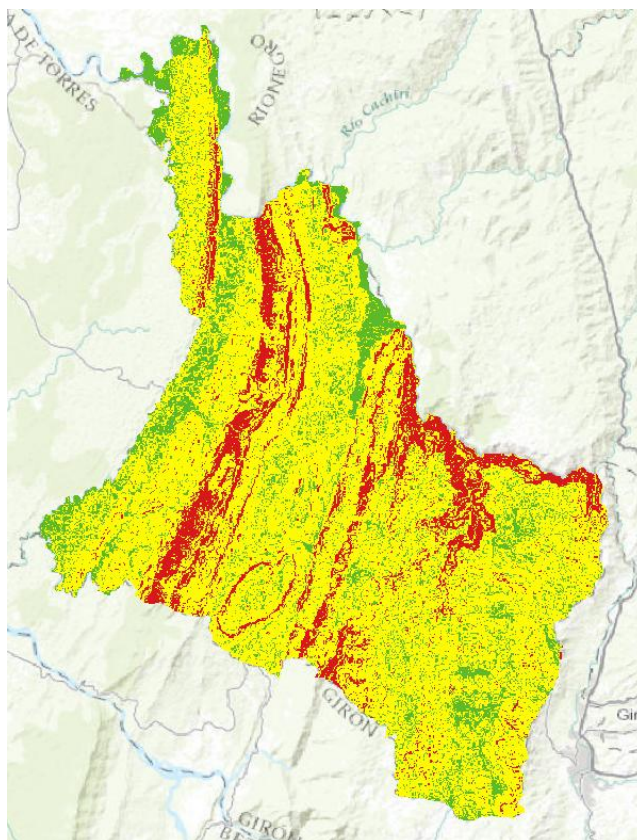
Posteriormente se realizó el mapa de pendientes, un producto derivado del Modelo Digital de Elevación (DEM) que permite representar la inclinación de la superficie del terreno, la pendiente constituye una variable fundamental para el análisis del relieve.

Su análisis permite identificar sectores donde pueden presentarse diferentes comportamientos geomorfológicos y establecer relaciones con procesos como la erosión, los movimientos en masa y las avenidas torrenciales.

se hizo una clasificación por zonas y por porcentajes (pendientes bajas, medias y altas).

Se utiliza porque constituye uno de los factores físicos que condicionan la dinámica superficial del terreno. Cuando aumenta la pendiente es mayor inclinación, mayor velocidad potencial de escorrentía, mayor capacidad de transporte de sedimentos, mayor posibilidad de erosión.

Figura 6. Mapa de pendientes altas, medias y bajas



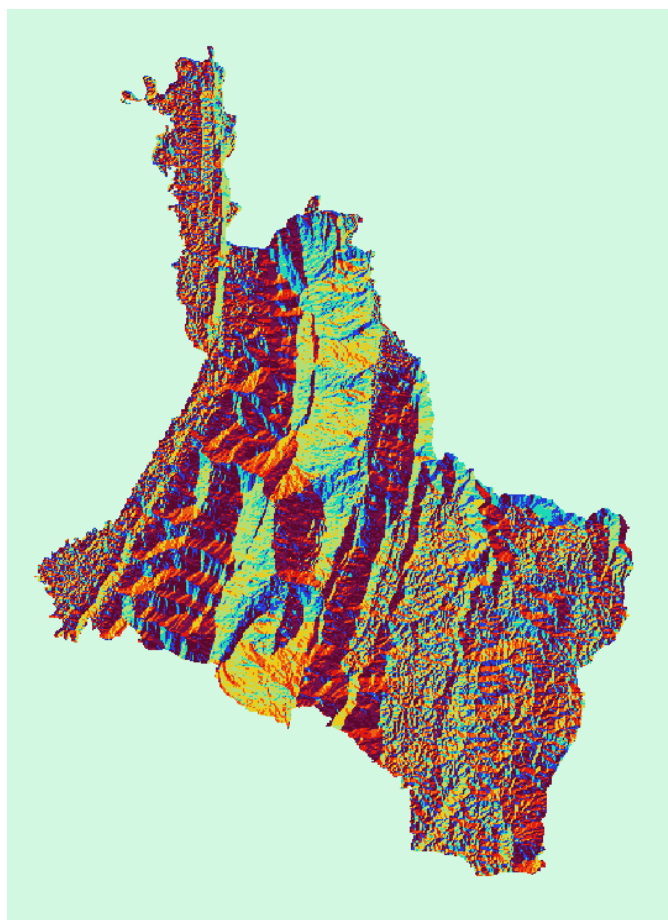
Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

El mapa de aspectos es un producto derivado del Modelo Digital de Elevación que permite representar la orientación o dirección hacia la cual se encuentran inclinadas las laderas del terreno. Su elaboración permite complementar la información obtenida mediante el mapa de pendientes, ya que mientras este último determina el grado de inclinación de la superficie, el aspecto permite establecer la dirección en la que se orienta dicha inclinación.

La elaboración de este mapa fue necesaria para reconocer la distribución espacial de las orientaciones de las laderas dentro del municipio de Lebrija y complementar

la caracterización topográfica y geomorfológica del territorio, Mediante el procesamiento del modelo en QGIS se determinó la orientación de cada celda del terreno y posteriormente los valores obtenidos fueron clasificados y representados cartográficamente de acuerdo con las diferentes direcciones: norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste.

Figura 7. Mapa de Aspecto



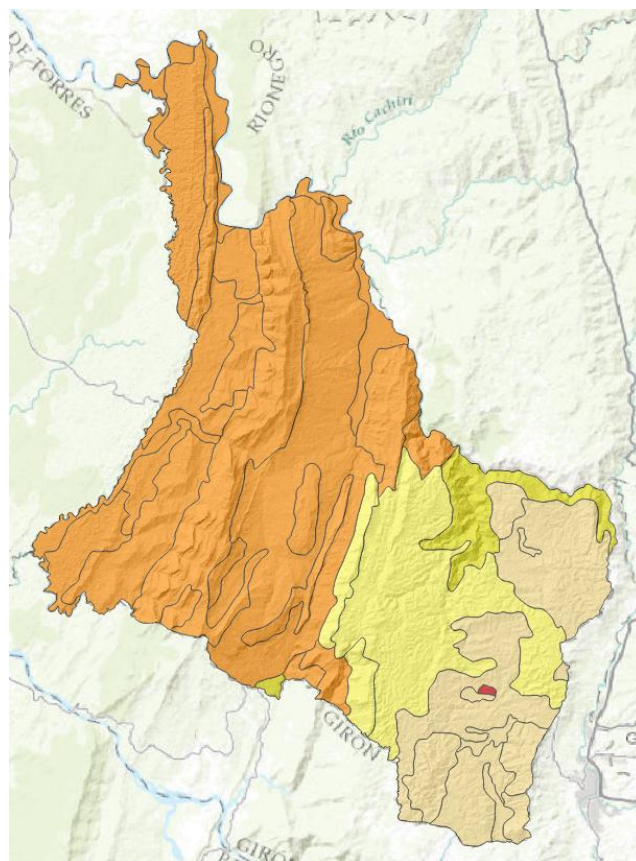
Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

La información climática utilizada fue obtenida mediante la plataforma Colombia en Mapas, a partir de información disponible para el departamento de Santander, realizando posteriormente el recorte correspondiente al municipio de Lebrija.

La elaboración de este mapa fue necesaria debido a que las condiciones climáticas pueden intervenir en diferentes procesos geomorfológicos. La precipitación y la humedad pueden favorecer la saturación del suelo, el aumento de la escorrentía superficial, la erosión y determinados procesos de inestabilidad de laderas.

El mapa de climas permitió establecer una relación espacial entre las condiciones ambientales y las características del relieve. Las zonas húmedas y muy húmedas pueden presentar mayor disponibilidad de agua en el suelo y, cuando coinciden con pendientes elevadas y otras condiciones condicionantes, pueden favorecer procesos como movimientos en masa. Por otra parte, las zonas con menor humedad y menor cobertura vegetal pueden presentar mayor exposición del suelo a procesos erosivos.

Figura 8. Mapa de Climas.

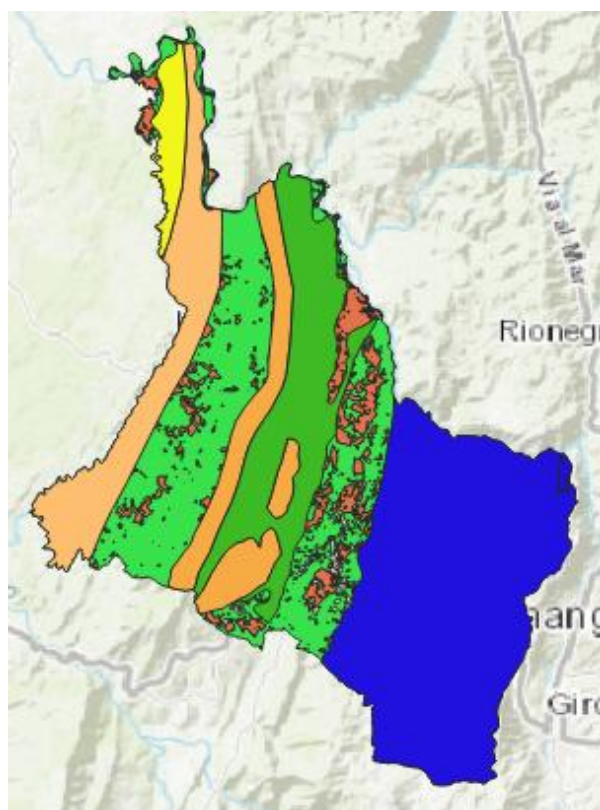


Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada de Colombia en mapas-IGAC y modificada a través del software QGIS.

Para la elaboración del siguiente mapa, la información se obtuvo de la plataforma del servicio Geológico Colombiano, la elaboración de este mapa permite conocer qué tipo de material geológico se encuentra en cada sector del municipio y comprender cómo las características de estos materiales pueden relacionarse con la configuración actual del relieve y con determinados procesos geomorfológicos. las características geológicas del terreno pueden influir en su comportamiento frente a procesos de meteorización, erosión, fracturamiento y pérdida de estabilidad. Los diferentes materiales geológicos presentan propiedades particulares de resistencia

y susceptibilidad, por lo que su distribución espacial constituye una variable importante para interpretar las condiciones físicas del territorio. las Unidades Geológicas Cartográficas se consideraron una variable condicionante y de apoyo para la interpretación, debido a que determinados materiales pueden presentar diferente comportamiento frente a la acción del agua, la meteorización y la erosión.

Figura 9. Mapa UGC



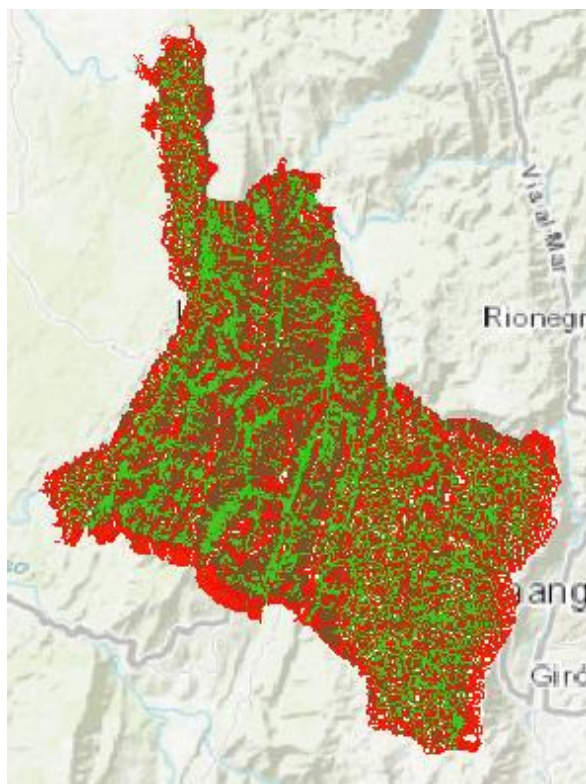
Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada del Servicio Geológico Colombiano y modificada a través del software QGIS.

El mapa de geoformas constituye un producto cartográfico orientado a identificar y representar las principales formas que presenta la superficie terrestre en el municipio A partir del procesamiento de las características topográficas del terreno

se identificaron diferentes formas del relieve, entre ellas crestas, valles, laderas, espolones, hombros, pies de ladera, zonas planas, depresiones, cumbres.

La realización del mapa permitió realizar una interpretación más completa de la configuración del relieve y reconocer las condiciones del terreno que pueden favorecer diferentes procesos, como erosión, movimientos en masa, concentración de escorrentía y acumulación de sedimentos.

Figura 10. Mapa de Geoformas.



Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada de Colombia en mapas-IGAC y modificada a través del software QGIS.

Del servicio geológico colombiano se obtuvo el shp de fallas las cuales se recortaron para el municipio encontrando que las principales fallas que están presente son

Falla de Espino y Falla de Lebrija esto hace que en el análisis de las geoformas se observen unos pliegues y unas facetas triangulares en la zona de estudio haciendo que haya una ruptura del relieve.

Se cuenta con el shp de los drenajes de Santander teniendo en cuenta los principales drenajes de la zona de estudio; estos drenajes influyen también en la remoción en masa y en las avenidas torrenciales y en procesos de inundación en pendientes más bajas y planas

Este trabajo se realizó bajo el software SIG de QGIS, software libre; se hizo un buffer tanto a las fallas como a los drenajes.

Figura 11. buffer de drenajes a 100

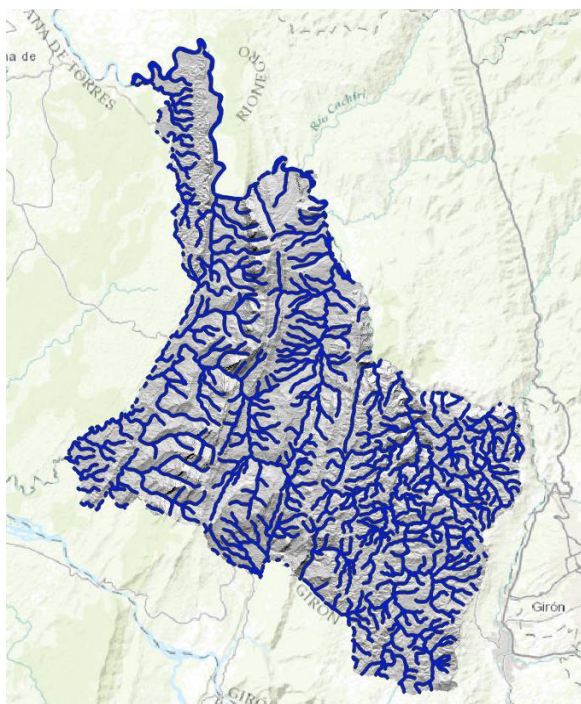
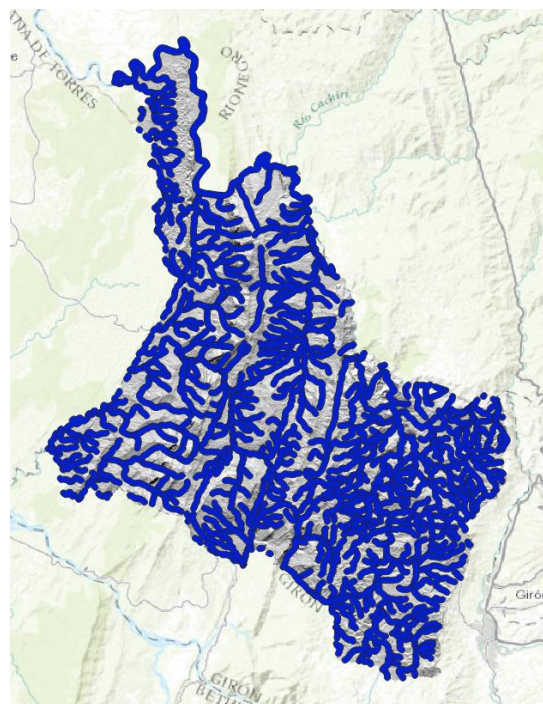


Figura 12. buffer de drenajes a 200



Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada de Colombia en mapas-IGAC y modificada a través del software QGIS

La incorporación de estas estructuras permitió complementar la interpretación del relieve, debido a que las estructuras geológicas pueden estar relacionadas con cambios y discontinuidades en la configuración de la superficie terrestre.

Figura 13. buffer de fallas a 100

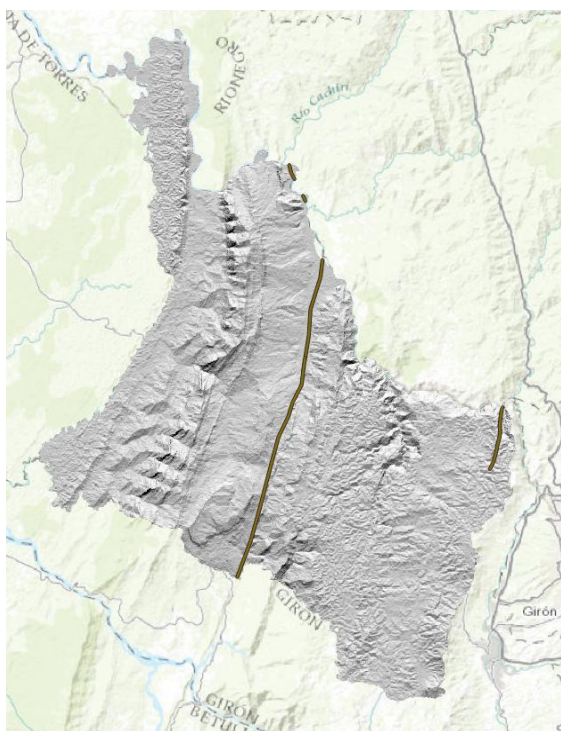
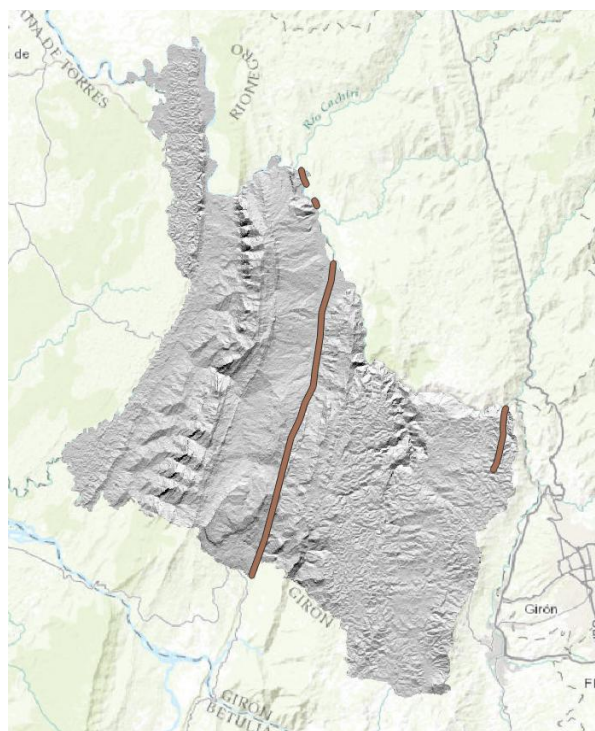


Figura 14. buffer de falas a 200



*Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada de Colombia
en mapas-IGAC y modificada a través del software QGIS*

Al haber un sismo de magnitud mayor a 4.5, la población podría ser afectada teniendo en cuenta si las condiciones cumplen o no las normas sismos resistentes, en Lebrija se siguen de forma obligatoria, ya que el municipio está catalogado en una zona de amenazas sísmica alta; al tramitar cualquier licencia de construcción, las autoridades verifican si están ajustadas a las normas colombianas de diseño y Construcción Sismo Resistente (NRS-10), para así mitigar riesgos geológicos. Eso no quiere decir que todas las construcciones existentes cumplan con las normas.

5 RESULTADOS

5.1 Fase 3: Resultados

Esta fase corresponde a la interpretación de resultados obtenidos a partir del procesamiento de la información geoespacial y variables derivadas del Modelo Digital de Elevación del municipio, se integra los productos cartográficos generados durante la fase anterior con el propósito de caracterizar las condiciones topográficas y geomorfológicas del área de estudio.

La cartografía temática generada incluye, Mapa de Pendientes, Mapa Hipsométrico, Mapa de aspectos, Mapa de Geoformas, cada mapa tiene una descripción de su aporte al análisis del relieve.

La importancia de esta fase radica en que ninguna de las variables analizadas permite, de manera independiente, determinar una zona susceptible a inundación. Por esta razón, los resultados obtenidos en las fases anteriores son integrados mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo pasar de una interpretación individual de cada variable a un análisis espacial conjunto.

Figura 15. Base de Datos

Nivel geográfico	País / territorio	Autor(es)	Año	Título / estudio	¿De qué trata?	Metodología	Variables principales	Datos / herramienta
Global	Canadá	Natural Resources Canada	2026	Flood Susceptibility Mapping	Desarrolla cartografía nacional de susceptibilidad mediante modelos de inteligencia artificial.	XGBoost + análisis espacial	Elevación; suelo; cobertura; vegetación; precipitación; temperatura	Datos geoespaciales nacionales
Global	Canadá	Natural Resources Canada	2026	Historic Flood Susceptibility Mapping	Genera mapas históricos de susceptibilidad para 2000-2023 utilizando registros de inundación.	XGBoost + datos históricos	Temperatura; precipitación; LULC; NDVI; registros históricos	Datos históricos/SIG
Global	India	Penki R., Basina S. S. & Tanniru S. R.	2022	Application of GIS-based AHP modeling for flood susceptibility mapping of Krishna District	Elabora un mapa de susceptibilidad mediante SIG y AHP.	AHP + SIG + Teledetección	Elevación; pendiente; aspecto; LULC; drenaje; Tvt; SPI; litología; suelo; precipitación; distancia a corrientes	DEM/SIG
Global	India	Ranu Rani Sethi et al.	2024	Flood Susceptibility Mapping Using AHP and GIS in Batarani Basin of Odisha	Genera mapas de susceptibilidad para la cuenca del río Batarani.	AHP + SIG	Rugosidad; Tvt; SPI; elevación; litología; suelo; pendiente; drenaje; distancia al drenaje; LULC; NDVI	DEM/SIG
Global	India	Shivhare et al.	2024	Flood susceptibility and flood frequency modeling for lower Kosi Basin using AHP and Sentinel-1 SAR	Evalúa susceptibilidad y frecuencia de inundaciones en la cuenca baja del río Kosi.	AHP + SIG + Sentinel-1 SAR	Precipitación; elevación; pendiente; drenaje; distancia al río; Tvt; SPI; curvatura; NDVI; LULC	DEM + Sentinel-1
Global	India	Estudio Western Ghats	2020	Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and AHP	Genera mapas de susceptibilidad, vulnerabilidad y riesgo para una franja costera.	AHP + SIG	Elevación; pendiente; distancia al drenaje; densidad de drenaje; acumulación de flujo; Tvt; precipitación; LULC; suelo; geología; variables sociales	Datos geoespaciales múltiples
Global	India	Anya & Kumar	2023	AHP GIS-aided flood hazard mapping and surface runoff estimation in Gurugram	Analiza susceptibilidad a inundaciones y escorrenia superficial en una zona urbanizada.	AHP + SIG + escorrenia	Pendiente; elevación; LULC; precipitación; densidad de drenaje; textura del suelo	SIG

Fuente: Elaborado por autores a partir de la información suministrada de artículos y organizada en el software de Excel.

La base de datos permitió identificar que las investigaciones relacionadas con la susceptibilidad a inundaciones presentan un enfoque principalmente orientado al uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), modelos digitales de elevación (DEM), análisis multicriterio, teledetección y, más recientemente, técnicas de inteligencia artificial. Los estudios revisados corresponden a diferentes regiones del mundo y muestran que la susceptibilidad a inundaciones es un fenómeno que depende de la interacción de múltiples factores físicos, ambientales e hidrológicos.

De manera general, se observa que las variables más utilizadas corresponden a elevación, pendiente, características de la red de drenaje, distancia a los cuerpos de agua, precipitación, uso y cobertura del suelo, geomorfología y variables derivadas de los modelos digitales de elevación. Esto demuestra la importancia del

análisis del relieve para identificar sectores donde las condiciones naturales pueden favorecer la acumulación y circulación del agua.

También se identifica que el método AHP integrado con SIG es una de las metodologías más frecuentes en los estudios revisados, debido a que permite combinar diferentes variables y establecer niveles de susceptibilidad.

La base de datos también permite observar diferencias entre los estudios dependiendo de las características del territorio analizado. Algunas investigaciones se desarrollan en cuencas hidrográficas, otras en zonas urbanas, costeras o rurales, por lo que las variables y métodos empleados pueden variar. A pesar de estas diferencias, existe una coincidencia general en la necesidad de integrar información topográfica, hidrológica y ambiental para obtener una representación espacial de las zonas susceptibles.

En relación con el proyecto de investigación desarrollado en la parte baja de la unidad hidrográfica del río Lebrija, la revisión resulta relevante porque permite sustentar la selección de las variables utilizadas y demostrar que el análisis mediante SIG constituye una herramienta adecuada para estudiar este tipo de fenómenos. Particularmente, el uso del relieve, la pendiente, la hipsometría, la dirección y acumulación del flujo, la red de drenaje y las características geomorfológicas permite establecer una base espacial para identificar condiciones favorables para la ocurrencia de inundaciones.

En conclusión, la base de datos evidencia que no existe una única metodología para analizar la susceptibilidad a inundaciones, sino diferentes alternativas que pueden adaptarse a las condiciones y disponibilidad de información de cada territorio. Los estudios revisados proporcionan antecedentes metodológicos y conceptuales que fortalecen la investigación en Lebrija y permiten establecer una relación entre los

conocimientos desarrollados en diferentes regiones y las condiciones particulares del área de estudio. De esta manera, la revisión bibliográfica sirve como fundamento para orientar el análisis espacial y generar información que pueda contribuir a la planificación territorial y a la gestión del riesgo de inundaciones en el municipio de Lebrija.

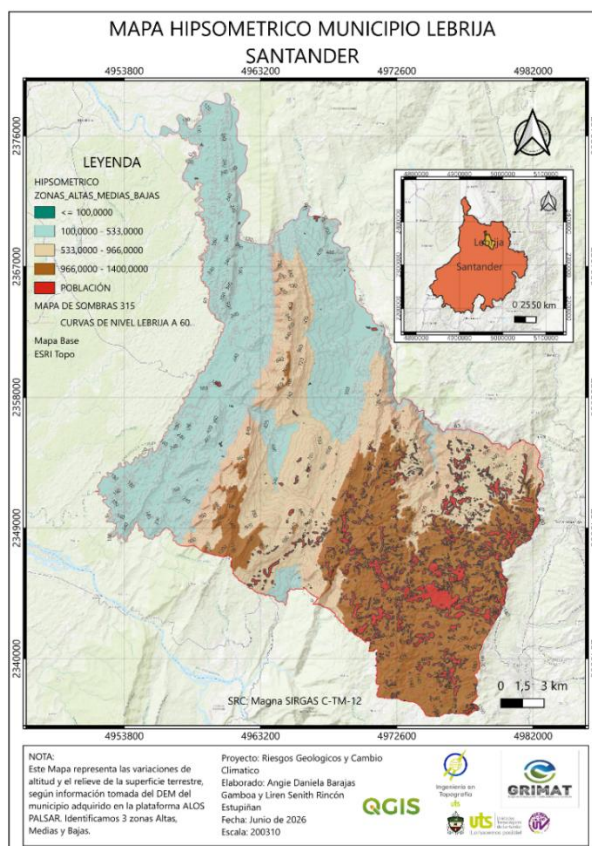
5.1.1 *mapa hipsométrico*

El mapa hipsométrico permite analizar la distribución de las elevaciones del terreno. Su principal utilidad dentro del análisis del relieve es identificar las zonas altas, medias y bajas del municipio. Esta información permite comprender cómo se distribuye el relieve y establecer una relación con el desplazamiento y acumulación del agua.

Para el análisis de zonas inundables, las áreas de menor elevación adquieren especial importancia, debido a que pueden corresponder a sectores donde se

concentra el agua proveniente de zonas de mayor elevación, especialmente cuando coinciden con drenajes y bajas pendientes.

Figura 16. Mapa Hipsometrico



*Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada
a través del software QGIS.*

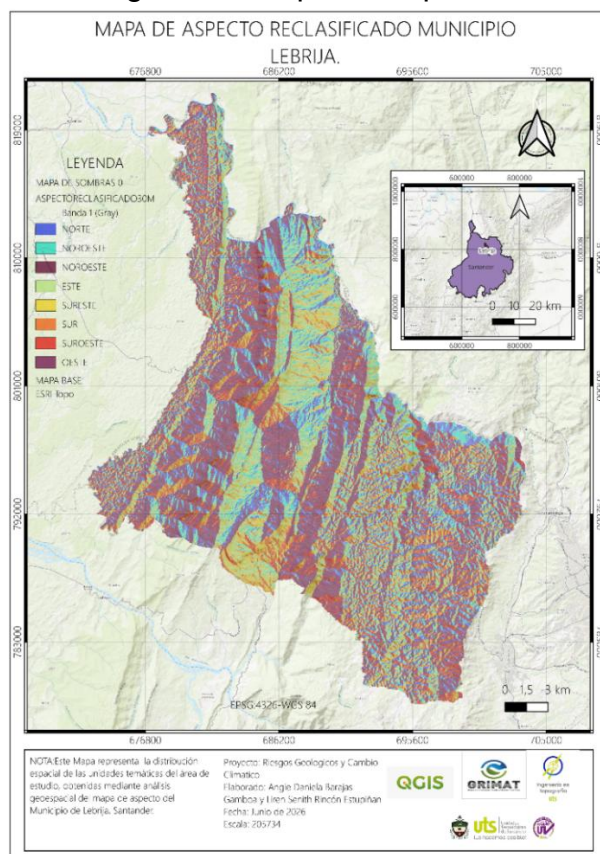
5.1.2 Mapa de aspectos

El mapa de aspectos permite conocer la orientación de las laderas, es decir, hacia
qué dirección se encuentra orientada cada superficie inclinada.

Dentro del análisis del relieve, esta información permite comprender la disposición espacial de las laderas y complementar la información obtenida mediante la pendiente y la hipsometría.

Para el análisis de zonas inundables, el aspecto no determina directamente si una zona se inunda. Sin embargo, permite comprender la configuración de las laderas y la dirección de las superficies por las cuales puede desarrollarse la escorrentía.

Figura 17. Mapa de Aspectos



Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

5.1.3 *mapa de pendiente*

El mapa de pendientes permite determinar qué tan inclinado o plano es el terreno.

Esta variable es fundamental para el análisis del relieve porque permite diferenciar:

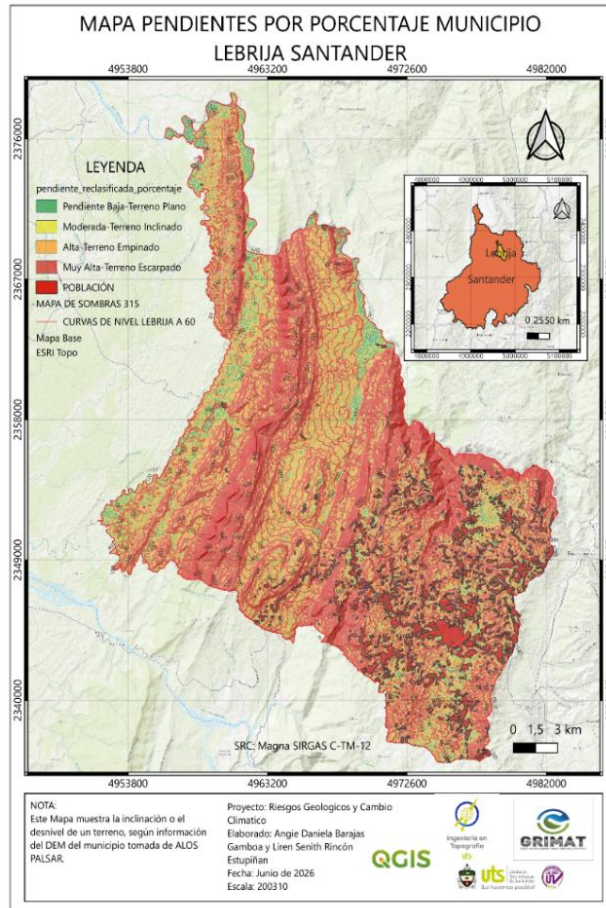
- Zonas planas.
- Zonas ligeramente inclinadas.
- Zonas inclinadas.
- Zonas escarpadas.

Para el análisis de inundaciones, las pendientes bajas adquieren especial importancia, debido a que el agua presenta menor capacidad de desplazamiento

por gravedad y puede favorecerse su acumulación, particularmente en zonas bajas y cercanas a drenajes.

En cambio, las pendientes mayores favorecen una mayor velocidad de escorrentía y transporte de agua hacia sectores de menor elevación.

Figura 18. Mapa de Pendientes



Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

5.1.4 Mapa de Geoformas

El mapa de geoformas permite identificar qué formas presenta el relieve, como valles, laderas, crestas, depresiones, pies de ladera, zonas planas y otras unidades morfológicas.

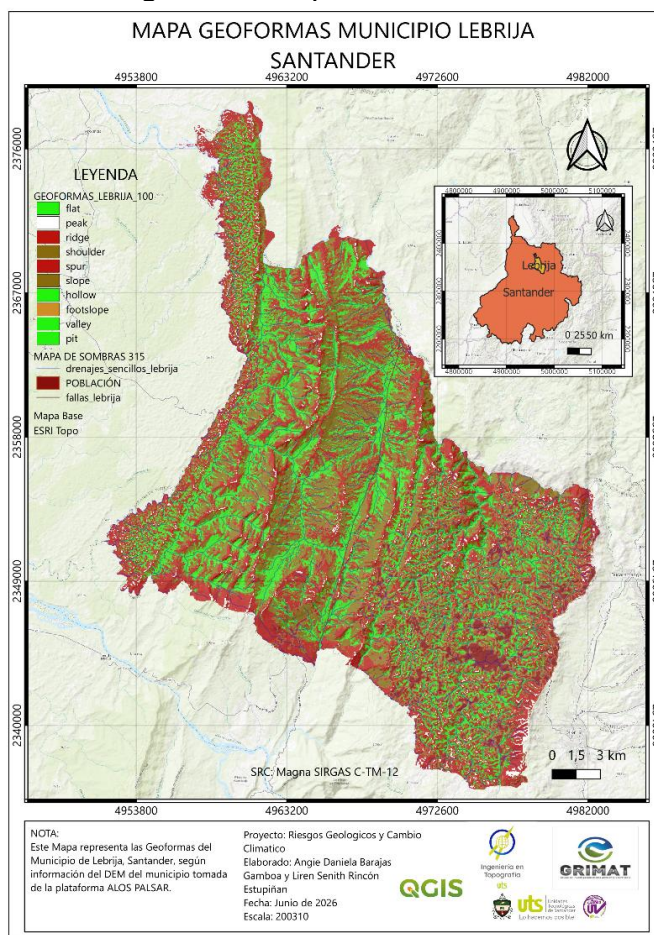
Su utilidad dentro del análisis del relieve consiste en interpretar la configuración de la superficie terrestre y los procesos geomorfológicos asociados.

Para el análisis de zonas inundables son especialmente importantes las geoformas asociadas con:

- Valles.
- Zonas planas.
- Depresiones.

Estas formas pueden favorecer la concentración o acumulación del agua dependiendo de sus características topográficas y de drenaje.

Figura 19. Mapa de Geoformas



Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

La integración de estas cuatro variables permite realizar un análisis topográfico y geomorfológico del territorio, identificando sectores donde coinciden condiciones como baja elevación, baja pendiente, formas del relieve asociadas a zonas de acumulación y proximidad a los sistemas de drenaje.

A partir de la combinación de las cuatro variables se identificaron como condiciones de mayor interés aquellas áreas donde coinciden baja elevación, baja pendiente y

geoformas asociadas a zonas de acumulación, especialmente cuando se encuentran próximas a los sistemas de drenaje. La coincidencia espacial de estas características representa una condición topográfica y geomorfológica favorable para la concentración y acumulación temporal del agua.

De manera complementaria, las zonas ubicadas en sectores elevados y con pendientes pronunciadas presentan un comportamiento diferente, debido a que en ellas el agua tiende a desplazarse hacia sectores de menor elevación.

Por lo tanto, aunque estas áreas no necesariamente correspondan a zonas de acumulación de agua, pueden contribuir a la generación y transporte de escorrentía que posteriormente converge hacia zonas bajas. La combinación de los mapas hipsométrico, de aspectos, pendientes y geoformas permitió identificar las áreas del municipio de Lebrija que presentan condiciones morfológicas favorables para la acumulación y concentración del agua. El análisis integrado permitió reconocer que las zonas de mayor interés corresponden principalmente a sectores de baja elevación y baja pendiente, asociados con geoformas como valles, superficies planas y depresiones, además de encontrarse relacionados espacialmente con la red de drenaje.

A partir del análisis hipsométrico se identificaron las zonas de menor elevación como posibles áreas receptoras de la escorrentía proveniente de sectores de mayor altura. Estas zonas adquieren mayor importancia cuando coinciden con superficies de baja pendiente, debido a que la menor inclinación del terreno puede favorecer la disminución de la velocidad del flujo y la acumulación temporal del agua.

El análisis del aspecto permitió complementar esta interpretación mediante la identificación de la orientación de las laderas y la dirección general hacia la cual se desarrolla el descenso del terreno. De esta manera, se pudo relacionar la configuración de las laderas con las zonas bajas identificadas mediante la

hipsometría, permitiendo reconocer posibles trayectorias de escorrentía hacia los sectores de menor elevación.

Por su parte, el mapa de pendientes permitió identificar las superficies con inclinaciones reducidas, especialmente aquellas comprendidas entre 0° y 4° , las cuales fueron consideradas de especial interés debido a su posible relación con procesos de acumulación de agua.

La incorporación del mapa de geoformas permitió fortalecer el análisis al identificar las formas del relieve presentes en los sectores considerados susceptibles. Se observó que las formas asociadas con valles, superficies planas, depresiones y sectores próximos a los cauces presentan condiciones geomorfológicas que pueden favorecer la concentración y permanencia del agua.

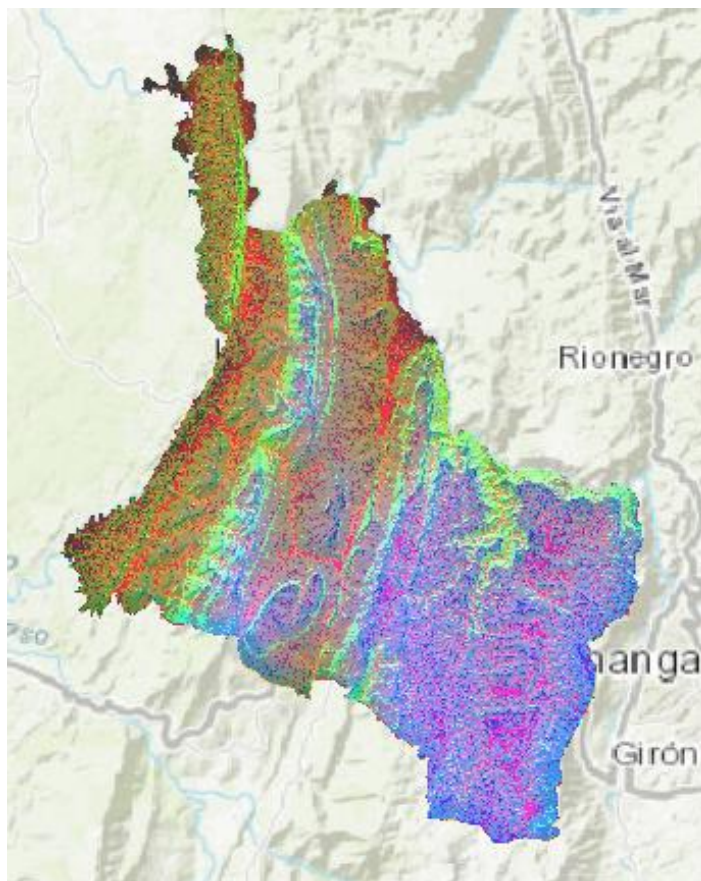
Como resultado de la integración de estas variables, las zonas de mayor susceptibilidad se concentran principalmente en la parte baja del sistema hidrográfico del río Lebrija, especialmente en sectores asociados con el valle del río y sus áreas de influencia.

De manera particular, el sector comprendido entre las veredas El Conchal y Vanegas constituye un área prioritaria dentro del análisis. El EOT de Lebrija identifica este sector como un área de amenaza alta por inundaciones, registrando antecedentes de afectaciones asociadas al río Lebrija y a los flujos provenientes de sus afluentes.

La coincidencia adquiere especial importancia en el caso de Vanegas, donde en febrero de 2026 se presentó una creciente súbita y posterior desbordamiento del río

Lebrija que afectó viviendas e infraestructura, dejando una persona fallecida y 60 familias afectadas según cifras preliminares reportadas por la UNGRD.

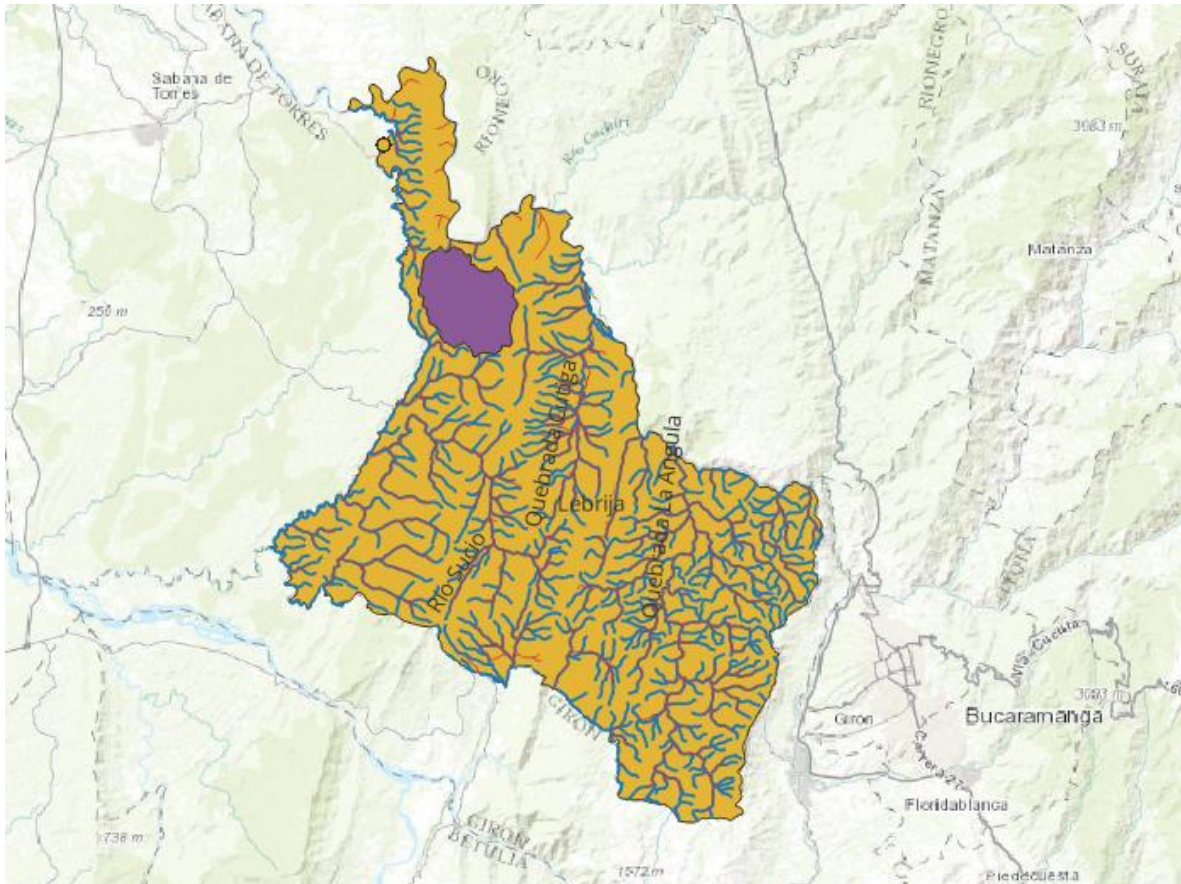
Figura 20. Combinación de mapas de aspectos, hipsométrico, pendiente y geoformas.



Fuente: Elaborado por autores a partir del Modelo Digital de Elevación, modificada a través del software QGIS.

5.1.5 Cuenca analizada

Figura 24. Cuenca Analizada

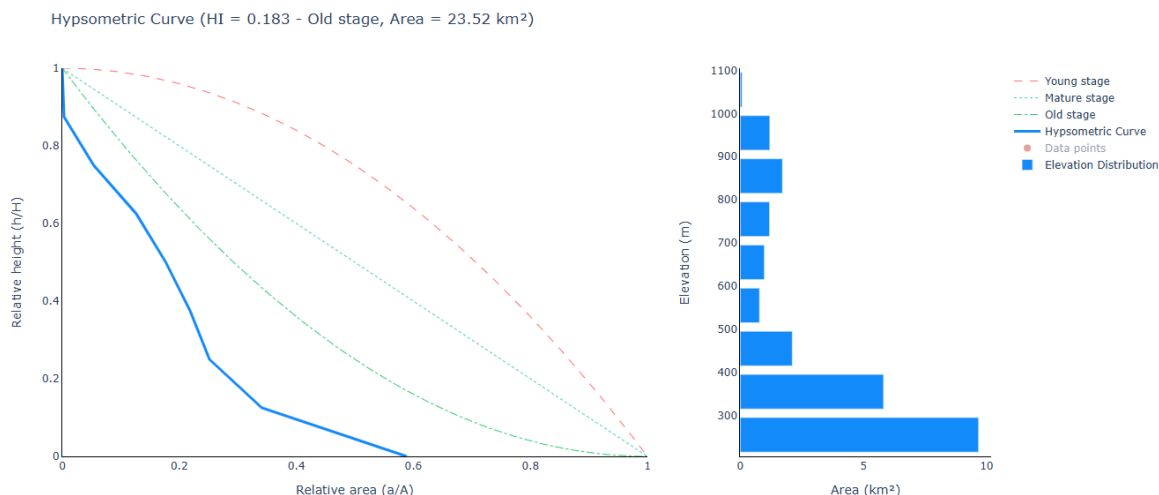


Fuente: Elaborado a partir de información descargada de Colombia en mapas-IGAC 2026 y modificada a través del software QGIS.

La figura representa la red de drenaje del municipio de Lebrija, Santander, donde se observa una distribución amplia y ramificada de los cauces, principalmente asociados al río Lebrija y sus afluentes. La concentración de drenajes permite identificar sectores con alta densidad hídrica, especialmente en las zonas de menor elevación. Esta configuración evidencia la importancia de la red hidrográfica en el comportamiento del escurrimiento superficial y constituye un elemento relevante para la identificación de áreas susceptibles a inundación y para la planificación de estrategias de gestión del riesgo.

6. Curva Hipsométrica

Figura 25. Curva Hipsométrica



Fuente: Elaborada en QGIS mediante herramienta ARCGEEK

La curva hipsométrica presenta un **índice hipsométrico (HI) de 0,183**, lo que indica un predominio de áreas ubicadas en **bajas elevaciones** dentro de la cuenca. La curva se encuentra por debajo de las curvas de referencia de las etapas joven y madura, mostrando una **tendencia correspondiente a una cuenca en etapa antigua o avanzada de evolución geomorfológica**.

El histograma de elevación evidencia una mayor concentración de superficie entre aproximadamente **300 y 450 m s. n. m.**, mientras que las áreas ubicadas por encima de 600 m son considerablemente menores. Esta distribución indica un relieve con mayor presencia de sectores bajos y un proceso de **erosión y desgaste del relieve** avanzado. Estas características son relevantes para el estudio hidrológico, debido a que las zonas bajas pueden presentar mayor acumulación y concentración del escurrimiento superficial, siendo importantes para la identificación de posibles áreas susceptibles a inundación.

6 CONCLUSIONES

- La investigación permitió identificar y analizar las condiciones del relieve que pueden favorecer la susceptibilidad a inundaciones en la parte baja de la unidad hidrográfica del río Lebrija, mediante el uso de Modelos Digitales de Elevación (MDE) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- El análisis de la elevación permitió diferenciar las zonas altas, medias y bajas del área de estudio, evidenciando que los sectores de menor elevación adquieren especial importancia para el análisis de inundaciones, principalmente cuando se encuentran relacionados con superficies de baja pendiente, valles, depresiones y cuerpos de agua.
- El análisis de pendientes permitió reconocer que las superficies con menor inclinación pueden favorecer la acumulación temporal del agua, mientras que las zonas con mayor pendiente pueden facilitar el desplazamiento de la escorrentía hacia sectores ubicados a menor elevación. Por esta razón, la pendiente debe analizarse de manera conjunta con las demás variables del relieve.
- El análisis de las geoformas permitió reconocer que los valles, depresiones, superficies relativamente planas y sectores próximos a los cauces presentan características que pueden favorecer la concentración y permanencia del agua. Esto permitió complementar la interpretación realizada mediante los mapas hipsométrico y de pendientes.

- La integración de las diferentes variables mediante herramientas SIG permitió pasar de un análisis individual del relieve a una interpretación espacial conjunta. De esta manera, fue posible reconocer sectores donde coinciden condiciones físicas que pueden favorecer la acumulación y circulación del agua.
- Los resultados muestran que las zonas con mayores condiciones de susceptibilidad se concentran principalmente en la parte baja del sistema hidrográfico del río Lebrija, especialmente en sectores relacionados con el valle del río y sus áreas de influencia.
- El sector comprendido entre las veredas El Conchal y Vanegas representa un área de especial interés para la gestión del riesgo, debido a su relación espacial con el río Lebrija y el río Cáchira del Sur, además de los antecedentes de amenaza reconocidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Lebrija. Esta coincidencia entre las condiciones del relieve y los antecedentes territoriales fortalece la importancia de realizar seguimiento y estudios más detallados en este sector.
- La metodología desarrollada permitió organizar y procesar información geoespacial y generar productos cartográficos que pueden ser actualizados con nuevos datos. El uso de herramientas SIG, particularmente QGIS, facilita la integración de diferentes capas de información y permite reproducir el procedimiento en otros sectores con características similares.
- El estudio aporta información que puede servir como apoyo para los procesos de planificación territorial y gestión del riesgo en el municipio de Lebrija. Sin

embargo, los resultados representan una zonificación de susceptibilidad física y no deben interpretarse como una delimitación hidráulica definitiva de las áreas inundables.

- Para establecer con mayor precisión las condiciones de amenaza por inundación es necesario complementar este análisis con estudios hidrológicos e hidráulicos, información de caudales y niveles del río, escenarios de precipitación, información histórica de eventos y validación mediante trabajo de campo.
- En relación con los objetivos planteados, se logró procesar información geoespacial, analizar las características del relieve y delimitar espacialmente sectores con diferentes condiciones de susceptibilidad, generando una base cartográfica que puede ser utilizada como insumo para futuras investigaciones y para el fortalecimiento de la gestión del riesgo.

7 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las zonas identificadas con mayores condiciones de susceptibilidad, especialmente las ubicadas en la parte baja del valle del río Lebrija y en sectores como Vanegas y El Conchal, sean consideradas dentro de los procesos de planificación y ordenamiento territorial.
- Se recomienda actualizar periódicamente la cartografía relacionada con amenaza y riesgo de inundación, incorporando nuevos Modelos Digitales de Elevación, información topográfica de mayor resolución, cambios en la cobertura y uso del suelo y nuevos registros de eventos de inundación.
- Se recomienda complementar los resultados obtenidos con estudios de modelación hidrológica e hidráulica que permitan analizar el comportamiento del río Lebrija bajo diferentes escenarios de caudal y precipitación.
- Se recomienda fortalecer el monitoreo de los niveles y caudales del río Lebrija y de sus principales afluentes, especialmente durante las temporadas de mayor precipitación, con el propósito de mejorar el conocimiento de las condiciones que pueden generar desbordamientos.
- Se recomienda evaluar la implementación o fortalecimiento de sistemas de alerta temprana en los sectores cercanos a los principales cauces y áreas identificadas con mayores condiciones de susceptibilidad.
- Se recomienda socializar los resultados y la cartografía generada con las comunidades ubicadas en las zonas susceptibles, de manera que la

información técnica pueda contribuir al conocimiento del riesgo y a la preparación frente a posibles eventos de inundación.

- Se recomienda conservar y proteger las áreas naturales de drenaje y las zonas próximas a los cuerpos de agua, evitando intervenciones que puedan modificar significativamente el comportamiento natural de la escorrentía.
- Se recomienda realizar visitas de campo en los sectores identificados como prioritarios con el fin de verificar las condiciones actuales del terreno, los drenajes existentes, las obras de protección y los posibles puntos críticos que no puedan ser identificados completamente mediante información geoespacial.
- Se recomienda que las entidades responsables de la planificación territorial y de la gestión del riesgo utilicen la cartografía generada como información de apoyo y no como único criterio para determinar las áreas inundables, debido a que el presente estudio se fundamenta principalmente en variables físicas y topográficas.
- Se recomienda continuar desarrollando investigaciones que incorporen variables adicionales como precipitación, uso y cobertura del suelo, características del suelo, información hidrológica, registros históricos de inundación y condiciones socioeconómicas de la población expuesta.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía Municipal de Lebrija. (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Lebrija, Santander. Acuerdo Municipal No. 011 del 28 de noviembre de 2003.
Alcaldía Municipal de Lebrija. (2011). Revisión excepcional del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Lebrija, Santander. Acuerdo Municipal No. 010 del 24 de julio de 2011.

Bello, O., Bustamante, A., & Pizarro, P. (2020). Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Yusouf, K. W., Abubakar, I. R., Mohamed, M. A. S., Aina, Y. A., & Pradhan, B. (2019). Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia. *Water*, 11(3), 615.

Fernández Illescas, C., & Buss, S. (2016). Ocurrencia y gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe: Factores claves y experiencia adquirida. Banco Interamericano de Desarrollo.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. IDEAM.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2024). Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica. IDEAM.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s. f.). Información geográfica y cartográfica de Colombia. IGAC.

República de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997, por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 3 de 1991 y se dictan otras disposiciones.

República de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2019). Informe de gestión 2018. UNGRD.

Hasan, I., Rakib, M. M. H., Roy, D. K., Ovi, M. H., Hasan, M. F., & Majumder, M. S. I. (2026). Geospatial flood susceptibility modelling using analytical hierarchy process: A case study in the south-central coastal region of Bangladesh. *Geosystems and Geoenvironment*, 5(1), 100457.

9 ANEXOS

Anexo A. Mapa de localización y delimitación del área de estudio.

Anexo B. Modelo Digital de Elevación utilizado para el análisis del área de estudio.

Anexo C. Mapa hipsométrico de la zona de estudio.

Anexo D. Mapa de pendientes.

Anexo E. Mapa de aspectos o dirección de las laderas.

Anexo F. Mapa de geoformas.

Anexo G. Mapa de dirección y acumulación de flujo.

Anexo H. Mapa de la red de drenaje y cuerpos de agua.

Anexo I. Mapa final de susceptibilidad a inundación.

Anexo J. Combinación e integración de las variables utilizadas para la identificación de las zonas susceptibles.

Anexo K. Registro fotográfico de la zona de estudio, en caso de contar con trabajo de campo.

Anexo L. Cartografía complementaria e información secundaria utilizada para la validación de los resultados.