

Análisis de la Amenaza por Inundación en los Barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón en el Distrito de Buenaventura

Larry Romero Arboleda

Miguel Felipe Hinestroza Riaño

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialistas en Sistemas de Información Geográfica

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

Resumen

El propósito de este trabajo es identificar los escenarios de riesgo y las calles propensas a inundaciones en los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón, en Buenaventura, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar la vulnerabilidad en estas zonas. Las inundaciones, causadas por el desbordamiento de la quebrada La Chanflana, no solo generan problemas que afectan tanto el tránsito vehicular como el peatonal, sino que también comprometen la infraestructura de las viviendas aledañas a la quebrada. Este estudio toma en cuenta factores climáticos, geológicos y topográficos, además de datos históricos hidrológicos e hidrográficos, para determinar las calles y viviendas más vulnerables a las inundaciones, utilizando información del IDEAM y un Modelo Digital de Elevación (DEM). La zonificación de la amenaza por inundación es fundamental para comprender el riesgo de desastre y avanzar en la planificación del ordenamiento territorial.

Palabras clave: (Zonificación, Inundación, Quebrada La Chanflana, Sistemas de información geográfica, Riesgo, Desastre).

Abstract

The purpose of this work is to identify risk scenarios and flood-prone streets in the Independencia, Grancolombiana and Colón neighbourhoods in Buenaventura, using Geographic Information Systems (GIS) to assess vulnerability in these areas. Flooding, caused by the overflowing of the La Chanflana stream, not only generates problems that affect both vehicular and pedestrian traffic, but also compromises the infrastructure of the dwellings adjacent to the stream. This study takes into account climatic, geological and topographical factors, as well as historical hydrological and hydrographic data, to determine the streets and houses most vulnerable to flooding, using information from IDEAM and a Digital Elevation Model (DEM). Flood hazard zoning is fundamental to understanding disaster risk and advancing land-use planning.

Keywords: (Zoning, flood, la chanflana ravine, geographic information system, risk, disaster).

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. ANTECEDENTES	18
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL.....	33
5. REFERENTE TEÓRICO	35
6. METODOLOGÍA	57
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	57
6.2 TIPO DE ESTUDIO.....	58
6.3 PROCEDIMIENTO	59
7. RESULTADOS	64
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
9. CONCLUSIONES	90
10. RECOMENDACIONES.....	92
11. REFERENCIAS.....	94

Lista de figuras

	Pág.
<i>Ilustración 1. Canalización Quebrada La Chanflana Barrio 12 de abril e Independencia, Año 2019</i>	12
<i>Ilustración 2. Quebrada La Chanflana, Barrio Independencia Año 2014</i>	16
<i>Ilustración 3. Quebrada La Chanflana, Barrio Independencia Año 2023</i>	16
<i>Ilustración 4. Mapa geológico de la zona de estudio “Formación mayorquin”</i>	41
<i>Ilustración 5. Mapa Estructural</i>	42
<i>Ilustración 6. Localización del área de estudio. Se visualiza el departamento del Valle del cauca y el Distrito de Buenaventura Fuente Autor.</i>	57
<i>Ilustración 7. Reunión Barrio Grancolombiana</i>	60
<i>Ilustración 8. Reunión Barrio Independencia</i>	60
<i>Ilustración 9. Mapa consolidado donde se evidencian los escenarios de riesgo.</i>	66
<i>Ilustración 10. Escenarios y/o eventos de riesgo.</i>	68
<i>Ilustración 11. Barrio independencia, vivienda construida sobre la quebrada.</i>	71
<i>Ilustración 12. Mapa del Modelo digital de Elevación DEM con el área de la microcuenca quebrada la Chanflana.</i>	72
<i>Ilustración 13. Mapa de sombras de la microcuenca quebrada la Chanflana.</i>	73
<i>Ilustración 14. Mapa de pendientes por grados (°).</i>	75
<i>Ilustración 15. Mapa de curvas de nivel, con equidistancia de 2 metros.</i>	76
<i>Ilustración 16. Mapa de dirección y acumulación de flujo, en donde se evidencia la desembocadura de la quebrada.</i>	78
<i>Ilustración 17. Estaciones Meteorológicas del IDEAM en el Municipio de Buenaventura, en relación con el área de estudio.</i>	80
<i>Ilustración 18. Estación aeropuerto, datos: Series históricas (IDEAM s.f.).</i>	81
<i>Ilustración 19. Mapa de precipitación año 2023 del mes de julio.</i>	82
<i>Ilustración 20. Mapa de susceptibilidad de inundación sobre las manzanas catastrales</i>	85

Lista de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. Marco Legal</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 2. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 3. Parametrización de las variables. Fuente Autor.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4. Parametrización variable nivel máximo de inundación Fuente Autor.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 5. Mapa de susceptibilidad de inundación sobre las manzanas catastrales</i>	<i>86</i>

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>DEM</i>	Modelo Digital de Elevación
<i>GRD</i>	Gestión de Riesgo de Desastres
<i>IDEAM</i>	Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
<i>CVC</i>	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
	Sociedad de Acueducto,
<i>SAAAB</i>	Alcantarillado y Aseo de Buenaventura S.A. E.S.P.
<i>DTV</i>	Dirección Técnica de Vivienda
<i>DTA</i>	Dirección Técnica Ambiental
<i>JAC</i>	Juntas de Acción Comunal
<i>MDT</i>	Modelo digital del terreno
<i>MDS</i>	Metodología de digitalización de servicio

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos frecuentes y a menudo muy destructivos, siendo uno de los desastres naturales que más afectan a las personas en todo el mundo, y Colombia no es la excepción. Durante los últimos años, especialmente desde el inicio de la pandemia en 2020 hasta el año 2023, se han registrado inundaciones en varios barrios del Distrito de Buenaventura, particularmente en Independencia, Gran Colombiana y Colón, causando el taponamiento de vías y daños en bienes materiales.

El distrito de Buenaventura, debido a su alta pluviosidad, hace que el nivel de la Quebrada La Chanflana presente cambios rápidos y repentinos, lo que provoca una erosión lateral y el transporte de sedimentos. Estos materiales arrastrados obstruyen el paso del agua, facilitando el desbordamiento de esta generando inundaciones repentinas. A esto se suma que gran parte de las viviendas de estos barrios están dentro de la llanura de inundación, lo que hace que la inundación sea casi inevitable.

La situación se agrava por la falta de infraestructura vial adecuada, un sistema de alcantarillado deficiente y la construcción de viviendas sobre el cauce de la quebrada. Esto es resultado de un ineficiente control físico por parte de la administración municipal y la falta de actualización del Plan de Ordenamiento Territorial.

La ausencia de mapas de amenazas, que deberían ser gestionados por la Oficina Coordinadora de Prevención y Atención de Desastres, impide el avance en la actualización del POT, lo que genera un desconocimiento de las áreas urbanas en riesgo por inundaciones,

movimientos en masa y amenazas tecnológicas. Esto ha conducido a una planificación desordenada y destaca la necesidad de contar con personal calificado en cada dependencia de la Alcaldía.

Por esto es importante realizar un diagnóstico de riesgo actualizado y adecuado en las áreas afectadas, empleando un Modelo de Elevación DEM a partir de sistemas de información geográfica (SIG).

1.1 Descripción del área problemática

El proyecto se ubica en el departamento del Valle del Cauca y el Distrito de Buenaventura, especialmente en la parte central de la zona urbana (Ilustración 1) con las siguientes coordenadas geográficas: N 921358.9657000, E 1007450 y S 919623.9657000, E 1009085. Esta área se caracteriza principalmente por depósitos sedimentarios marinos y continentales, conformados por estructuras geomorfológicas como llanuras de inundación, terrazas y zona de erosión lateral a lo largo de la quebrada, estos eventos han sido muy recurrente en los últimos años. Durante las precipitaciones, el nivel de la quebrada aumenta, lo que genera cambio de energía en la dinámica de la corriente y provoca inundaciones rápidas debido al desbordamiento, representando una amenaza directa para la población cercana a la microcuenca. Además, el cambio climático ha hecho que las precipitaciones sean más cortas en tiempo, pero más intensas en el volumen, lo que ha afectado a los tres barrios de la zona.

Además, otro factor que agrava la situación es la sedimentación en la quebrada, producto de la deposición de escombros y residuos sólidos, como colchones, armarios, muebles, y residuos

orgánicos. Esta acumulación de materiales impide el flujo adecuado del agua, aumentando el riesgo de desbordamiento.

La geomorfología, así como la geología existente en la zona de estudio y las condiciones en las que fueron construidas las viviendas en los diferentes barrios, hacen que sean vulnerables ante un evento de inundación; al ser la Quebrada La Chanflana canalizada de una manera inadecuada facilita el desbordamiento de la misma, en dichas obras civiles al parecer no se realizaron estudios preliminares adecuados para calcular el volumen y la rugosidad de la quebrada antes de ejecutar las obras civiles necesarias.

La investigación se centra en los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón ya que son los que mayor afectación presenta y están sobre la cra 56c y la cra 58 donde se han evidenciado la amenaza por eventos naturales reciente.



Ilustración 1. Canalización Quebrada La Chanflana Barrio 12 de abril e Independencia, Año 2019

Fuente: Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Buenaventura S.A. E.S.P <https://www.saaab.gov.co/articulos/canalizacion-quebrada-la-chanflana-barrio-12-de-abril-e-independencia>

Con el fin de prevenir futuras inundaciones, se requieren obras de mitigación de la amenaza, todas ellas enfocadas y coordinadas por la Alcaldía, a través de su principal ente, que es la Secretaría de Planeación.

1.2 Formulación del problema

La amenaza de inundación es un evento natural que ocurre frecuencia en el Distrito, esto debido a su ubicación geográfica, que favorece la presencia de fuertes lluvias. Además, la biodiversidad de su flora, caracterizada por bosques tropicales húmedos y de niebla, que contribuye a mantener una alta humedad y a que las precipitaciones sean constantes en el territorio. En Colombia, se presenta dos fenómenos climáticos: el Niño y la Niña. Durante la Niña el desbordamiento de la quebrada ocurre con mayor frecuencia. Por otro lado, aunque el niño generalmente reduce las lluvias y crea condiciones más secas, en el Distrito las precipitaciones continúan, aunque de manera menos constante, lo que evita que el nivel de la quebrada disminuya significativamente.

Las entidades encargadas de conocer y reducir la amenaza no han implementado estrategias sobre Gestión de Riesgo, lo cual requiere de estudios para el análisis e interpretación de los mapas y la ejecución de obras de mitigación.

Por ello, es esencial procesar y analizar la información disponible sobre los factores naturales asociados a las inundaciones provocadas por quebradas. Para esto, se emplearán datos de geoportales y el modelo de elevación del área de estudio, utilizando herramientas SIG. Esto permitirá georreferenciar los escenarios de riesgo y las zonas más vulnerables a las inundaciones, con el objetivo de elaborar un mapa de zonificación de amenaza por inundación.

Se puede, por lo tanto, formular el problema a manera de pregunta: ¿Qué insumo generado con sistema de información geográfica se requiere para evaluar la amenaza por

inundación en los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón del Distrito de Buenaventura?

1.3 Justificación

El Distrito de Buenaventura enfrenta un riesgo significativo debido a la falta de caracterización adecuada de las amenazas en su Plan de Gestión de Riesgo. Aunque este plan prioriza las amenazas, no proporciona un análisis detallado de las mismas, lo que limita la capacidad de implementar medidas efectivas de mitigación. La quebrada La Chanflana, que recorre los barrios Independencia, Gran Colombiana, Cascajal y Colón, es un claro ejemplo de esta problemática. Las lluvias intensas y repentinas en la región provocan un aumento en el caudal de la quebrada, superando la capacidad de los cauces y causando erosión lateral que afecta gravemente las laderas y la infraestructura urbana.

En particular, los barrios Independencia y Gran Colombiana, ubicados en la parte media de la microcuenca, sufren las mayores afectaciones debido al desbordamiento de las aguas, que interrumpe la movilidad y daña las viviendas y otros bienes materiales. En el barrio Colón, situado en la parte baja de la microcuenca, el desbordamiento de la quebrada La Chanflana afecta directamente al Estero San Antonio, exacerbando los problemas ambientales y de salud pública en la zona.

Este proyecto es crucial porque aborda la necesidad de cartografiar y caracterizar las zonas de riesgo de inundación en el Distrito de Buenaventura, con un enfoque en la quebrada La Chanflana. A través de la identificación de las áreas de mayor amenaza y la comprensión del comportamiento de la quebrada, se pretende desarrollar un mapa de amenaza que distinga entre áreas de alta, media y baja vulnerabilidad. Esta herramienta es esencial para integrar acciones de mitigación en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y para planificar intervenciones que protejan a las comunidades más vulnerables, especialmente aquellas que habitan en las llanuras de inundación y terrazas bajas.

El análisis histórico y de campo realizado en esta investigación ha permitido identificar los puntos críticos de riesgo y las manzanas catastrales más expuestas a las inundaciones. La implementación de obras de mitigación, basadas en este análisis, beneficiará directamente a la comunidad afectada, mejorando su hábitat y reduciendo la recurrencia de inundaciones que impactan negativamente en su calidad de vida.

A continuación, se mostrarán dos imágenes en Google Earth de la Quebrada La Chanflana sobre el barrio Independencia. En la primera imagen, se observa la quebrada sin control de infraestructura. En la segunda imagen, se muestra la quebrada ya canalizada, y es a partir de esta intervención cuando comienzan a generarse las inundaciones.



Ilustración 2. Quebrada La Chanflana, Barrio Independencia Año 2014



Ilustración 3. Quebrada La Chanflana, Barrio Independencia Año 2023

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar un análisis detallado de la amenaza por inundación en los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón en el Distrito de Buenaventura, utilizando el análisis espacial de un Modelo Digital de Elevación (DEM) y datos hidrometeorológicos para la reducción y manejo de desastres.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar, caracterizar y valorar los escenarios de riesgo asociados a amenaza por inundación en los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón.

- Determinar las áreas de inundación mediante un Modelo Digital de Elevación (DEM) de la microcuenca la Chanflana en la zona identificada con riesgo de inundación en los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colon que permita identificar las áreas propensas al desbordamiento de la quebrada.

- Clasificar los tiempos de inundación (ocurrencia), teniendo en cuenta los datos que proporcionan las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM que se encuentran cerca al área de estudio.

- Elaborar los mapas de zonificación de amenaza donde se describa la susceptibilidad de inundación.

3. Antecedentes

A partir de una búsqueda de diferentes proyectos y/o investigaciones relacionadas con el análisis de amenazas Inundación, a continuación, se presentan los antecedentes encontrados en orden cronológico:

Para el año 2004, Nadezhdy Ginova Hortua Cortes en su artículo denominado *“Geomorfología e hidrología, combinación estratégica para el estudio de las inundaciones en Florencia (Caquetá)”* resalta la importancia de investigar las inundaciones en Florencia, Colombia, en la cual existen bastantes de estos eventos debido a su ubicación en el piedemonte de la cordillera Oriental y su alto volumen de precipitación. Su objetivo principal era integrar datos históricos, hidrometeorológicos y geomorfológicos para evaluar la amenaza de inundaciones. Para ello utilizaron series hidrológicas, interpretación de formas de los ríos mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas, y realizaron un estudio detallado de la cuenca del río Hacha. Como conclusión, destacó que la ciudad enfrenta riesgos considerables debido a su rápido crecimiento urbano en áreas susceptibles, recomendando continuar con estudios detallados y considerar la reubicación de comunidades vulnerables para mitigar futuros desastres. La ciudad de Florencia, capital del departamento de Caquetá, está ubicada en el piedemonte de la vertiente oriental de la cordillera Oriental y está caracterizada por su alta precipitación lo que genera inundaciones en la ciudad lo cual conlleva a crear una estrategia para el estudio de amenaza por inundación implementando la metodología de integrar la información histórica, hidrometeorológica y geomorfológica e imágenes de satélite. (Hortua, 2004)

En el año 2007, Zamir Maturana Córdoba en su artículo de investigación *“Mapa de zonificación de amenazas por inundación del casco urbano del municipio de Quibdó (Chocó). Estudio basado en la interpretación de imágenes de radar, de satélite y fotografías aéreas”*, destaca la importancia de elaborar un mapa de zonificación de áreas inundables causadas por las crecientes del río Atrato y sus afluentes, con el objetivo de que sea utilizado por las autoridades encargadas de la gestión de riesgo y del municipio de Quibdó como un instrumento de planeación y control. Mencionando que la adopción de imágenes de radar (Intera), de satélite (Landsat) y fotografías aéreas fue fundamental para lograr este objetivo, permitiendo la integración, análisis y visualización de datos espaciales para la toma de decisiones informadas. El autor profundiza en los aspectos técnicos de la implementación de estas tecnologías, discutiendo métodos de recopilación, almacenamiento y compartición de datos. Enfatiza en las ventajas de las fotografías aéreas por su mayor precisión de datos, accesibilidad y la capacidad de generar registros detallados de las zonas inundables, así como las imágenes de radar por su capacidad de operar sin importar las condiciones climáticas (Maturana, 2007).

Para el año 2010, Maria Alejandra Pittaluga y Graciela M. Suvires, en su artículo denominado *“Susceptibilidad a las inundaciones por crecientes estivales y por desbordes en las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, Cuenca del Río Castaño, Calingastan San Juan”* detallan la vulnerabilidad de las localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral en la cuenca del río Castaño frente a inundaciones estivales y desbordes. Ellas exploran las causas y consecuencias de estos peligros naturales, enfocándose en la geomorfología de la región y sus efectos sobre las comunidades locales. Emplearon técnicas como cartografía, análisis histórico de

eventos catastróficos, y evaluaciones de riesgo para identificar las áreas más susceptibles y proponer medidas de mitigación. (Pittaluga & Suvires, 2010)

En el año 2010, Juan Hernández y Antonio Vieyra en su artículo de investigación *“Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace?”* destacan el aumento del riesgo de desastres en ciudades en países en desarrollo debido al crecimiento demográfico y la reconfiguración urbana. Señalan que la expansión urbana ha creado sectores periurbanos marginales y precarios, aumentando su vulnerabilidad ante inundaciones. En Morelia, esta problemática ha sido recurrente, afectando especialmente a las áreas periféricas debido al aumento de la población en situación precaria.

Los autores subrayan la importancia de correlacionar variables físicas y sociales para identificar las áreas más expuestas al riesgo de inundación. Utilizan herramientas como ArcGIS y el Método de Análisis Espectral para recopilar y analizar datos, lo que ayuda a definir áreas de riesgo y diseñar estrategias de mitigación. Además, enfatizan la necesidad de políticas públicas eficientes para controlar el crecimiento urbano y mejorar las condiciones de vida en las zonas afectadas. Sin estas medidas, las poblaciones seguirán siendo vulnerables a desastres naturales agravados por la urbanización descontrolada y las condiciones socioeconómicas precarias (Hernández & Vieyra, 2010).

Por otro lado, en el año 2010, Alicia M. Campo, Andrea M. Silva y Veronica Gil en su artículo denominado *“Aplicación de cartografía temática para la identificación y análisis de la exposición al peligro de inundación por crecida repentinas. Sierra de la Ventana, Buenos Aires,*

Argentina” destacaron la identificación y análisis del grado de exposición al peligro de crecidas en la localidad de Sierra de la Ventana. Aplicando la elaboración de mapas temáticos a partir de levantamiento topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales. Esto permitió cartografías los diferentes grados de peligro de inundación y destacar la importancia que tienen los mapas de exposición al peligro, la correcta planificación urbana y la involucración de los diferentes actores competentes. (Campo, Silva & Gil, 2010)

Para el año 2011, Roa-Lobo José y Kamp Ulrich en su artículo de investigación “*Uso del índice topográfico de humedad (ith) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela*” determinaron la localización óptima para la construcción del Hospital del Seguro Social del municipio Trujillo - Venezuela, considerando dos condicionantes: la disponibilidad de terrenos municipales, limitados al área entre el río Castán y el eje vial Valera-Trujillo, y la susceptibilidad a inundaciones por detritos en estos terrenos. El análisis de amenaza de inundación por desborde fluvial se basó en la zonificación de los niveles de concentración del escurrimiento superficial, calculados principalmente a través del índice topográfico de humedad (ITH). Este índice, junto con información espacial derivada, fue integrado mediante modelamiento booleano para identificar terrenos con mínima vulnerabilidad a inundaciones. Un modelo digital de elevación (DEM) permitió evaluar los potenciales corredores de inundación. La metodología incluyó el cálculo del ITH en un ambiente SIG, permitiendo zonificar la amenaza y determinar áreas aptas para la construcción. El análisis concluyó que 3 áreas adyacentes al eje vial Valera-Trujillo, fueron las más aptas para la localización del hospital, cumpliendo con los requerimientos de prevención, a la vez que sugirieron posibles obras de ingeniería para mitigar la susceptibilidad a inundaciones. (Roa Lobo & Kamp, 2011)

En el año 2011, Gustavo Barrantes Castillo y Jacqueline Vargas Bogantes, en su artículo de investigación denominado *“La Zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el Valle del Río Sixaola”* abordan la importancia de la zonificación de amenazas por inundación en esta región para el ordenamiento territorial. Proponen una metodología que clasifica las amenazas según su nivel de riesgo, considerando la vulnerabilidad de la población en áreas con bajos niveles educativos, migración y precariedad económica. Destacan la necesidad de identificar áreas de riesgo, diseñar estrategias de mitigación y evaluar la vulnerabilidad física de las poblaciones locales. Además, resaltan la utilidad de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para digitalizar unidades geomorfológicas y evaluar la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, con el fin de orientar el ordenamiento territorial y reducir los impactos de desastres naturales en la región (Barrantes & Vargas, 2011).

Para el año 2012, María Paula Ferrari en su artículo denominado *“Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina”* examinó los indicadores de vulnerabilidad ante inundaciones en el barrio Intendente Alfredo Mario Etchepare, contrastando diagnósticos técnico-científicos y sociales. Utilizando una metodología que incluyó consultas bibliográficas, entrevistas con técnicos y actores clave, y encuestas a los habitantes del barrio. La investigación reveló diferencias significativas entre los dos diagnósticos, destacando la necesidad de una fase preanalítica en la gestión de riesgos para integrar las perspectivas técnicas y sociales. Concluyeron que las percepciones de los habitantes son esenciales

para entender y abordar la vulnerabilidad, proponiendo que su inclusión en la planificación y ejecución de estrategias de gestión de riesgos mejora la efectividad y la aceptación comunitaria. Las diferencias entre los diagnósticos fueron identificadas como fortalezas y debilidades, subrayando la importancia de considerar tanto las visiones de expertos como las experiencias locales en la formulación de políticas de prevención y mitigación de desastres. (Ferrari, 2012)

En el año 2013, James M Shultz, Andrew McLean, Holly B Herberman Mash, Alexa Rosen, Fiona Kelly, Helena M Solo-Gabriele, Georgia A Youngs Jr, Jessica Jensen, Oscar Bernal & Yuval Neria, dentro de su artículo *“Mitigating flood exposure Reducing disaster risk and trauma signature”* destacan la comparación detallada entre las experiencias de dos ciudades en Estados Unidos, Fargo y Minot, frente a las inundaciones de 2011, enfocándose en las diferencias clave en la capacidad de mitigación y prevención de desastres. En donde buscaron explorar cómo las estrategias de reducción de riesgos pueden alterar significativamente los impactos físicos y psicológicos de los desastres naturales utilizando el análisis de firma de trauma (TSIG). Este enfoque les permitió identificar perfiles de peligro, factores estresantes, respuestas comunitarias e indicadores de resiliencia, comparando la efectividad de la acción preventiva en Fargo con la inevitabilidad del desastre en Minot. Concluyeron que la mitigación exitosa en Fargo no solo evitó daños mayores, sino que también redujo significativamente la "firma de trauma" del evento, subrayando la importancia crítica de la preparación y la acción preventiva en la gestión del riesgo de desastres y la promoción de la resiliencia comunitaria. (Shultz et all. 2013)

Para el año 2013, las investigadores Violeta Caballero Potenciano & Eunice Pérez Sánchez, publicaron en la Revista de Divulgación de la División Académica de Ciencias

Biológicas KUXULKAB', el artículo denominado "Importancia del análisis de la interacción espacio-temporal de la expansión urbana y los eventos de inundación en el municipio del Centro, Tabasco" en donde destacaron la frecuencia e impacto de las inundaciones en el municipio del Centro, Tabasco, causadas por la deforestación, ocupación irregular de tierras y expansión urbana sin planificación. Buscaban analizar la interacción entre la expansión urbana y los eventos de inundación a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y una evaluación multicriterio. Haciendo uso de estos métodos, generaron y ponderaron mapas temáticos que representaban factores geológicos, geomorfológicos, meteorológicos, hidrológicos, edafológicos, biogeográficos y antrópicos. Posteriormente, compararon estos mapas con el Programa de Desarrollo Urbano del municipio para identificar áreas en riesgo de inundación y concluyeron que el uso de SIG y análisis multicriterio es crucial para una planificación territorial efectiva, permitiendo gestionar mejor el desarrollo urbano y proteger a la población en zonas vulnerables. (Caballero & Perez, 2013)

Así mismo, en el año 2015, Diego Sánchez González y Rosalía Chávez Alvarado, en su artículo denominado "*Personas mayores con discapacidad afectadas por inundaciones en la ciudad de Monterrey, México. Análisis de su entorno físico-social*" destacan la alta vulnerabilidad social de las personas mayores con discapacidad en Monterrey, México, ante inundaciones, vinculada a la exclusión social y la dependencia. El estudio buscaba analizar los factores que determinan un entorno físico-social peligroso para este grupo. Para ello, utilizaron una encuesta aplicada a personas mayores con discapacidad residentes en zonas de riesgo y desarrollaron una cartografía a escala de colonia. Los resultados mostraron que la peligrosidad del entorno se debe

a la exposición del ambiente habitado, el acceso al apoyo institucional y la capacidad de adaptación al cambio. Se encontró que estas personas suelen vivir en áreas periféricas y degradadas con altos niveles de marginación y barreras arquitectónicas, lo que agrava su situación en emergencias. Los autores concluyeron que es crucial desarrollar políticas sociales y urbanas que fomenten ciudades amigables y una gestión del riesgo gerontológica, mejorando así la resiliencia y adaptación de las personas mayores con discapacidad ante el cambio climático en América Latina y el Caribe. (Sánchez & Chávez, 2015)

En el año 2016, Estefanía Jáuregui, María Aversa y Rocío Salas Giorgio, publicaron un artículo denominado “*Estrategias para la mitigación del riesgo por inundación: caso cuenca del Arroyo Maldonado, La Plata (Buenos aires, Argentina)*” se centraron en mitigar los riesgos de inundación en la Cuenca del Arroyo Maldonado, La Plata, mediante estrategias de intervención territorial. Lo cual se realizó con herramientas SIG, lo que permitió un diagnóstico detallado y elaborar mapas para identificar áreas vulnerables y oportunidades de resiliencia urbana. Las estrategias propuestas incluyeron la conservación de áreas naturales, la renaturalización de riberas, mejoras en infraestructuras viales y promoción de usos del suelo adaptados al riesgo hídrico. Los autores concluyeron que la aplicación integrada de gestión del riesgo, basada en un enfoque territorial y el uso de herramientas SIG, es esencial para mitigar los riesgos de inundación en la región. Por lo que recomiendan implementar acciones específicas para fortalecer la capacidad de respuesta ante eventos extremos y fomentar un desarrollo urbano sostenible. (Jáuregui, Aversa & Salas, 2016)

Por otro lado, en el año 2018, el Consultor de la Unidad de Desarrollo Sostenible y Desastre de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), a través de los profesionales Omar D. Bello, José Ballesteros, Magda Buitrago, Mauricio González y Osmar Velasco, elaboraron un documento de proyecto denominado *“Análisis retrospectivo de las inundaciones: lecciones y recomendaciones para Argentina”* en donde destacaron cómo la ocupación ineficiente del territorio en relación con los recursos hídricos ha exacerbado la vulnerabilidad a inundaciones, afectando especialmente a ciudades como Chaco, Santa Fe y Paraná. El estudio identificó las medidas implementadas y su eficacia, analizando eventos específicos como los fenómenos ENSO y la crecida del Río Salado en 2003. A través de entrevistas y revisión de acciones, se identificaron tres tipos de medidas: de conocimiento, no estructurales y estructurales. Los autores concluyen que la respuesta ha sido predominantemente reactiva, centrándose en obras estructurales como defensas y sistemas de bombeo, sin una adecuada integración de medidas preventivas y de gestión del riesgo. Se enfatiza la necesidad de fortalecer el conocimiento del riesgo, integrar ordenamiento territorial en la planificación urbana y desarrollar prácticas no estructurales como paisajes hídricos y parques en zonas inundables para reducir la exposición y mejorar la resiliencia de las comunidades ante futuras inundaciones. (CEPAL, 2018)

También para el año 2019, Bryan Danilo Burgos Choez, Scarlet Josefina Cartaya Ríos y David Jesod Mero del Valle, en su artículo denominado *“Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, provincia de Manabí, Ecuador”* destacan la evaluación integral de los riesgos asociados a las inundaciones, considerando aspectos físicos, sociales, económicos y ecológicos. El objetivo fue analizar la vulnerabilidad

global de la parroquia utilizando métodos como la observación directa, encuestas descriptivas y Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través de encuestas realizadas a 378 personas y el análisis cartográfico, se determinó que la vulnerabilidad global es media (55%), con el aspecto social como el más influyente debido a la falta de preparación ante riesgos. El análisis físico mostró la cercanía de muchas viviendas al río, mientras que la evaluación ecológica destacó la disminución de la cobertura vegetal. El aspecto económico, aunque menos influyente, también reveló vulnerabilidades importantes. Lo que les permitió concluir que la vulnerabilidad de la parroquia está fuertemente ligada a su ubicación geográfica, la falta de ordenamiento territorial y la preparación inadecuada ante riesgos, así como a cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal. (Burgos, Cartaya & Mero, 2019)

Además, en el año 2019, las Doctoras Claudia Eleonor Natenzon y Aurora Besalú Parkinson, docentes de la Universidad de Buenos Aires, a través del artículo denominado “*El derecho como instrumento de adaptación al cambio climático. revisión de sentencias relativas a desastres por inundaciones urbanas*” destacan el análisis de sentencias judiciales relacionadas con inundaciones urbanas catastróficas intensificadas por el cambio climático, buscando entender cómo el derecho se utiliza como instrumento de adaptación a este fenómeno. Para ello, revisaron leyes, normativas y sentencias de diversos tribunales, incluyendo la Corte Suprema y tribunales de Buenos Aires, y consultaron a expertos para identificar menciones y atribuciones al cambio climático en estos casos. Concluyeron que, aunque el cambio climático rara vez se menciona en las decisiones judiciales, su reconocimiento está creciendo internacionalmente, como lo demuestra el Acuerdo de París. Además, señalaron que las divergencias en la interpretación judicial y la falta de consideración de la vulnerabilidad social amplifican los riesgos, subrayando la necesidad de

una gestión de riesgos más preventiva y adaptativa que contemple la resiliencia urbana y la protección de los derechos humanos. (Natenzon & Parkinson, 2019)

En el año 2019, los señores Luis Alejandro Esquea Valencia, Steffani María Sanjuán Murillo, Yamileth Domínguez Haydar y Duvan Roberto Pérez Peluffo, estudiantes de la Universidad del Atlántico publicaron un artículo llamado “*Cambios en las coberturas de la tierra en el periodo 1984 – 2017 y análisis de la amenaza ante inundaciones en el municipio de Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia*”, los autores se enfocaron en evaluar cómo las coberturas de la tierra y los usos del suelo han cambiado debido a las inundaciones en el municipio de Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia, entre 1984 y 2017. Para ello, utilizaron sistemas de información geográfica (SIG) y el método Corine Land Cover, realizando una clasificación supervisada de imágenes satelitales. Encontraron que la vegetación natural aumentó significativamente entre 1987 y 2007, pero sufrió una gran reducción después de la inundación de 2010. Además, durante el período de estudio, los cultivos aumentaron un 22,13%, mientras que los pastos disminuyeron. Identificaron 31 eventos extremos de caudales máximos asociados con el fenómeno de La Niña. Con base en estos análisis, concluyeron que las áreas más susceptibles como suelo desnudo, cultivos y zonas pobladas enfrentan una creciente amenaza de inundaciones, subrayando la importancia de gestionar adecuadamente el riesgo y concienciar sobre el impacto de las actividades humanas en estos fenómenos. (Esquea et al, 2019)

En el año 2020, Omar José Portillos Coavas, de la Universidad de Córdoba, en su artículo denominado “*Identificación de las zonas de amenaza por inundación, mediante los sistemas de*

información geográfica cómo herramienta de insumo, para la gestión del riesgo en el municipio de Moñitos, Córdoba” destaca la identificación de zonas de amenaza por inundación en el municipio de Moñitos, Córdoba, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta clave para la gestión del riesgo. El estudio buscaba determinar las áreas con diferentes niveles de amenaza (alta, media y baja) y su relación con los asentamientos y equipamientos educativos. La metodología empleada se dividió en cinco fases: revisión teórica sobre inundaciones y SIG, obtención y estandarización de información cartográfica, establecimiento de criterios basados en la consulta a expertos y revisión teórica, superposición de datos mediante la herramienta Weighted Overlay y análisis de resultados. El análisis reveló que el 5% del municipio tiene amenaza alta, 64% amenaza media y 31% amenaza baja, con las cabeceras y muchas instituciones educativas ubicadas en las zonas de mayor amenaza. Es así como concluyó que el estudio de amenazas es fundamental para la planificación y gestión del riesgo, y que los SIG son herramientas vitales que los geógrafos deben utilizar y aplicar en diversas áreas. Además, resaltaron la importancia de considerar las condiciones físicas del territorio y la necesidad de una mejor planificación para reducir la vulnerabilidad de la población. (Portillo, 2020)

Además, en el año 2021, Leobardo Alejandro Ortiz, Wendy Romero-Rojas, Rocío N. Ramos-Bernal y René Vázquez-Jiménez en su artículo denominado *“Análisis de la amenaza por inundaciones en la localidad El Durazno, municipio de Tixtla de Guerrero, Guerrero; a través de sistemas de información geográfica”* destacaron la necesidad de analizar y prever los posibles efectos devastadores de este fenómeno natural en la comunidad, tomando como referencia eventos previos en Tixtla de Guerrero. El objetivo principal fue desarrollar un modelo espacial utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar las zonas más susceptibles a

inundaciones, utilizando datos como topografía, curvas de nivel y registros de precipitación histórica. Mediante el análisis de estos datos, los investigadores concluyeron que pequeños aumentos en la precipitación podrían significar grandes incrementos en la superficie afectada por inundaciones, resaltando la importancia de la preparación y la planificación para mitigar los riesgos en la comunidad frente a futuros eventos meteorológicos extremos. (Ortiz, Romero, Ramos & Vazquez, 2021)

Por otro lado, en el año 2021, Paula Andrea Zapperi1 y Jorge Olcina, en su artículo de investigación denominado “*Cartografía de inundaciones en la planificación territorial. Estudio comparado entre Argentina y España*” destacan la importancia de la cartografía de riesgo de inundación en la planificación territorial de Argentina y España, enfocándose en su integración como herramienta legal para la gestión del riesgo natural. El estudio empleó un análisis comparativo que evaluó cómo ambos países utilizan estos mapas en la ordenación del suelo, identificando diferencias significativas debido a las normativas existentes. Para lo cual, realizaron una revisión de la legislación y prácticas vigentes en cada país, destacando la necesidad de normativas claras y la integración de análisis de vulnerabilidad para mejorar la gestión del riesgo frente a inundaciones. Lo que les permitió concluir que la implementación efectiva de la cartografía de riesgo requiere una coordinación rigurosa entre escalas institucionales y la inclusión sistemática de estos mapas en los procesos de planificación urbana, subrayando la importancia de considerar no solo la peligrosidad, sino también la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental en la gestión del riesgo de inundación. (Zapperi1 & Olcina, 2021)

También en el año 2023, los señores Heynner Yesid Chona-Jurado, Nelson Javier Cely-Calixto y Gustavo Adolfo Carrillo-Sot, publicaron el artículo denominado “*Comparación obras de reducción del riesgo sobre áreas de amenaza alta por inundación sobre un sector de la Quebrada Tonchala en San José de Cúcuta*” en donde destacan la importancia de las estructuras de protección para mitigar el riesgo en zonas vulnerables. El objetivo principal fue evaluar y comparar diferentes tipos de obras de protección utilizando el método AHP, considerando criterios técnicos, económicos, sociopolíticos y ambientales. El análisis reveló que el muro de hormigón fue la opción más viable, obteniendo una ponderación del 35% debido a su adecuación a las condiciones geomorfológicas locales y su capacidad para reducir significativamente la amenaza de inundaciones. (Chona-Jurado et al., 2023)

4. Referente normativo y legal

La normatividad relacionada para el sector en Colombia es muy numerosa y abarca desde leyes especiales hasta decretos y resoluciones de diversos organismos que regulan las materias.

Una síntesis de la normatividad aplicable en el tema se presenta en la siguiente tabla:

Norma	Importancia
Constitución Política de Colombia	Capítulo 3 – De los derechos colectivos y del ambiente
Decreto Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 2858 de 1981	Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.
Ley N° 46 de 1988	En esta ley establece los objetivos y noción del Sistema Nacional, los aspectos a tener en cuenta del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres, establece la necesidad de un Sistema Integrado de Información, la participación de entidades y organismos públicos y privados, y la aplicación del Plan Nacional en las actividades de planeación regional, departamental y municipal.
Decreto No. 919 de 1989	Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.
Ley 02 de 1991	Se precisa que los municipios deben no sólo levantar sino tener actualizados los inventarios de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos y que los alcaldes contarán con la colaboración de las entidades pertenecientes al Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, para desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas.
Ley 99 de 1993	Sistema Nacional Ambiental - Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Ley 164 de 1994	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992.
Decreto 1277 de 1994	Organización IDEAM - Por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM
Ley No. 322 de 1996	Por la cual se crea el Sistema Nacional de Bomberos de Colombia. En este se define que es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional, en forma directa o por medio de los Cuerpos de Bomberos Voluntarios, por lo que se crea el Sistema Nacional de Bomberos con el objeto de articular los esfuerzos públicos y privados para la prevención y atención de incendios, explosiones y demás calamidades conexas, haciendo parte del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
Ley 388 de 1997	Por medio de la cual se modifica la ley 9 de 1989 y se adoptan los Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Esta ley comprende un conjunto de acciones político administrativas y de planificación física concertadas por parte de los municipios o distritos, buscando orientar el desarrollo del territorio de acuerdo con estrategias de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente.
Decreto No. 93 de 1998	Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

Decreto 291 de 2004	Asigna a la Subdirección de Meteorología del IDEAM, entre otras, la función de establecer los mecanismos para conformar y operar el Sistema de Información Ambiental en lo referente a información meteorológica y climática, producir el informe sobre el estado y la evolución del clima para el balance anual sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables que debe presentar el Director General al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, aportar los criterios técnico-científicos para la instalación y operación de las estaciones meteorológicas de todo tipo: sinópticas, climatológicas, aeronáuticas, agrometeorológicas, de ecosistemas y deslizamientos, de radiosonda y especiales, del Instituto. supervisar el funcionamiento de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM y de las otras entidades que las posean en el país y mantener el catálogo respectivo, elaborar las guías y manuales sobre normalización y estándares de las observaciones meteorológicas y de los instrumentos, así como de las prácticas, procedimientos y metodologías para la toma de datos, etc.
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, que se concentra en responsabilidades, principios y definiciones básicos, en donde el concepto de riesgo es la base; además se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
Decreto 1974 de 2013	Por el cual se establece el procedimiento para la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Incorpora en un único decreto las disposiciones sobre el SIAC en cuanto al acceso a la información ambiental, la organización del IDEAM (Dec. 1277/1994) y del Sistema de Información Ambiental – SIA (Dec. 1600/1994).

Tabla 1. Marco Legal

5. Referente teórico

Sistemas de información Geográfica – SIG.

Los SIG son, en esencia, un conjunto de herramientas que nos permiten obtener, almacenar, visualizar, y procesar datos, especialmente del mundo real. El avance tecnológico de estas herramientas ha sido significativo, particularmente en el estudio de inundaciones. Actualmente, existen numerosos programas que posibilitan realizar estudios hidrológicos en profundidad, cuyos resultados a menudo se plasman en mapas de susceptibilidad a amenazas o de riesgos a inundaciones.

Justamente estos avances tecnológicos, permiten la integración de un sinnúmero de datos y esto hace de los SIG una herramienta esencial en la creación de modelos hidrológicos, ya que realiza el procesamiento de información digital, análoga, a diferente tipos de escala y proyección, permite ingresar bases de datos, Modelos de Elevación Digitales – DEM, datos vectoriales, en ráster, fotografía aéreas, imágenes etc., adicionalmente, tiene en cuenta las variables que intervienen en este tipo de modelos, como por ejemplo, la geomorfología, la geología, los suelos, etc. (Ribera Masgrau, 2004).

El modelo digital de elevación desde su creación en la década de los 50 ha constituido un medio para el conocimiento y representación del terreno y para lograr análisis de los elementos presentes en el mismo mediante el uso de equipo y software especializado para tal fin. En la actualidad los modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve muy versátil y funcional ya que a partir del mismo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (MDS).

Además es posible derivar o generar información a partir de los modelos digitales de elevación que nos posibilita que tengamos más datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve, los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de la altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

Geoportal: Es una puerta de acceso a recursos geoespaciales basado en web, que permite descubrir, visualizar y acceder a información y servicios espaciales disponibles, ofrecidos por diversas organizaciones.

Precipitación.: Fenómeno meteorológico por el cual el vapor de agua se condensa y llega al suelo en forma de nieve, granizo, rocío y principalmente agua lluvia. El agua es importante para la existencia de los seres vivos y para el ecosistema; el conocimiento de la distribución de la precipitación permite mejorar la planificación, contar con un calendario agrícola, conocer la disponibilidad de agua o escasez de agua en una localidad, etc. En los diferentes países, los principales factores que condicionan la precipitación son la presencia de la cordillera de los andes, el Anticiclón del Pacífico Sur, la corriente de Humboldt y las perturbaciones de la Circulación General de la Atmósfera. (IDEAM)

Precipitación total: Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae. La cantidad de precipitación se mide con un pluviómetro,

dispositivo que cuenta con una probeta graduada, o con el pluviógrafo, que tiene una banda registradora en una escala de milímetros (mm).

El proceso de cálculo del indicador parte de la disponibilidad de datos oficiales de precipitación reportados para las estaciones de monitoreo que conforman la red meteorológica de los países. El procedimiento implica la selección de la estación que se considera refleja de forma más adecuada las condiciones del área para la cual se calculará el indicador, en razón a que tiene el mayor número de las siguientes características: tecnología adecuada para capturar el dato, genere datos precisos, disponga de datos históricos que permitan análisis de series de tiempo, o garantice su permanencia en el tiempo, entre otras.

El proceso consiste en agregar los datos de precipitación contabilizados por una misma estación durante los lapsos de tiempo que cubran el período para el cual se desea calcular el indicador.

Índice de precipitación: El índice de precipitación es la desviación de la precipitación total del mes en porcentaje con relación a la precipitación media. Es decir, corresponde a la relación porcentual entre la precipitación en un lapso de tiempo, durante el periodo de tiempo la precipitación media multianual del lapso de tiempo i en el periodo de tiempo, para una estación de monitoreo dada.

Señala la fluctuación por encima y por debajo de lo normal del comportamiento del régimen de precipitación de un mes o año respecto al valor promedio (normal) que ha tenido durante un periodo de tiempo dado, posibilitando la identificación de tendencias, tendencias generales de sequías cuando se toman únicamente los rangos de precipitación continuos y

recurrentes inferiores al promedio establecido, la variabilidad durante fenómeno ENSO (El Niño, La Niña Oscilación del Sur).

Fenómeno de la niña y el niño: El ciclo conocido como "el Niño" y su fase opuesta "la Niña" son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. Son las componentes oceánicas del ENOS (Oscilación del Sur) que corresponde a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia. (IDEAM).

El Fenómeno de "el Niño" es un evento climático que se genera cada cierto número de años por el calentamiento del océano Pacífico. Sus efectos son notables en el norte de la región Pacífica, los departamentos de la región Andina y en los departamentos de la región Caribe.

El efecto de "La Niña" en nuestro país se caracteriza por un aumento considerable de las precipitaciones (anomalías positivas) y una disminución de las temperaturas (anomalías negativas) en las regiones Andina, Caribe y Pacífica, así como en áreas del piedemonte de los Llanos orientales, mientras que en la zona oriental (Orinoquía y Amazonía), dichas variables tienden a un comportamiento cercano a lo normal, sin ser muy claro el patrón climatológico ante la presencia de un evento frío. La ocurrencia de un fenómeno como "La Niña", sugiere un acoplamiento del océano y la atmósfera y de acuerdo con lo expuesto a final de enero de 2011 por la Organización Meteorológica Mundial (por consenso de diversos centros climáticos del mundo), este episodio "La Niña", se ha caracterizado por un importante componente atmosférico y, según revelan los indicadores correspondientes, se trata de uno de los episodios más intensos del último siglo, con un fuerte acoplamiento océano-atmósfera. (IDEAM)

Inundaciones: Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas. (IDEAM)

Gestión de Riesgos y Desastres (GRD): Según la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), a través de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), la gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse. (UNDRR, 2005)

Contar con instrumentos para la gestión de riesgos de desastres permiten la anticipación y una mejor preparación ante las amenazas por fenómenos de la naturaleza. Junto con ello, la coordinación entre las instituciones resulta fundamental para que las decisiones de políticas y acciones resulten efectivas. (CEPAL, 2018)

Áreas con condición de amenaza: “Son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo pot la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural

suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo” (art. 3º, par. 1º, Decreto 1807 de 2014).

Riesgo de desastres: “Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad” (art. 4º, numeral 25, Ley 1523 de 2012).

Zonificación: Hace referencia a “la división del territorio en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo con el nivel de susceptibilidad, amenaza o riesgo actual o potencial” (SGC, 2017, p. 22)

Conocimiento del riesgo

Geología regional: En la zona de estudio afloran regionalmente, unidades litoestratigráficas que van desde el Plioceno hasta el Cuaternario entre las cuales se encuentran rocas sedimentarias y depósitos cuaternarios costeros. Cada una de ellas están descritas a continuación con sus características de formación, con base en la Memoria Explicativa y Plancha Geológica 279–Bahía de Buenaventura.

Formación mayorquín (N2-Sm): La Formación Mayorquín consiste en sedimentitas horizontales, no deformadas, de edad pliocena (Ilustración 5). Se considera lateralmente equivalente a la Formación Raposo, desconociendo su espesor, Nivia (2001).

Esta unidad se reconoce por la ausencia de conglomerados y por la abundancia de fósiles de invertebrados marinos. Asimismo, es similar a la Formación Raposo excepto que los horizontes conglomeráticos se presentan solo, localmente.

Típicamente la formación consiste en una interestratificación de lodolitas y arenitas líticas pobremente seleccionadas y estratificadas, la bioperturación y los fósiles marinos son comunes, la secuencia es localmente calcárea y también contiene horizontes con concreciones nodulares ricas en hierro, que alcanzan hasta 1 m de intercepto máximo, además los restos de madera son comunes en la zona, Nivia (2001).

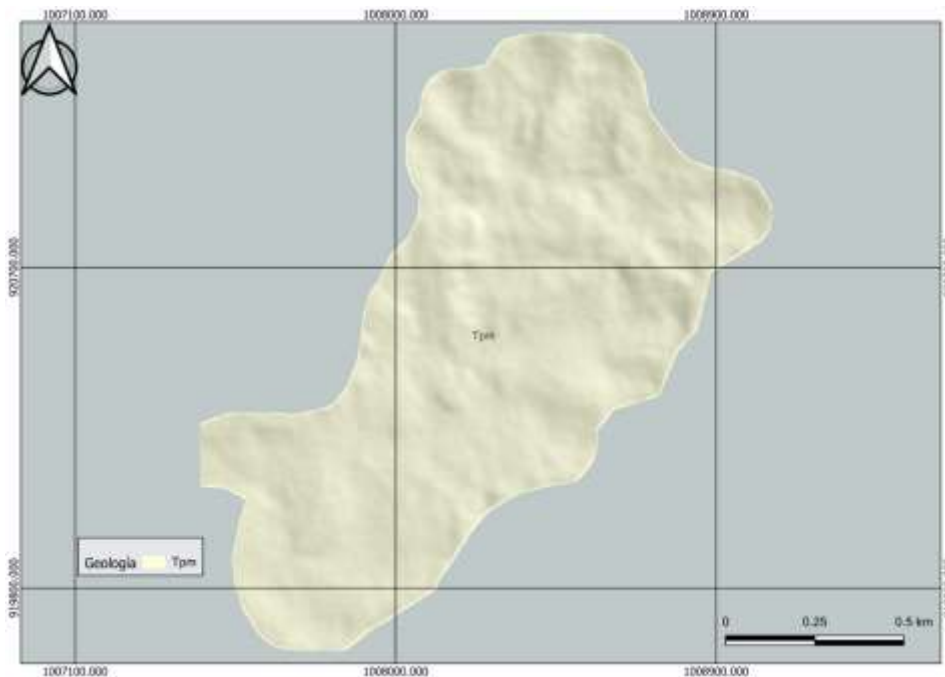


Ilustración 4. Mapa geológico de la zona de estudio "Formación mayorquín"

Geología local: El área de estudio se caracteriza por presentar una unidad geológica, que es la Formación Mayorquín, conformada por arenisca, limolitas y lodolitas de origen marino.

Para la descripción de las unidades geológicas presentes en el área, se toma información de las memorias de la cartografía realizada por el Instituto Colombiano de Geología y Minas plancha 278 (INGEOMINAS), 2005, complementado con las observaciones realizadas en campo.

Geología estructural: La principal estructura geológica que atraviesa el Distrito de Buenaventura de oriente a occidente es el sistema de fallas este-oeste, ejerciendo un control estructural sobre la quebrada La Chanflana (Ilustración 5).

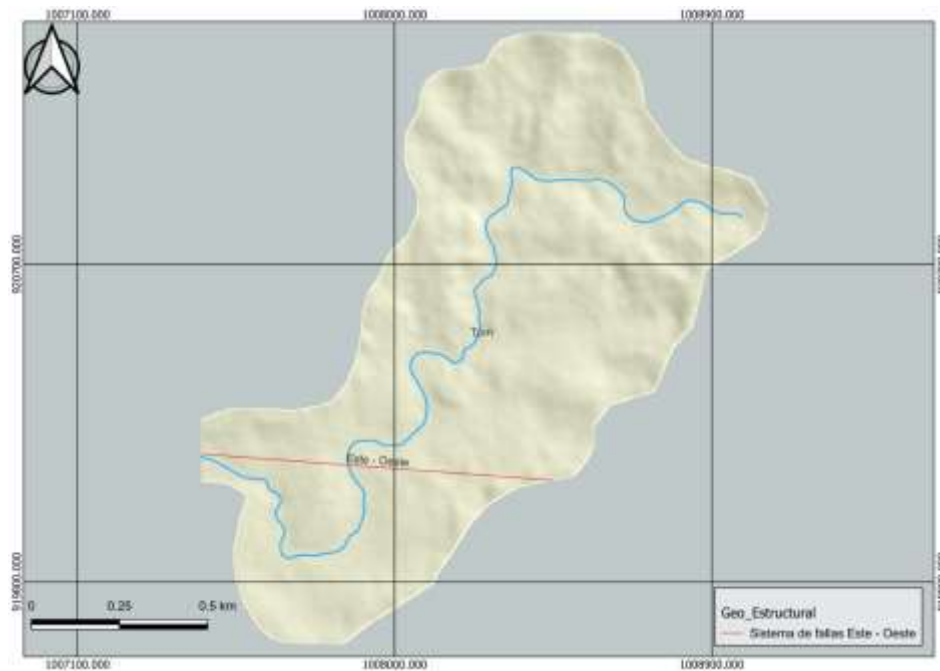


Ilustración 5. Mapa Estructural

Sistema de información geográfica (SIG): Un Sistema de Información Geográfico (SIG) permite relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros

datos de los municipios. Este es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos, y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada. Los siguientes son los componentes de un SIG:

- Hardware: Conjunto de elementos físicos y materiales (servidores, computadores) que facilitan la manipulación de las bases de datos y los programa SIG.
- Programas o software: Administradores de base de datos, que permiten la visualización, almacenamiento, diseño, análisis en integración de la información.
- Datos: Representación de un atributo o una variable cuantitativa que diferencian a los SIG de otros sistemas de información. La calidad de la base de datos determinar la eficiencia y eficacia de los resultados obtenidos por medio del SIG.
- Procedimientos: Técnicas implementadas por los usuarios que tienen contacto con los sistemas de información geográfica, para llevar a cabo sus fines, en las cuales se realizan actividades como captura de datos (datos alfanuméricos, digitalización), estructuración, edición, actualización de información, entre otros.
- Recurso humano: Personal compuesto por análisis, desarrolladores, administradores, programadores, y usuarios encargados de operar, editar y administrar el SIG, facilitando el establecimiento de la estructura del mismo, para la toma de decisiones en lo relacionado a procesos propios del sistema.

Riesgo: El riesgo es la probabilidad de que ocurra un hecho adverso. Es la combinación de la probabilidad de la ocurrencia de un evento adverso y la magnitud del impacto que se puede

causar, así mismo es la incertidumbre frente a la ocurrencia de eventos y situaciones que afecten los beneficios de una actividad.

Establecidos los eventos contingentes, se procede a estimar el nivel de riesgo que éstos tienen, mediante la combinación de la calificación de las amenazas que dan lugar a los diferentes eventos y la vulnerabilidad de los elementos socioambientales presentes en el área de influencia; definiendo el riesgo como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, se tiene que:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

- Riesgo aceptable: son los riesgos que no representan una amenaza significativa para el ambiente y sus consecuencias no son graves. Son los de menor prioridad, alcance y destinación de recursos para su atención. Son los riesgos con los cuales se dice que “se puede convivir”
- Riesgos tolerables: son riesgo que tienen un nivel de amenaza alto y pueden ocasionar daños más significativos sobre el ambiente y la población, por lo que requieren del diseño e implementación de planes de atención que implican una mayor disponibilidad de recursos y se deben incluir sistemas de monitoreo. Estos riesgos deben ser atendidos con un nivel secundario de prioridad.
- Riesgos críticos: son riesgos que pueden causar daños graves sobre el ambiente y la comunidad, requieren planes de atención prioritario y a corto plazo, con alta disponibilidad de recursos y con un monitoreo intenso.

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar

pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

El concepto de vulnerabilidad en el contexto de la gestión del riesgo de desastres es usado para determinar “los diferentes niveles de preparación, resiliencia y capacidades con las que cuenta un individuo ante la ocurrencia de un desastre” (Cannon et al, 2003). Una persona puede ser más o menos vulnerable ante la ocurrencia de eventos críticos externos dependiendo en como el individuo administre sus activos tangibles e intangibles, y cómo estos pueden verse afectados ante la ocurrencia de un desastre. La vulnerabilidad social entonces, va más allá de la afectación de estructuras físicas, e incluye las diferentes características y capacidades de los individuos (UNGRD & IEMP, 2016).

Adaptación: Comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas, En el caso de los eventos hidrometeoro lógicos la Adaptación al Cambio Climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está

encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.

Alerta: Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos.

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

Calamidad pública: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones

normales de funcionamiento de la población, en el respectivo territorio, que exige al municipio, distrito o departamento ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Cambio climático: Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras.

Conocimiento del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

Contingencia: Puede definirse como un evento o suceso que ocurre, la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, que causa alteraciones en los patrones normales del entorno. Esta alteración puede desencadenar una emergencia en la medida en que obligue a reaccionar con una serie de procedimientos para minimizar la magnitud de sus efectos. Las contingencias pueden ser originadas por la manifestación de un fenómeno natural, por procesos de operación y por actividades humanas (antrópicas).

Desastre: Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Emergencia: Situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general. Exposición (elementos expuestos): Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza.

Erosión: Adaptando la definición presentada en el estudio Indicadores de erosión en áreas áridas y semiáridas (FAO, 2014), la erosión es un proceso de pérdida continua y selectiva de materiales ocasionada por agentes naturales o antrópicos. Cuando la erosión se produce sin intervención antrópica, se denomina erosión geológica o natural, debido a la acción de agentes como el agua (hídrica), viento (eólica), deshielo (glaciar), entre otros, sobre los materiales de las capas superficiales roca o suelo, de lo contrario se considera erosión antrópica o acelerada, en la que el hombre altera los procesos naturales principalmente con prácticas como el laboreo en el

sentido de la pendiente, cultivos, compactación del terreno, deforestación, quemas, minería, entre otras actividades (SGC, 2017).

Escenarios de riesgo: Los escenarios de riesgo describen las distintas formas en que podrían manifestarse las amenazas mencionadas, en un momento dado, ya sea como consecuencia de la materialización de una sola amenaza o por la conjunción de varias de ellas.

Exposición: Es la frecuencia con que las personas o las estructuras, entran en contacto con el factor de riesgo.

Factores de riesgo: Para que suceda un evento que pueda producir un desastre debe haber una amenaza, que es un fenómeno de origen natural, socio natural, antrópico no intencional y tecnológico que cause daño en un momento y lugar determinado y una o varias condiciones desfavorables en una comunidad, las cuales se denominan vulnerabilidades.

Frecuencia: Representa el número de eventos o de procesos en un intervalo de tiempo dado. Puede ser evaluada a partir de datos empíricos (SGC, 2017).

Gestión del riesgo: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito

explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Intensidad: Medida cuantitativa o cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

Intervalo de recurrencia o periodo de retorno: Es el intervalo de tiempo o periodo de retorno, es el promedio en que se espera que ocurra un evento de cierta magnitud. Es el inverso de la probabilidad anual (SGC, 2017).

Intervención: Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.

Intervención correctiva: Proceso cuyo objetivo es reducir el nivel de riesgo existente en la sociedad a través de acciones de mitigación, en el sentido de disminuir o reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Intervención prospectiva: Proceso cuyo objetivo es garantizar que no surjan nuevas situaciones de riesgo a través de acciones de prevención, impidiendo que los elementos expuestos sean vulnerables o que lleguen a estar expuestos ante posibles eventos peligrosos. Su objetivo último es evitar nuevo riesgo y la necesidad de intervenciones correctivas en el futuro. La

intervención prospectiva se realiza primordialmente a través de la planificación ambiental sostenible, el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de prefactibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población.

Manejo de desastres: Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación posdesastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.

Mitigación del riesgo: Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible y la vulnerabilidad existente.

Preparación: Es el conjunto de acciones principalmente de coordinación, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento, centros de reserva, albergues y entrenamiento, con el propósito de optimizar la ejecución de los diferentes servicios básicos de respuesta, como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros.

Precipitación: Las precipitaciones son cualquier tipo de forma hidrometeorológica que precipita de la atmósfera y cae sobre el terreno en forma ya sea de lluvia, llovizna, granizo, nieve entre otros.

Prevención de riesgo: Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible.

Probabilidad: Es el grado de inminencia o rareza de ocurrencia real del daño y sus consecuencias, dada la presencia del factor de riesgo.

Protección financiera: Mecanismos o instrumentos financieros de retención intencional o transferencia del riesgo que se establecen en forma ex ante con el fin de acceder de manera ex post a recursos económicos oportunos para la atención de emergencias y la recuperación.

Recuperación: Son las acciones para el restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y

social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito central evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes en el área o sector afectado.

Reducción del riesgo: Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.

Reglamentación prescriptiva: Disposiciones cuyo objetivo es determinar en forma explícita exigencias mínimas de seguridad en elementos que están o van a estar expuestos en áreas propensas a eventos peligrosos con el fin de preestablecer el nivel de riesgo aceptable en dichas áreas. **Reglamentación restrictiva:** Disposiciones cuyo objetivo es evitar la configuración de nuevo riesgo mediante la prohibición taxativa de la ocupación permanente de áreas expuestas y propensas a eventos peligrosos. Es fundamental para la planificación ambiental y territorial sostenible.

Respuesta: Ejecución de las actividades necesarias para la atención de la emergencia como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales

peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. La efectividad de la respuesta depende de la calidad de preparación.

Riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos.

Seguridad territorial: La seguridad territorial se refiere a la sostenibilidad de las relaciones entre la dinámica de la naturaleza y la dinámica de las comunidades en un territorio en particular. Este concepto incluye las nociones de seguridad alimentaria, seguridad jurídica o institucional, seguridad económica, seguridad ecológica y seguridad social.

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

Zonificación: La zonificación es la división del territorio en áreas o dominios homogéneos y su categoría de acuerdo con el nivel de susceptibilidad, amenaza o riesgo actual o potencial (SGC, 2017). Existen varias metodologías para la zonificación, ya sea de susceptibilidad, amenaza

o riesgo, las cuales se dividen en: métodos determinísticos, método heurístico y métodos matemáticos como los estadísticos univariados y bivariados, dicha zonificación se clasifica en tres rangos: alto, medio y bajo.

Esta sección se incluyen símbolos generales (con letras latinas y griegas), subíndices, superíndices y abreviaturas. Sólo se deben incluir las listas de símbolos que se utilicen. Cada una de estas listas debe estar ubicada en orden alfabético de acuerdo con la primera letra del símbolo. Su uso es frecuente en Ingeniería, en otras áreas de conocimiento puede ser opcional.

6. Metodología

Zona de estudio

El área de estudio se enfoca en una Quebrada ubicada en el departamento del Valle del Cauca y el Distrito de Buenaventura, (ver Ilustración 6). Esta Quebrada toma el nombre de “La Chanflana”, y se distingue por que cubre los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón.

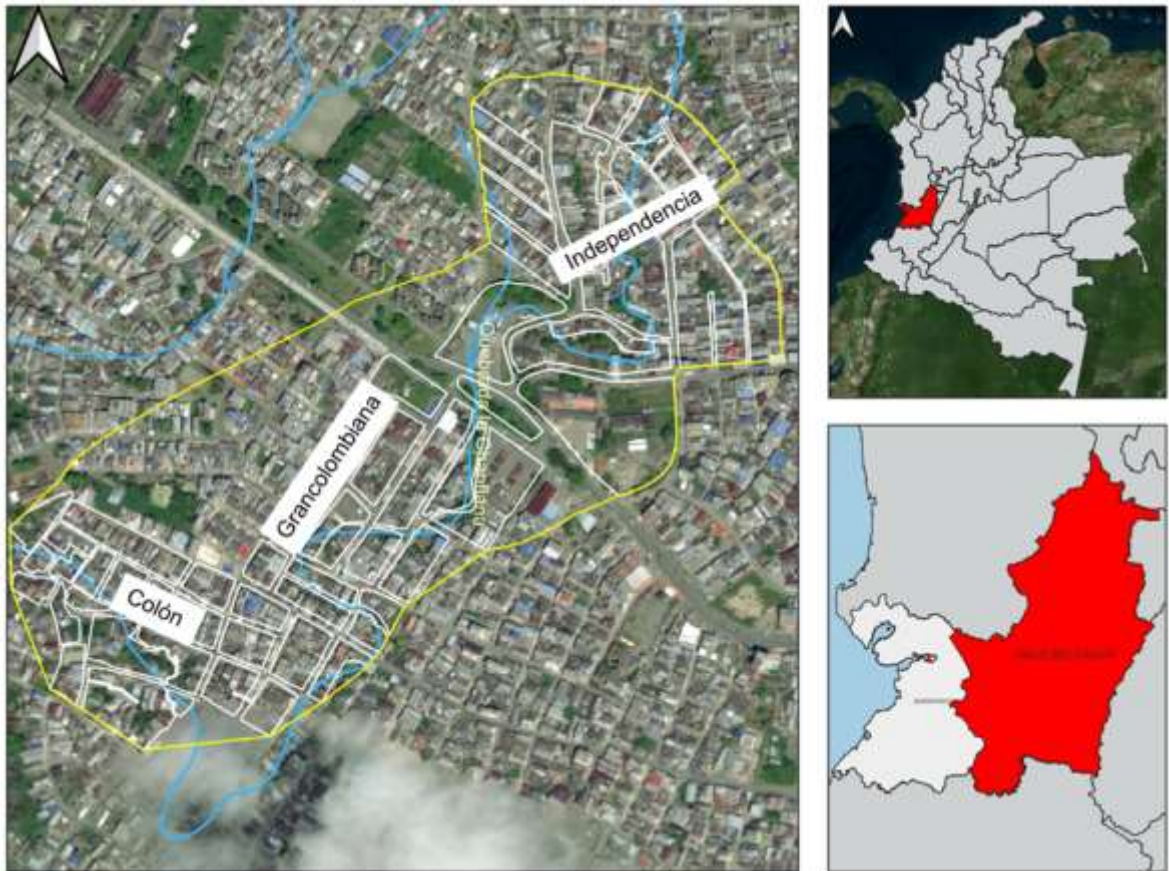


Ilustración 6. Localización del área de estudio. Se visualiza el departamento del Valle del Cauca y el Distrito de Buenaventura Fuente Autor.

6.1 Enfoque metodológico

El trabajo de investigación se enmarca bajo la perspectiva metodológica cuantitativa, ya que el objetivo se enfoca en analizar la zonificación de amenazas por inundación en los barrios

Independencia, Gran Colombiana y Colón en el Distrito de Buenaventuras, para la reducción y manejo de desastres y cuantificar su impacto físico en la población aledaña a la quebrada.

6.2 Tipo de estudio

Para el presente estudio se propuso una metodología cuantitativa de tipo descriptivo y correlacional ya que cumple con los siguientes ítems:

Cuantitativo descriptivo:

Debido a que la amenaza por inundación es un fenómeno que ha sido ampliamente estudiado al igual que sus componentes, lo que hace que el proyecto se unifique con mayor facilidad a la problemática presentada en los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón. Además, los análisis del trabajo de investigación hacen que se empleen muy bien sus conceptos, ya que es un fenómeno que presenta muchas variables de estudio e identificación de riesgo; por consiguiente, lo que hace que su análisis sea muy directo. Por último, el proyecto identifica y describe las variables que afectan a los barrios y la manera en que estas se presentan.

Cuantitativa correlacional

Se presenta este tipo de estudio debido a que la investigación pretende predecir las zonas de inundación mediante análisis y procesos numéricos de mapas. Además, para ejecutar los Geoprocesos propuestos en el proyecto de investigación, se emplean diferentes variables significativas que contribuyen a la generación del producto final.

6.3 Procedimiento

En esta fase, se recopilaron y procesaron los datos espaciales, fundamentales para el proyecto y se construyeron las capas cartográficas. Para esto se utilizaron reportes históricos de los barrios, datos mensuales y anuales de precipitación ofrecidos por el IDEAM, y datos alfanuméricos para construir las capas cartográficas básicas y temáticas. Además, se obtuvo información cartográfica de diferentes fuentes nacionales, como las manzanas catastrales del DANE.

Posteriormente, se revisó y normalizó la información geográfica y alfanumérica recogida, en donde se evaluaron las escalas, el formato y datos de los archivos, y la fuente de información.

Con estos datos, se lograron implementar las siguientes acciones:

- **Identificación de los escenarios de riesgo asociado a amenaza por inundación.**

Como parte del proceso para identificar los escenarios de riesgo, se utilizó la información recolectada de la comunidad para localizar las zonas más afectadas por las inundaciones del año 2023. Se llevaron a cabo reuniones en cada barrio con los presidentes de las Juntas de Acción Comunal (JAC) y con los habitantes de las viviendas afectadas.



Ilustración 7. Reunión Barrio Grancolombiana



Ilustración 8. Reunión Barrio Independencia

Al realizar el recorrido en compañía con algunos habitantes de los barrios se identificaron los sitios o escenarios donde se presentaron inundaciones. Para el barrio Independencia se realizó un levantamiento de seis (6) puntos, y para el barrio Grancolombiana se hizo un levantamiento de tres (3) puntos, cada punto fue capturado y georreferenciado por la herramienta QField, y se tomó una fotografía de una zona afectada. Sin embargo, en el barrio Colón no se pudo realizar el mismo procedimiento por las condiciones de orden público.

Esta captura de información permitió hacer un análisis con diferentes plataformas digitales como Colombia en mapas y Google Earth Pro, y a su vez georreferenciar estos escenarios desde visores geográficos

- **Uso y aplicación de un Modelo Digital de Elevación para identificar las llanuras de inundación.**

Se obtuvo un Modelo Digital de Elevación (DEM) proporcionado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Este DEM, con un tamaño de píxel de 2,5 metros, ofrece una alta resolución, lo que permitió la creación de mapas detallados de sombras, pendientes y curvas de nivel. Estos insumos fueron generados utilizando herramientas SIG a través de los software ArcGIS y QGIS. Los mapas resultantes facilitaron la visualización de las llanuras de inundación, así como la dirección y acumulación de flujo en la microcuenca de la quebrada La Chanflana. El análisis del DEM permitió identificar áreas planas y canales de arroyos, proporcionando una visión clara de la susceptibilidad a inundaciones en la zona.

- **Clasificación del año y mes de ocurrencia de la inundación con los datos del IDEAM.**

Tras realizar el recorrido y mantener reuniones con los habitantes de los barrios, se identificó que el año con mayor número de eventualidades fue 2023, y el mes con más ocurrencias fue julio de ese mismo año.

Con esta información, se accedió al geoportal del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para consultar los datos hidrometeorológicos. La información anual se generó a partir de los datos de la estación Aeropuerto, ya que esta es la estación más cercana con registros disponibles. La estación Colpuerto, por su parte, no registró datos de precipitación, lo que hizo necesaria la utilización de los datos de la estación Aeropuerto para el análisis.

Para los resultados del mes de julio, solo se obtuvieron datos de las estaciones Aeropuerto, Bajo Calima y El Tigre. Estos datos se unificaron en una hoja de Excel y luego se procesaron en el software QGIS, donde se convirtieron en archivos shapefile. Posteriormente, se utilizó el comando IDW para generar las isoyetas de diferentes valores; dando como resultado el mapa de precipitación.

- **Elaboración del mapa de zonificación de la amenaza por inundación.**

Para la elaboración del mapa de zonificación de la amenaza por inundación, se clasificó una malla de puntos tomando como referencia las viviendas de los barrios, utilizando la información de manzanas proporcionada por el catastro (DANE).

Una vez clasificados los datos, se incorporó el Modelo Digital de Elevación (DEM) del área de estudio para identificar las viviendas situadas en zonas susceptibles de inundación, destacando así aquellas que serían vulnerables en caso de un desbordamiento de la quebrada La

Chanflana. Se obtuvo la altitud de cada punto y se agregó al campo de altura en la tabla de atributos. Todo este proceso se llevó a cabo utilizando el software QGIS.

Una vez obtenidos los puntos y el modelo de elevación, se accedió al menú de complementos en QGIS, donde se seleccionó la opción "Analyses" y luego la herramienta "Point Sampling Tool". Al hacer clic en "Point Sampling Tool", se abrió una ventana que permitió especificar la capa que contiene los puntos de muestreo en la sección "Layer containing sampling point". En la pestaña "Layer with fields/bands to get values from", se seleccionaron tanto la capa de puntos como el modelo de elevación, permitiendo así extraer los valores correspondientes a cada punto de muestreo.

Después, se guarda el proceso utilizando la opción "Browse" en la carpeta del proyecto y se hace clic en "Aceptar". El comando realiza el cálculo de los puntos. Como el área de estudio es pequeña, el proceso se completa rápidamente; sin embargo, cuanto mayor sea el área, más tiempo tomará.

Una vez que los puntos se han cargado, se desactiva la capa del modelo de elevación y los puntos de muestreo. A continuación, se selecciona la capa de los nuevos puntos, se hace clic en "Propiedades" y se accede a "Simbología". En esta sección, se elige la opción "Graduado" y, en el campo de valores, se selecciona la capa del modelo de elevación. Luego, se selecciona la rampa de colores adecuada para visualizar la amenaza, clasificando las zonas en cuatro categorías, con el color rojo representando las áreas más vulnerables.

Finalmente, se unifican los puntos del mismo color para crear polígonos, lo que permite identificar claramente las zonas de inundación en cada sector del área de estudio.

7. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos mediante el uso de herramientas SIG, generando mapas cartográficos que identifican las afectaciones ambientales en la cuenca y proporcionan un análisis detallado de la susceptibilidad por inundación.

Colombia es un país constituido por una amplia diversidad geológica, geomorfológica, hidrológica y climática. Según el Banco Mundial, el 28% del territorio nacional se encuentra en zonas con alto potencial de inundación. Además, es el país con el mayor promedio de precipitación anual, registrando 3,240 mm anuales en 2014. Este factor, junto con el bajo desarrollo y cumplimiento del Plan de Ordenamiento Territorial y la deforestación, son algunas de las causas que contribuyen a que estos fenómenos generen graves afectaciones, poniendo en riesgo el desarrollo social y económico del país.

En las zonas urbanas, las inundaciones pueden ser causadas por varios factores como el crecimiento urbano no planificado, sistemas de drenaje inadecuados, obstrucciones en los cauces de agua, cambios en el uso del suelo, cambio climático y hundimiento del terreno. Estos factores pueden aumentar el riesgo de inundaciones al alterar el ciclo hidrológico natural y dificultar el manejo eficiente del agua de lluvia.

La precipitación en Buenaventura alcanza sus mayores valores entre septiembre y octubre, mientras que los valores más bajos se observan entre febrero y marzo, con un promedio anual de 7,400 mm (Enriquez, O., Guzmán, A. y Narváez, G, 2014)

Durante los días 1 y 14 de julio de 2023, se registraron varios eventos de inundación que afectaron distintas áreas en los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón. Para el análisis, se realizaron visitas a estos puntos críticos, identificando los escenarios de riesgo mediante coordenadas. Los puntos identificados fueron: la Carrera 56c con calle 4 y calle 5 (Barrio Grancolombiana), la Carrera 56ª con calle 1 Sur (Barrio Colón) y la Carrera 58 y 59 con calle 9b (Barrio Independencia). Así como se observa en el Mapa 2. Tras revisar imágenes en Google Earth del sector entre estos barrios y el barrio Cascajal, se identificó un cuerpo de agua que atraviesa la zona. Este cuerpo de agua había sido modificado, alterando la rugosidad en la Carrera 58 del barrio Independencia y con la construcción de un puente en la Carrera 56c del barrio Grancolombiana, lo que redujo la capacidad hidráulica de la quebrada. Por esta razón, la quebrada se desborda con mayor facilidad. La tubería no tiene un diámetro acorde a los niveles de volumen más alto de la quebrada, y el puente fue construido con un diámetro menor que el del cauce.

En la Ilustración 9, se observa la unión del resultado del mapa de sombra con las manzanas de los barrios afectados por la inundación, identificando específicamente las áreas impactadas cada vez que ocurre una inundación y las franjas donde podrían darse futuras inundaciones. Este análisis reveló que existen construcciones dentro de la zona de inundación, el cual se debe al mal desarrollo urbanístico. Dentro de las bases geográficas nacionales, solo se contaba con la información catastral por manzanas, la cual fue extraída del geportal del DANE y usada para los análisis correspondientes.

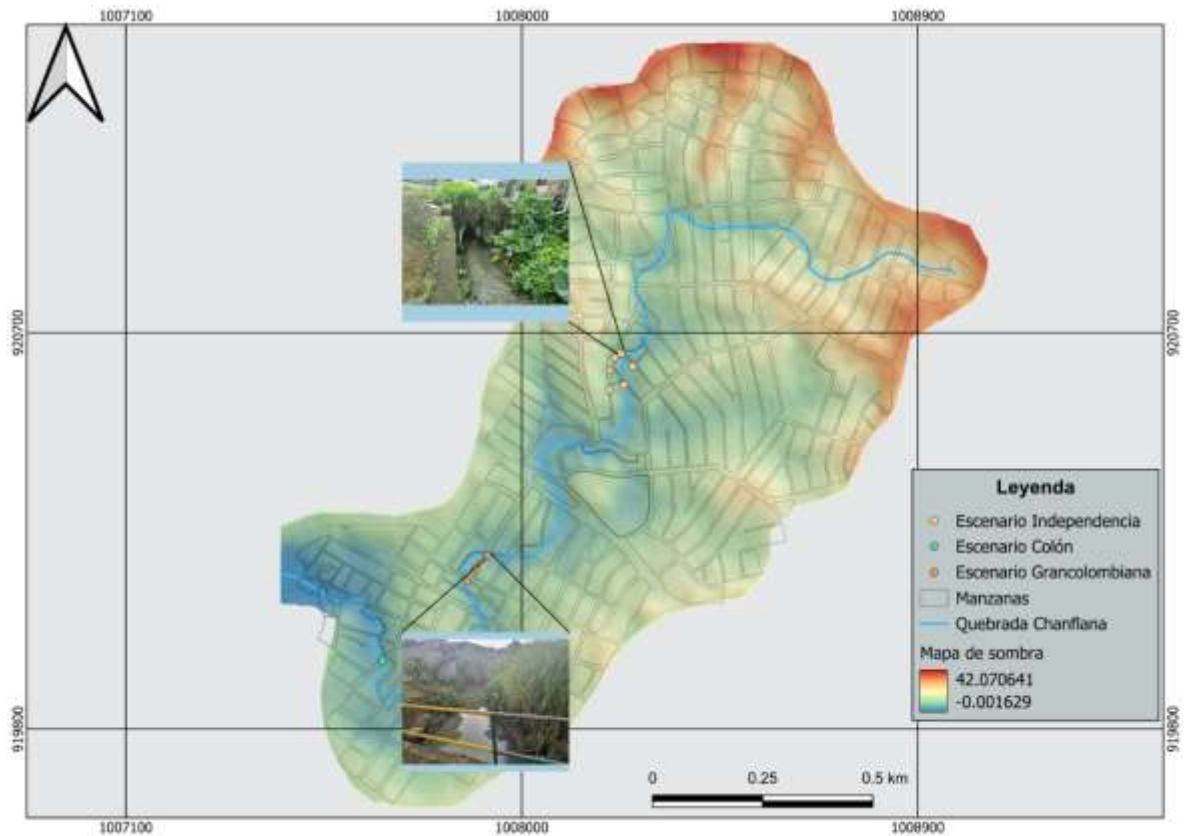


Ilustración 9. Mapa consolidado donde se evidencian los escenarios de riesgo.

Este cambio en la infraestructura ha traído consecuencias significativas. Durante las inundaciones, la carrera 56c, que es una vía pavimentada con un "puente", se inunda, al igual que la carrera 58, que no cuenta con pavimentación y fue modificada con tuberías hacia la quebrada. Mientras tanto, la carrera 59, pavimentada como la calle 9b, también se ve afectada. La movilidad se ve gravemente afectada cada vez que ocurren estas inundaciones, lo que destaca la importancia de una planificación adecuada de la infraestructura hidráulica para gestionar los riesgos de inundación y garantizar la movilidad urbana en la región.



Imagen 1. Inundación barrio Independencia 14 de julio 2023



Imagen 2. Inundación barrio Grancolombiana 2 de octubre 2023.

CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La microcuenca de la quebrada La Chanflana se encuentra ubicada en la Localidad 2 del Distrito de Buenaventura, abarca una superficie total de 1.35 km². El curso fluvial tiene una longitud total de 1.83 km, con una pendiente promedio del 5.55%.

En la sección baja de la microcuenca, donde se encuentran los barrios Independencia, Gran Colombiana, Cascajal y Colón, el patrón de drenaje es sinuoso y la llanura de inundación presenta un relieve plano. Este entorno geográfico puede influir en el comportamiento de la quebrada durante eventos de precipitación intensa, afectando la susceptibilidad a inundaciones en estas áreas urbanas.

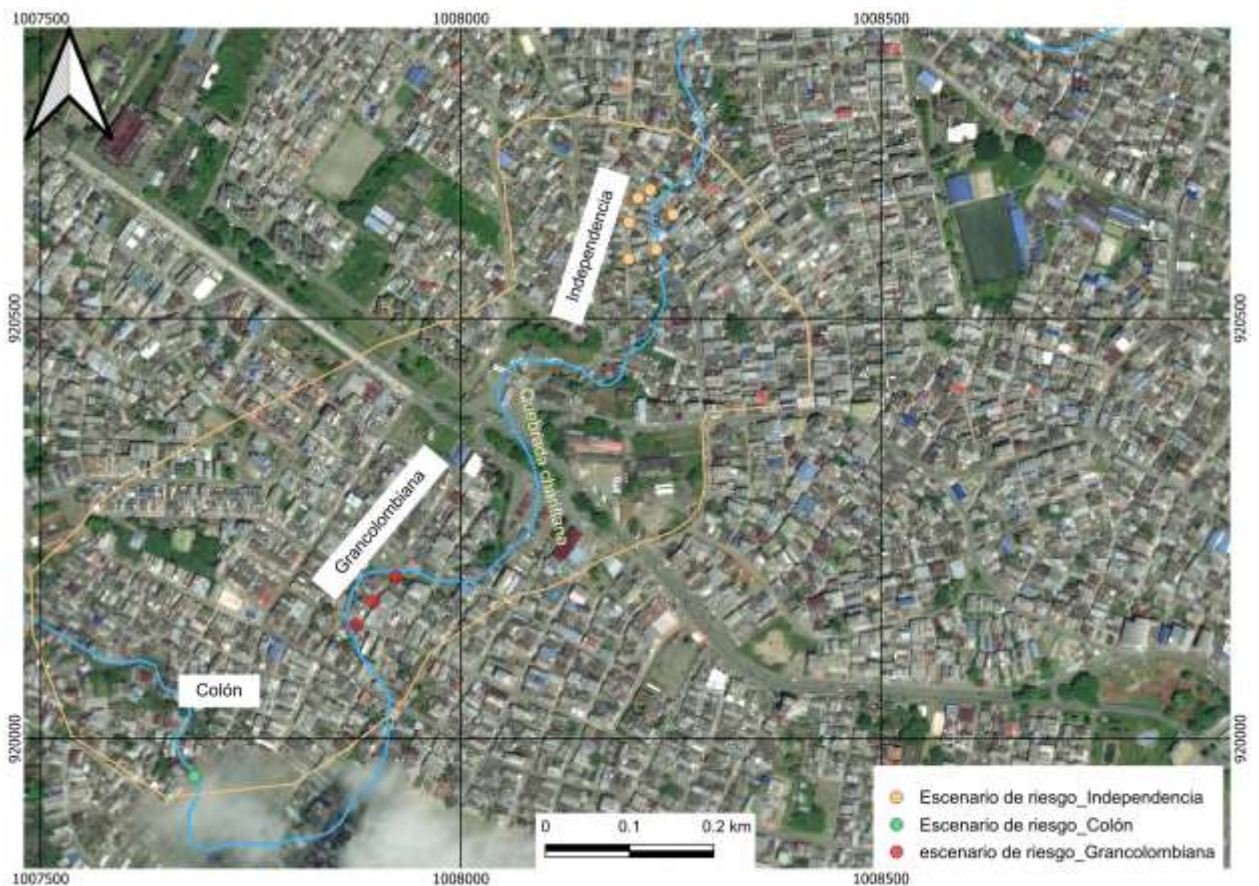


Ilustración 10. Escenarios y/o eventos de riesgo.

Factores que favorecieron a la ocurrencia del fenómeno

Una intervención antrópica en el cauce del río en los barrios Independencia y Gran Colombiana, junto con la acumulación de residuos sólidos arrojados por la comunidad a la quebrada.

Actores involucrados en la causa del fenómeno

Actores sociales: Algunos de estos actores fueron viviendas y pequeños negocios, como tiendas y barberías ubicados en las carreras 58 y 59 con calle 9b, Carrera 56c con calle 4 y 5 y las ubicadas en la Carrera 56^a con calle 1Sur.

Daños y pérdidas presentadas

- Traumas psicológicos en los residentes de Independencia, Grancolombiana y Colón debido a la inundación repentina.
- Bienes materiales particulares: Daños en electrodomésticos, pisos, muebles y motocicletas.
- Bienes materiales colectivos: Colmatación y rebose del sistema de alcantarillado pluvial.
- Bienes ambientales: Pérdida de capacidad de la quebrada La Chanflana, resultando en su desbordamiento.

Factores que favorecieron la ocurrencia de los daños

Los procesos de canalización de la quebrada con tuberías y la construcción de un puente con capacidad reducida en el paso del agua.

Impacto cultural derivado

Los habitantes del sector viven en constante zozobra, cada vez que se presentan fuertes lluvias, especialmente durante el fenómeno de La Niña, que es donde existe una mayor afectación física.

Descripción del fenómeno amenazante

Las condiciones antrópicas y topográficas de los barrios facilitan las inundaciones por el desbordamiento de la quebrada durante periodos de fuerte lluvias.

Identificación de causas del fenómeno amenazante

El crecimiento urbanístico irregular en el Distrito de Buenaventura ha llevado a la ocupación de zonas propensas a inundaciones. Junto a esto, se suma la infraestructura de alcantarillado pluvial deficiente con vertimientos directos a la quebrada aumentando el riesgo de inundaciones.

Es importante destacar que estos tres barrios se encuentran ubicados junto a la quebrada e incluso varias casas se encuentran construidas sobre ella, así como se observa en la Imagen 5. La falta de control de la alcaldía, en especial el control físico, contribuyó al crecimiento irregular en el distrito, además de la falta de actualización del Plan de Ordenamiento Territorial.



Ilustración 11. Barrio independencia, vivienda construida sobre la quebrada.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) con un tamaño de pixel de 2.5, lo que permitió elaborar un mapa de sombra, un mapa de pendientes, un mapa de curvas de nivel y además de la dirección y acumulación de flujo de la Quebrada.

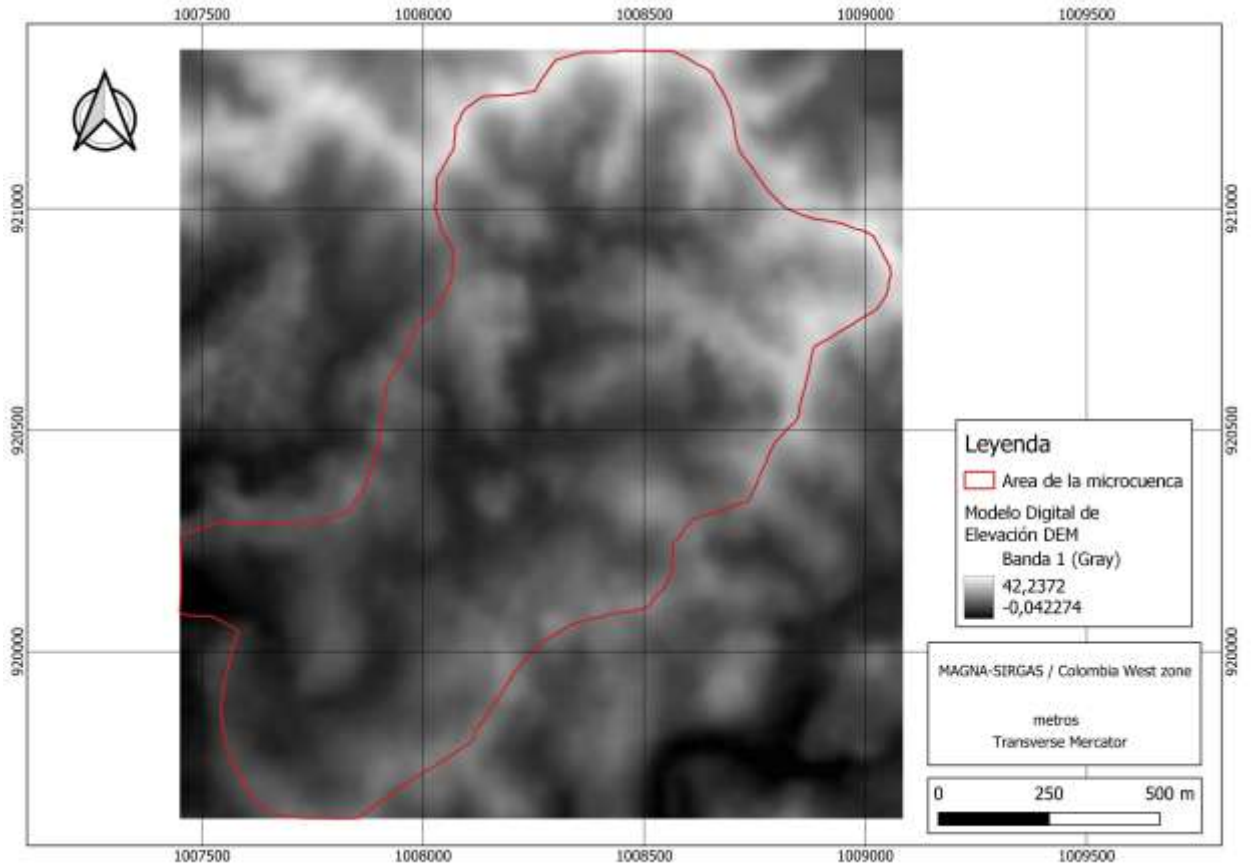


Ilustración 12. Mapa del Modelo digital de Elevación DEM con el área de la microcuenca quebrada la Chanflana.

MAPA DE SOMBRAS

El Modelo Digital de Elevación (DEM) fue la base para generar un mapa de sombras, empleando la herramienta QGIS a través de la función Hillshade. Este mapa permitió identificar con precisión las zonas más planas y aquellas por donde transcurre la quebrada La Chanflana (zonas de color verde en la Ilustración 13), que son propensas a inundaciones, permitiendo evidenciar el riesgo al que están expuestos sus habitantes.

Los resultados se visualizaron en un mapa detallado, como la Ilustración 13, que representa la microcuenca de la quebrada La Chanflana y sus áreas vulnerables, proporcionando información crítica para la gestión del riesgo en la zona estudiada.

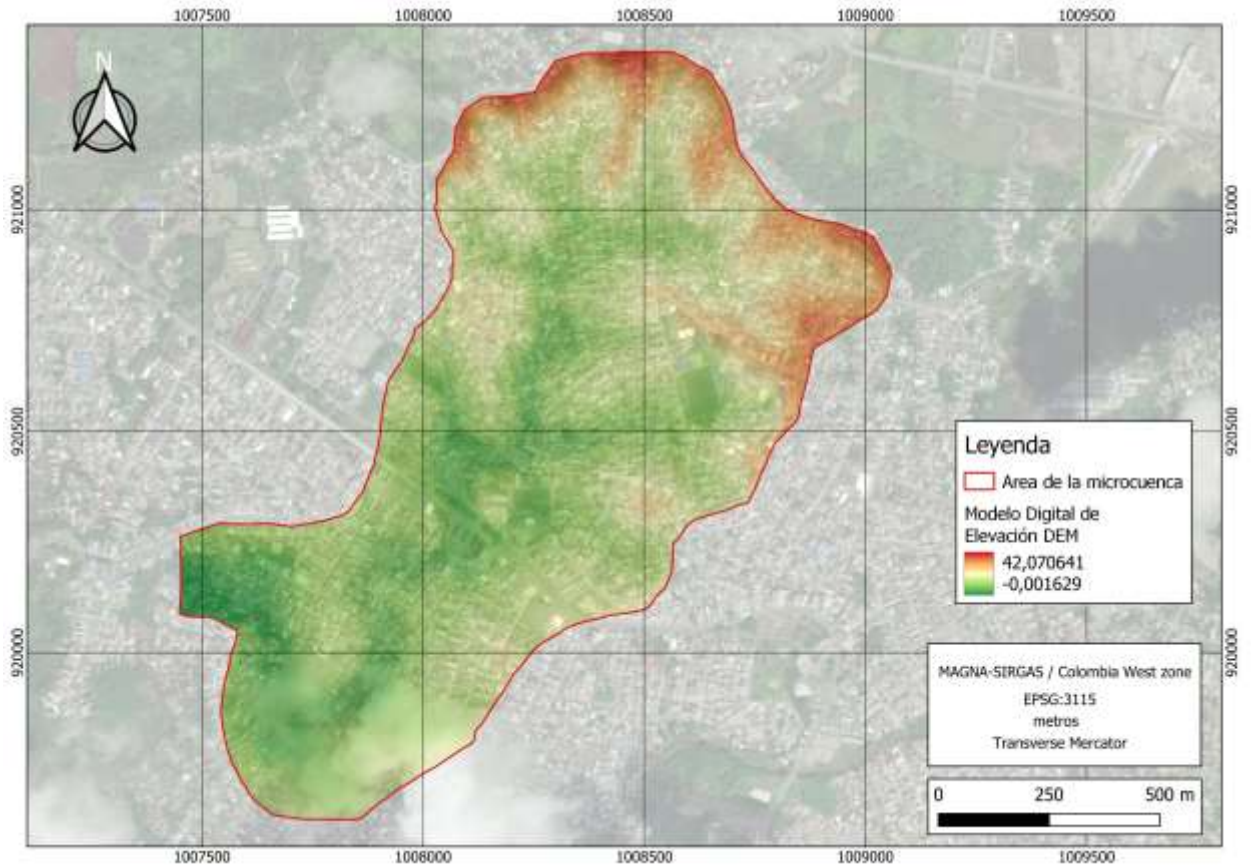


Ilustración 13. Mapa de sombras de la microcuenca quebrada la Chanflana.

MAPA DE PENDIENTES

Con base al Modelo Digital de Elevación (DEM), se logró generar un mapa de pendientes, en donde se identificaron cinco (5) rangos visibles de pendiente definidos por el Servicio Geológico Colombiano, los cuales son: Plano a casi plano ($0-3^\circ$), Suavemente inclinado ($2-4^\circ$), Inclinado ($4-8^\circ$), Moderadamente abrupto ($8-16^\circ$) y abrupto ($16-35^\circ$), donde predominan los de

Plano a casi plano, Suavemente inclinado, e Inclinado, lo que indica la presencia de zonas de elevaciones muy suaves (Ilustración 14). Esta característica indica que la principal amenaza en esta área será por desbordamiento de la quebrada, ya que es poco probable que ocurran inundaciones por avenidas torrenciales debido a las pendientes muy bajas.

A continuación, se presenta la tabla de Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa, definido por el Servicio Geológico Colombiano.

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0-2	Plano a casi plano
2-4	Suavemente inclinado
4-8	Inclinado
8-16	Moderadamente abrupto
16-35	Abrupto
35-55	Muy abrupto
>55	Extremadamente abrupto

Tabla 2. Rangos de pendiente utilizados con propósitos de análisis de ingeniería y zonificación de amenazas por movimientos en masa.

Fuente: tomado de van Zuidam (1986).

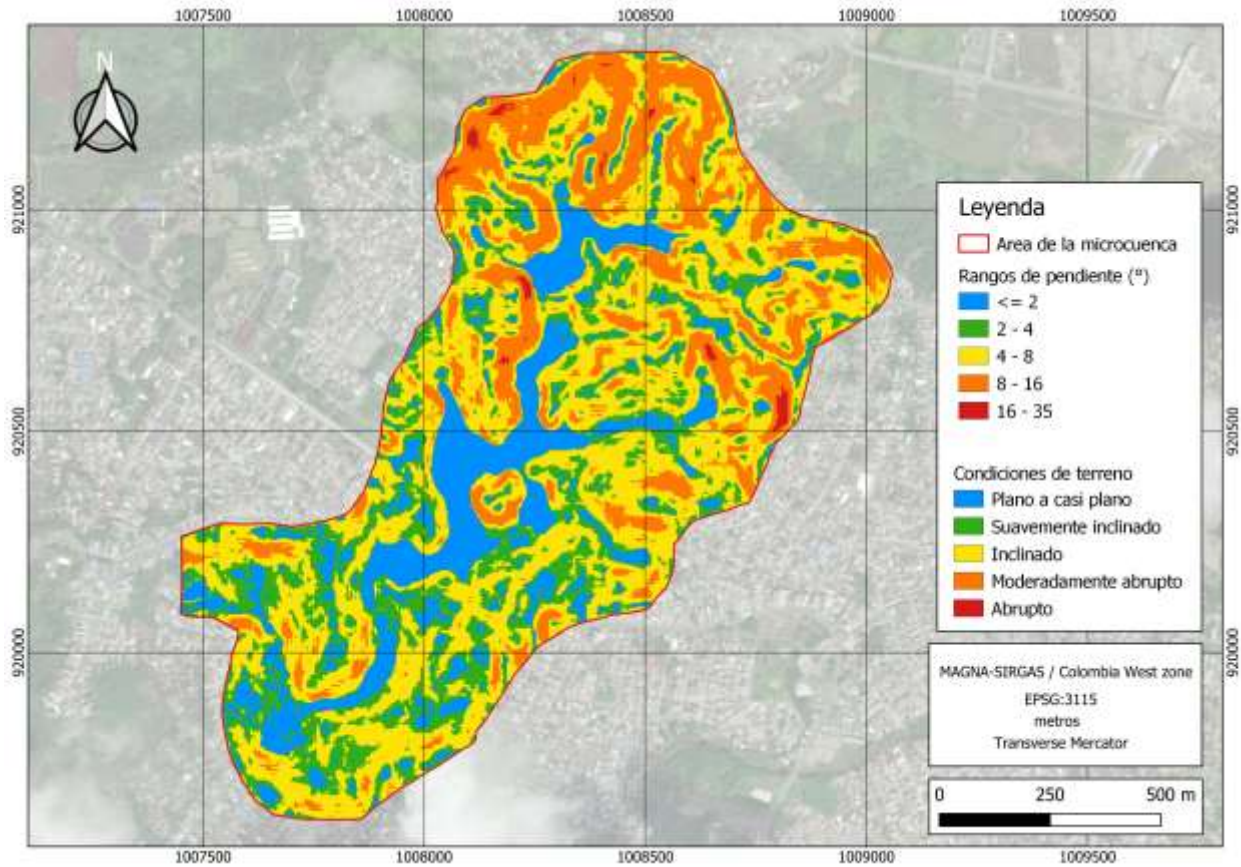


Ilustración 14. Mapa de pendientes por grados (°).

MAPA DE CURVAS DE NIVEL

El modelo digital de elevación (DEM) permitió generar las curvas de nivel dentro del área que cubre la quebrada La Chanflana, este mapa se generó a través de la función Pendientes “Slope”, es aquí donde la Ilustración 15, permite identificar que el nivel de elevación va desde 0 metros a 42 metros. Estas alturas complementan las condiciones de la zona de estudio, indicando el riesgo de inundación, ya que estos niveles son cruciales para la variabilidad de la velocidad de las aguas superficiales.

Las distancias entre curvas de nivel nos permiten identificar las áreas de mayor pendiente, así como las zonas planas. Estas variaciones topográficas son esenciales para evaluar el comportamiento del escurrimiento superficial.

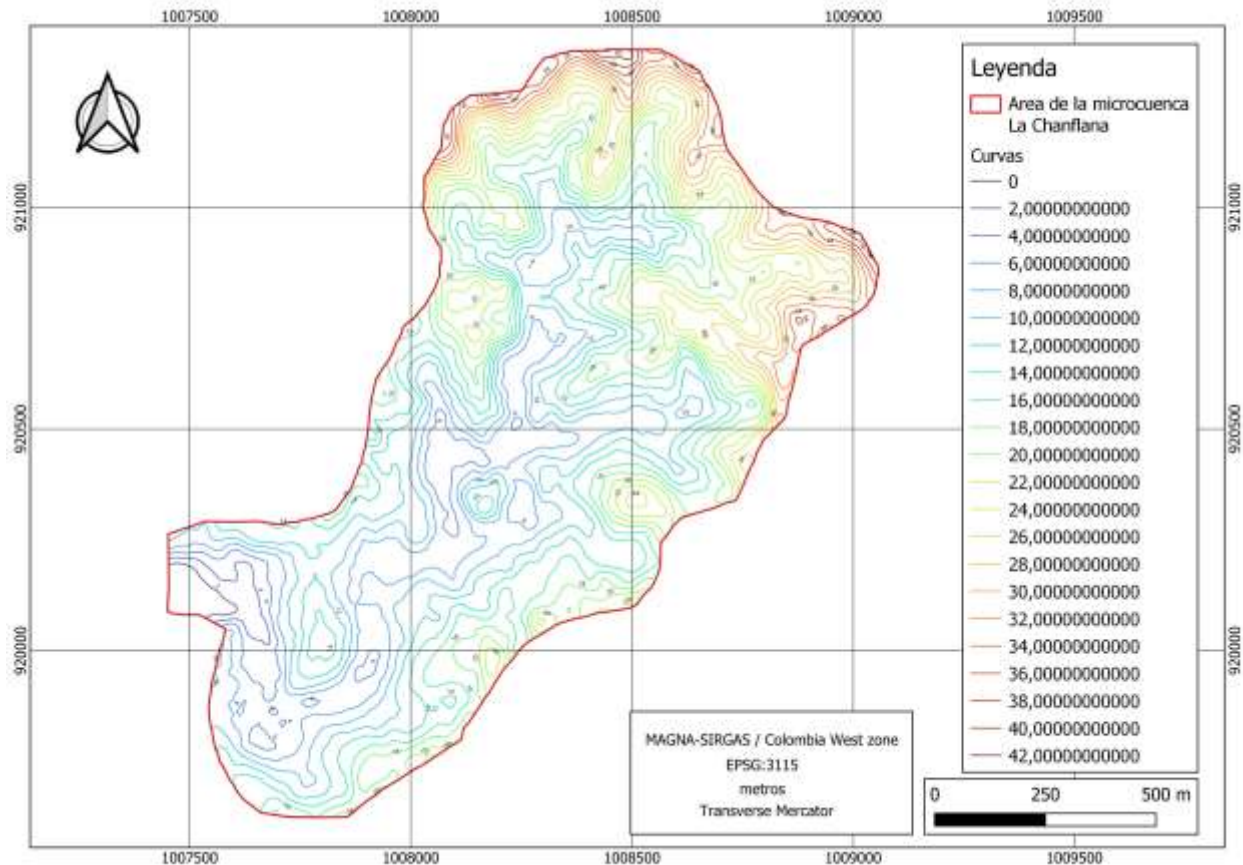


Ilustración 15. Mapa de curvas de nivel, con equidistancia de 2 metros.

DIRECCIÓN Y ACUMULACIÓN DE FLUJO

La acumulación de flujo es una técnica que determina la capacidad del suelo de acumular agua. Esta técnica se desarrolla mediante algoritmos que modelan el comportamiento del agua en la superficie con Modelos Digitales de Elevación (DEM).

El flujo de acumulado calcula el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda. Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyos. Las celdas con una acumulación de flujo de 0 son alturas topográficas locales y se pueden utilizar para identificar cresta. (ESRI, 2016a)

El proceso se realizó mediante la función “Flow Direction” en QGIS, se calculó la dirección de flujo para cada punto del terreno. Este cálculo se basa en la pendiente máxima hacia las celdas vecinas, que determina hacia dónde fluiría el agua en función de la topografía. El resultado es una capa raster que muestra la dirección de flujo en toda el área de estudio (Ilustración 16), permitiendo identificar cómo se mueve el agua a través del terreno y aplicarlo en análisis hidrológicos más detallados.

Como se observa en la Ilustración 16, el color más oscuro (rojo) indica áreas con mayor concentración de agua, lo que corresponde a la desembocadura de la microcuenca La Chanflana. Por otro lado, el color más claro (verde-amarillo) indica áreas con menor acumulación de agua, señalando el nacimiento de esta microcuenca. Lo que permite inferir que el flujo de la microcuenca es de Noreste al Suroeste.

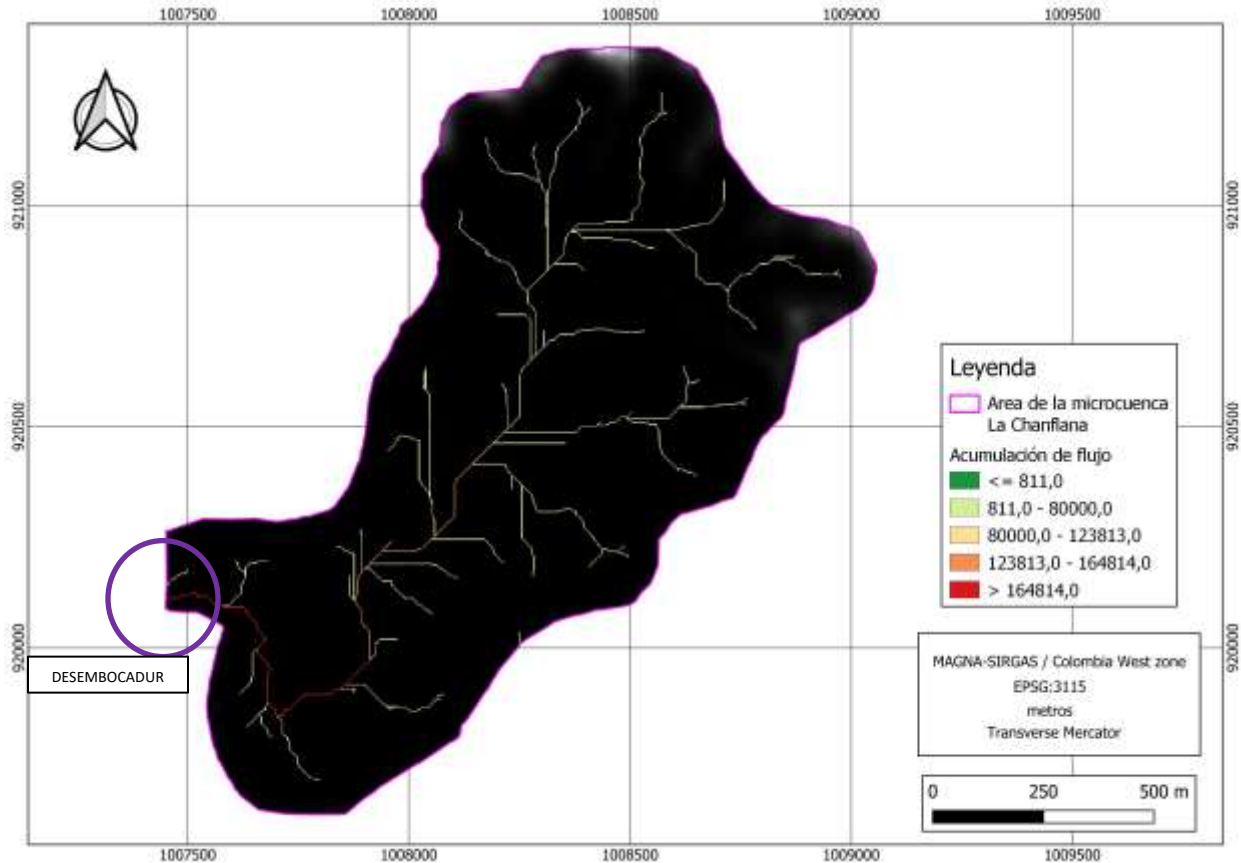


Ilustración 16. Mapa de dirección y acumulación de flujo, en donde se evidencia la desembocadura de la quebrada.

PRECIPITACIÓN

Dentro de los elementos que condicionan las inundaciones urbanas, la precipitación es de las variables principales en el análisis de la amenaza. Uno de los puntos importantes en cuanto a precipitación se refiere, es tratar de conocer su variación. Para ello se utilizó los registros de precipitación del IDEAM de la estación Colpuertos el cual cubre el año de estudio, el cual es el 2023, para este año en el mes de julio se presentaron dos (2) inundaciones una el 1 de julio de este año, y la segunda el 14 de junio siendo el mes con mayor ocurrencia de eventos de inundación.

Gracias a las evidencias dadas por la comunidad y ediles de la localidad 2 se tiene información de los años y meses donde se presentaron las inundaciones por las fuertes lluvias

- Mayo de 2021
- Septiembre de 2022
- Junio - julio 2023

Estos son de los últimos años donde se tiene el registro de las inundaciones, cabe aclarar que en los años anteriores se han presentado, pero no se tiene el registro.

En el análisis se consideró el volumen de las precipitaciones de las siguientes estaciones durante el mes de julio de 2023: Aeropuerto, con un volumen de 515 mm; Bajo Calima, con un volumen de 474.6 mm; y el Tigre, con un volumen de 629 mm. Aquí sobresale otro factor y es el cambio climático, en donde los periodos de tiempo de las precipitaciones son más cortos en comparación con lo normal, cuando las precipitaciones suelen extenderse en periodos más largos. Sin embargo, en estos periodos cortos, el volumen de precipitación es alto, lo que favorece la ocurrencia de inundaciones.

En el Distrito existen 21 estaciones hidrométricas del IDEAM y 2 hidrométricas de la Corporación Autónoma del Valle “CVC” lo cual son estaciones que están muy lejos de la zona de estudio lo que hace que los resultados presenten un margen de error más amplio.

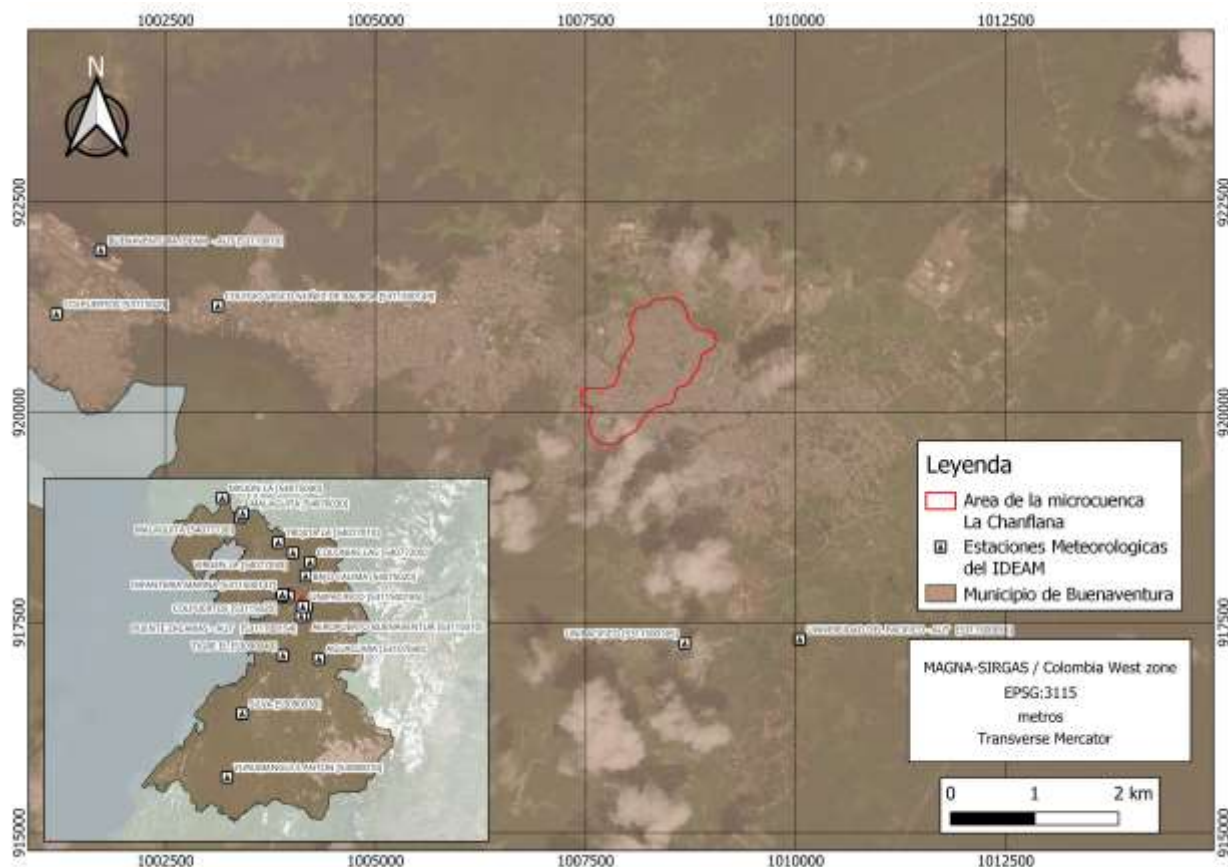


Ilustración 17. Estaciones Meteorológicas del IDEAM en el Municipio de Buenaventura, en relación con el área de estudio.

Las inundaciones ocurridas en 2023 no estuvieron necesariamente vinculadas a un volumen específico de precipitación. A lo largo del año, se registraron inundaciones en distintos meses, cada una con volúmenes de lluvia diferentes. En julio se reportaron dos inundaciones con un volumen de 515 mm, mientras que en octubre hubo una inundación con un volumen de 982.9 mm. Esto demuestra que el desbordamiento de la quebrada no depende únicamente del volumen de precipitación, sino también de otros factores como la sedimentación, la acumulación de residuos sólidos, y el nivel de altura de las calles.

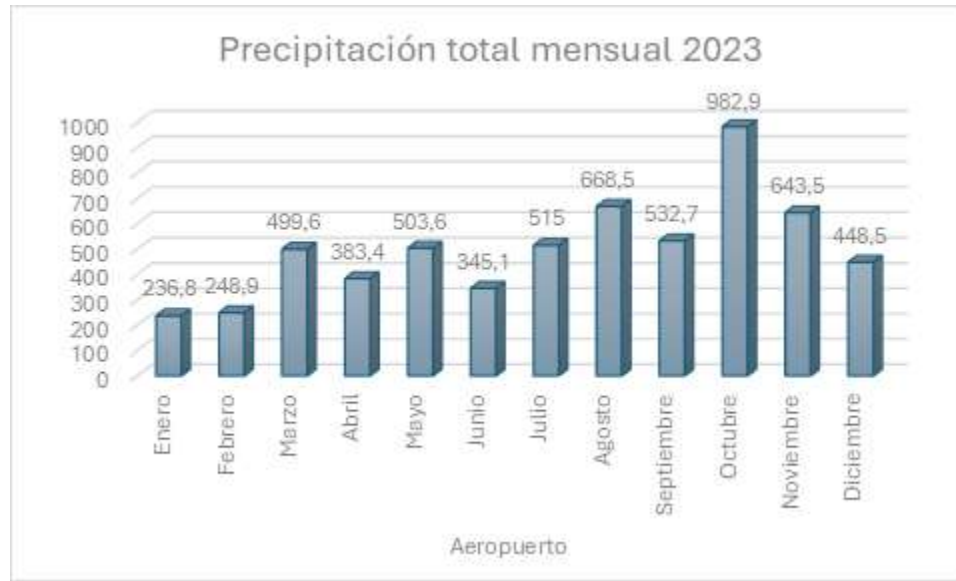


Ilustración 18. Estación aeropuerto, datos: Series históricas (IDEAM s.f.).

Para este año el mes de octubre fue donde más volumen de agua presentó el Distrito solo hubo una inundación que fue el día 2 a las 7:00 pm

El análisis de los datos de las tres estaciones hidrometeorológicas (Aeropuerto, Bajo Calima y El Tigre) para el mes de julio de 2023 reveló una diferencia en el volumen de precipitación. La estación Aeropuerto registró 515 mm, la estación Bajo Calima 474.6 mm, y la estación El Tigre 629 mm. Esta variabilidad se atribuye al aprovechamiento forestal, siendo la estación El Tigre la que se encuentra en una zona con menos procesos antrópicos. Con estos datos se generó un mapa de precipitación utilizando herramienta SIG el software QGIS y el método IDW, el cual muestra cómo varía la lluvia en un área pequeña (Ilustración 17).

Es importante recordar que las inundaciones dependen de factores como la sedimentación, la acumulación de residuos sólidos y la cantidad de lluvia. Para identificar las zonas de mayor

acumulación, se realizó un análisis de la dirección del flujo utilizando un modelo de elevación en el software ArcGIS. En mayo de 2024, cuando comenzaron las lluvias, no se presentaron inundaciones, ya que el año inició con el fenómeno de El Niño, lo que resultó en precipitaciones escasas y, por lo tanto, en una menor sedimentación en la quebrada.

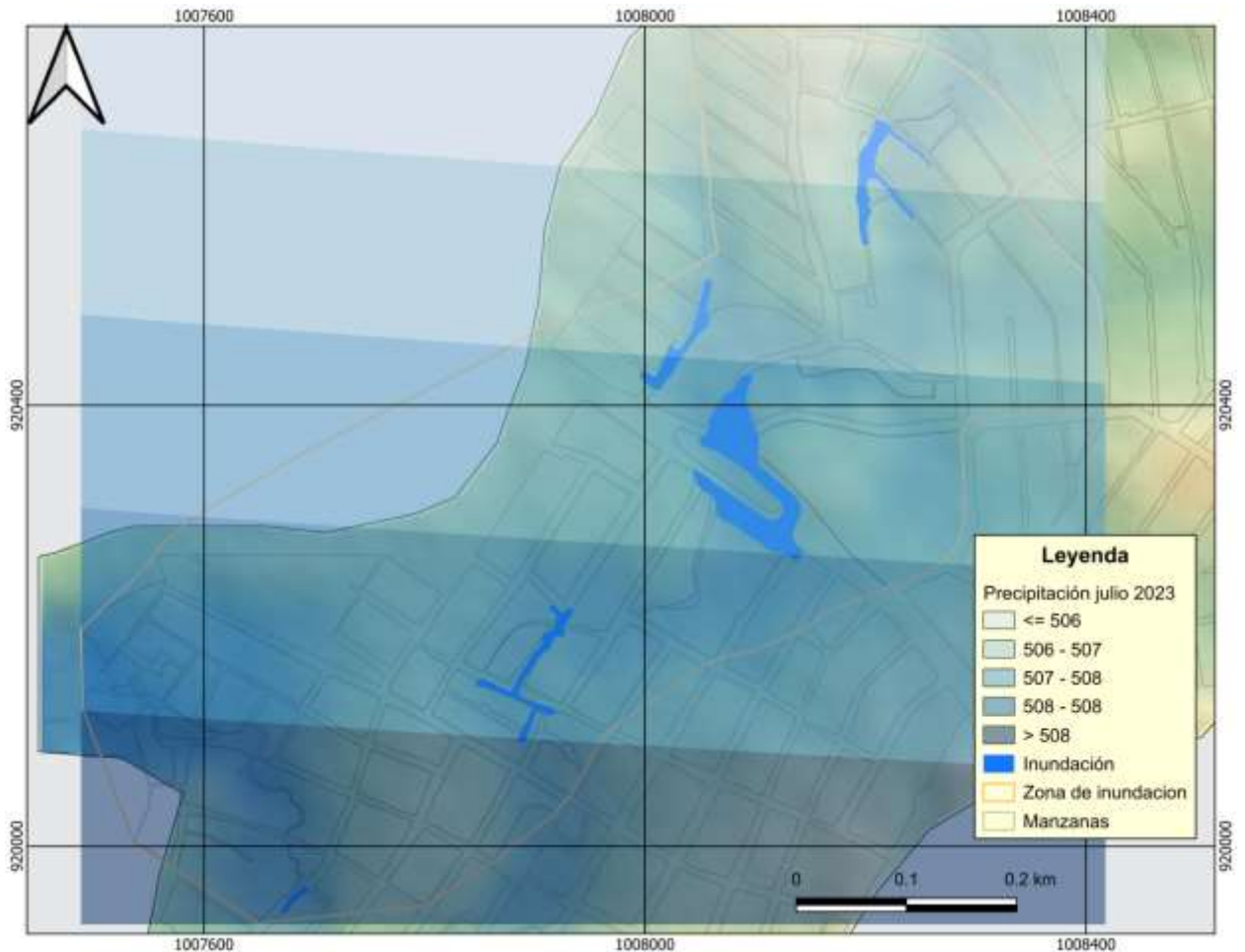


Ilustración 19. Mapa de precipitación año 2023 del mes de julio.

Como se muestra en el diagrama (Ilustración 18), las lluvias en el mes de julio alcanzaron los 515 mm. Esto se refleja en el mapa de precipitación, donde las isoyetas (Ilustración 19) varían de ≤ 506 mm a > 508 mm, destacando cómo la precipitación puede variar significativamente en

áreas cercanas. Cabe recordar que, aunque en julio las lluvias fueron menores en comparación con octubre del mismo año, también se produjeron inundaciones. Estas condiciones permiten que la comunidad presenta una Vulnerabilidad física, los barrios resultan vulnerable desde su dimensión física por tres características esenciales: 1) por estar localizados en un área inundable, área de la llanura de inundación de la quebrada; 2) por su heterogeneidad interna (se identifica sectores de asentamiento de asentamientos espontáneos en sectores bajos, con notoria de las construcciones, y otros sectores con viviendas de planes habitacionales, donde la edificación están elevada con respecto al nivel de la calle, con mejoras infraestructurales presencia de alcantarillado y otras sin infraestructuras y ni alcantarillado, 3) por la diferencia de infraestructura de servicios (desagüe). Reconociendo así condiciones que contribuyen a la vulnerabilidad progresiva en los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón (Romero y Maskrey 1993).

- **Vulnerabilidad económica:** La falta de empleo, la inestabilidad laboral (trabajos temporales), el promedio de trabajos precarios (que el trabajador tiene que hacer sus aportes a la salud y al sistema de pensión) la insuficiencia de los ingresos y la demora en los pagos aparecen como las características que constituyen la condición de vulnerabilidad económica de los habitantes en los barrios. Ello consecuentemente, evidencia su susceptibilidad al daño y la dificultad de recuperación ante la ocurrencia de inundación.

- **Vulnerabilidad política:** Concentración de la toma de decisiones, centralismo en la organización gubernamental y la debilidad en la autonomía de los ámbitos regionales, locales y comunitarios, lo que impide afrontar los problemas. (autonomía en el poder de decisión y de solucionar problemas) Wilches-Chaux (1989).

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN

Para la generación del mapa de susceptibilidad o zonas susceptibles a inundaciones en el área de influencia de la Quebrada la Chanflana, en el Distrito de Buenaventura, departamento del Valle del Cauca, se tuvo en cuenta el nivel de altura de la microcuenca.

Parámetros de las variables

Todas las variables se deben parametrizar en términos de la susceptibilidad, como se muestra en la siguiente tabla:

CATEGORIA DE LA SUSCEPTIBILIDAD	GRADO DE LA SUSCEPTIBILIDAD
4	Muy Alta
3	Alta
2	Media
1	Baja

Tabla 3. Parametrización de las variables. Fuente Autor.

Se genera una clasificación de los puntos de muestreo en función de la profundidad de la misma, teniéndose la siguiente zonificación de la susceptibilidad para el área de estudio.

Profundidad	Rango de Valores	Categoría de la Susceptibilidad
Muy Profundo	0.4 - 7.8	4
Profundo	7.8 - 11	3
Moderadamente Profundo	11 - 15.2	2
Superficial	15.2 - 32.5	1

Tabla 4. Parametrización variable nivel máximo de inundación Fuente Autor.

La variable de puntos hace referencia a la lámina de agua o superficie de inundación, dicha capa es generada por el software Qgis, mediante la extensión “Point Sampling Tool”, para la generación de esta variable se tuvo en cuenta la profundidad del Modelo Digital de Elevación

dando como resultado las zonas susceptibles a inundación en la microcuenca la Chanflana (Ilustración 20).

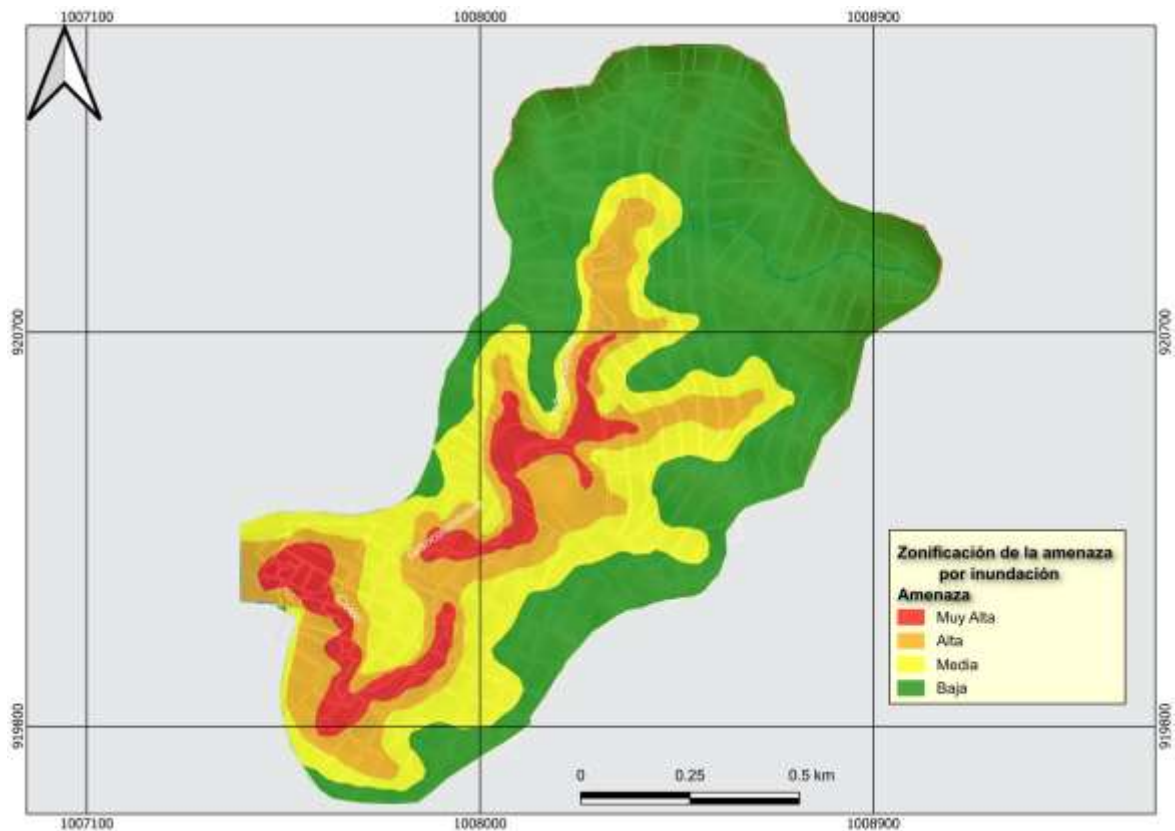


Ilustración 20. Mapa de susceptibilidad de inundación sobre las manzanas catastrales

El mapa anterior (Ilustración 20) muestra los resultados geográficos del análisis de susceptibilidad a inundación para la Quebrada la Chanflana. En él, se visualiza las zonas de susceptibilidad representada por colores, que van desde el verde, indicando baja susceptibilidad, hasta el rojo, que indica una susceptibilidad muy alta.

Se utilizó como base de análisis la capa de manzanas catastrales creada y publicada por el DANE en 2018, derivada del censo realizado ese mismo año. Esta capa recopila y clasifica

información sobre el número de habitantes en cada manzana, además de otros datos como género y disponibilidad de servicios públicos, entre otros. Gracias a esta capa, fue posible identificar el número de manzanas, viviendas y personas potencialmente afectadas por un posible desbordamiento de la quebrada, considerando factores tanto antropogénicos como naturales.

Como resultado, se obtuvo la siguiente tabla, con manzanas, viviendas y personas afectadas por un evento de desbordamiento de la quebrada.

Tipo de susceptibilidad	Manzanas afectadas	Número de viviendas	Número de personas afectadas
Alta	118	4819	12961
Muy Alta	62	1876	5089

Tabla 5. Mapa de susceptibilidad de inundación sobre las manzanas catastrales

De la anterior tabla se puede inferir que, en un evento de inundación causado por un aumento en el volumen de precipitación, sumado a acciones antropogénicas por la disposición errónea de basuras en la quebrada, causando taponamientos, podría afectar a un total aproximado de 18.050 personas, y 6.695 viviendas.

8. Resultados y discusión

Vulnerabilidad en los barrios de independencia, grancolombiana y colón en el distrito de buenaventura.

Al analizar la información arrojada por las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica SIG, para medir la vulnerabilidad de las viviendas en los barrios Independencia, Grancolombiana y Colón se evidenció lo siguiente:

- En la ilustración 13, muestra la zona más baja de la microcuenca, para este caso es la llanura de inundación donde se presentan la zona más propensa a inundaciones, y en donde se identifica la zona donde están construidas las viviendas en los tres barrios que son vulnerables a la inundación.

- En la Ilustración 14, se identifican la variación de la pendiente mostrando pendientes moderadamente abruptas, indicando que el terreno es relativamente plano; esto permitió establecer que en esta microcuenca no se presentaría una amenaza por avenidas torrenciales; sin embargo, se presenta inundaciones por desbordamiento de la quebrada.

- En la Ilustración 16, se evidencian las zonas de mayor acumulación de flujo de la quebrada, lo que indica en qué dirección se mueve la quebrada y en qué sector existe una mayor probabilidad de desbordamiento, lo que concuerda con la ubicación de los eventos de inundación registrados.

- En las Ilustraciones 19 y 20 se muestra no solo la alta vulnerabilidad de los barrios, sino también el volumen de la precipitación durante el año 2023. Para el mes julio de 2023, se registró un volumen de 515 mm, lo que generó dos inundaciones. Por otro lado, en octubre del mismo año, se registraron 982.9 mm de precipitación, con una sola

ocurrencia de inundación. Esto indica que la lluvia es un detonante, pero también se ve acompañada por la sedimentación de la quebrada y los procesos antrópicos a lo largo de la microcuenca, lo que contribuye al desbordamiento.

- Que las viviendas que están situadas al borde de la quebrada o cerca de ella presentan rangos de alto a muy alto de Vulnerabilidad en la infraestructura, se estima que lo anterior sucede gracias a la interacción de las precipitaciones y la sedimentación de la quebrada acompañada con los procesos antrópicos (residuos sólidos y escombros) ver (Ilustración 19).

Riesgo por Inundación en los Barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón en el Distrito de Buenaventura

Según el análisis del mapa de amenaza por inundación, las manzanas situadas al borde de la quebrada presentan un riesgo que varía de alto a muy alto (ver Ilustración 11), afectando principalmente las áreas del norte y suroccidente de los barrios. La Figura 8 ilustra la dirección y acumulación del flujo, evidenciando que el barrio Colón enfrenta la mayor amenaza de inundación.

Según el análisis del mapa de amenaza para medir el riesgo por inundación las manzanas que están construidas al borde la quebrada presenta un riesgo alto a muy alto ver (Figura 11) logrando visualizar el norte y sur occidente de los barrios. La figura 8 nos muestra la dirección y acumulación del flujo evidenciando que el barrio el Colón presenta la mayor amenaza por inundación.

Para evaluar los escenarios de riesgo, se considera la ocurrencia de la temporada de lluvias y el mapa de amenazas por inundación. En los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón, durante las lluvias intensas, el nivel y la energía de la quebrada aumentan, transportando

sedimentación y residuos arrojados por la comunidad, lo que afecta las viviendas en las zonas de inundación. Durante el fenómeno de La Niña, se registraron precipitaciones significativas que provocaron inundaciones en estos barrios, particularmente en las carreras 56c, 58 y 59, junto con la calle 9b.

9. Conclusiones

El presente documento técnico de soporte corresponde al Análisis de la Amenaza por Inundación de la Quebrada La Chanflana, que por su desbordamiento causado por factores antrópicos y climáticos afecta los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón en el Distrito de Buenaventura.

Los eventos de inundación que afectan los asentamientos urbanos alrededor de la quebrada La Chanflana no solo están relacionados con el alto volumen de lluvias, propiciado por el fenómeno de La Niña, sino que también existen factores antrópicos como la disposición incorrecta de basuras y escombros en la quebrada por parte de la comunidad lo cual genera taponamientos que contribuyen a las inundaciones.

Durante el fenómeno de La Niña en el año 2023, las precipitaciones fueron de particular importancia, alcanzando 515 mm en julio y 982.9 mm en octubre. Esto refleja un aumento exponencial, considerando que el promedio de precipitación para julio es de 268 mm y para octubre es de 309 mm. (IDEAM, 2024)

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea que, las inundaciones que afectan a los barrios Independencia, Gran Colombiana y Colón tienen su génesis en los eventos Hidrometeorológicos, los cuales están siendo modificados por los efectos del Cambio Climático, esto indica que el nivel de vulnerabilidad de los territorios hoy es muy alto. Hasta el momento de la ejecución de esta

investigación, no se cuenta con un plan que aborde los efectos del cambio climático en el sector, lo cual es preocupante dado que la población flotante en estos barrios es considerablemente alta.

En el sector, se evidenció mediante los distintos diálogos con los habitantes, el liderazgo desarrollado por ellos en la búsqueda de alternativas frente a situaciones como las inundaciones. Además, se observó una política de acompañamiento por parte de las entidades locales, las cuales, por su objeto misional, deberían brindar apoyo en la construcción de la comunidad y la mitigación de riesgos.

En la zona baja de la microcuenca, específicamente en el barrio Colón, existen problemas de seguridad que limitaron la identificación y captura de fotografías y coordenadas de los puntos críticos de inundación. Además, estos problemas dificultaron el diálogo con las comunidades afectadas por los eventos de inundación. Esta situación generó dificultades en el objeto de estudio, ya que no se pudo recolectar toda la información requerida.

Por último, se destaca la importancia del uso de sistemas de información geográfica dentro del análisis de inundaciones, los cuales, mediante modelos digitales de elevación, se logró obtener resultados detallados que facilitaron una comprensión más profunda de las inundaciones y las condiciones locales. Este enfoque se complementó con un diálogo activo con las comunidades afectadas y un análisis de datos hidrometeorológicos y geofísicos de la zona de estudio.

10. Recomendaciones

Dado los resultados de la actual investigación y la importancia de los hallazgos, es necesario establecer unas líneas de acción, las cuales teniendo en cuenta, la poca o nula planificación existente en relación de los eventos amenazantes, permitan la creación de una hoja de ruta que acceda abordar de manera más directa lo encontrado en la misma, es por eso que se plantea unas recomendaciones bidimensionales que pueden contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de los asentamientos estudiados, en este caso, los anexos a la Quebrada La Chanflana.

➤ **Medidas estructurales**

- ✓ Reubicación de zonas habitadas.
- ✓ Implementación de un sistema alternativo de acueducto, que garantice la atención y o recuperación de los eventos amenazantes en el territorio.
- ✓ Realizar obras de mitigación de la infraestructura vital de los territorios.
- ✓ Establecer programas de mejoramiento de vivienda, que vayan en relación a reducir la vulnerabilidad física que presentan frente a las inundaciones.

➤ **Medidas no estructurales**

- ✓ Implementación de planes de manejo de inundación (incluyendo evacuación).
- ✓ La formulación e implementación de un Sistema de Alerta Temprana, que incluya a la comunidad y las instituciones de atención.
- ✓ Establecimiento de un fondo de prevención o recuperación.
- ✓ Implementación de un plan de salud, que permita la recuperación de los asentamientos.

- ✓ Plan de recuperación económica.
- ✓ Programa de formación de brigadas de Gestión del Riesgo de Desastres.
- ✓ Política pública que establezca la ocupación del territorio.
- ✓ Construcción de los planes de contingencia por entidades para respuestas ante inundación, (Bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja, DTV, DTA, CVC, entre otras)

Además, se recomienda elaborar estudios más detallados, como el Modelamiento de Inundación, utilizando datos precisos y herramientas especializadas como HEC-RAS u otros programas similares. Este tipo de análisis permitirá evaluar con precisión los patrones de inundación, facilitando el desarrollo de estrategias efectivas para la gestión y mitigación de riesgos en la zona afectada.

11. Referencias

- Juan Hernández y Antonio Vieyra (2010). *Riesgo por Inundación en Asentamientos Precarios del Periurbano. Merelia, una ciudad media mexicana ¿El desastre nace o se hace? Geografía Norte Grande.*
- Zamir Maturana Córdoba (2007). *Mapa de Zonificación de Amenazas por Inundación del Casco Urbano del Municipio de Quibdó (Choco). Estudio Basado en la Interpretación de Imágenes de Radar, de Satélite y fotografías Áreas. Ingeniería e Investigación.*
- Roa Lobo Jose y Kamp Ulrich (2012). *Uso del Índice Topográfico de Humedad (ITH) Para el Diagnostico de la Amenaza por Desborde Fluvial, Trujillo-Venezuela. Geográfica Venezolana.*
- Gustavo Barrantes Castillo y Jacqueline Vargas Bogantes (2011). *La Zonificación de Amenaza por Inundación como Herramienta para el Ordenamiento Territorial en el Valle del Río Sixaola. Geográfica de América Central.*
- Maria Alejandra Pittaluga y Graciela M. Suvires (2010). *Susceptibilidad a las Inundaciones por Crecientes Estivales y por Desbordes en las Localidades de Villa Nueva, Puchuzum y Villa Corral, Cuenca del Río Castaño, Calingasta, San Juan. Asociación Geológica Argentina.*
- James M. Shultz, Andrew Mclean, Holly B. Herberman M., Alexa R., Fiona K., Helena M. Solo-Gabriele, Georgia A Youngs Jr, Jessica J., Oscar Bernal and Yuval N. (2013). *Mitigating Flood Exposure. Disaster Health.*
- Faye E. Barthold, Thomas E. Workoff, Brian A. Cosgrove, Jonathan J. Gourley, David R. Novak and Kelly M. Mahoney (2015). *Improving Flash Flood Forecasts, the HMT-WPC Flash Flood and Intense Rainfall Experiment. American Meteorological Society.*

- Hajar N., Mohd Johari M. Y., Thamer A. Mohammad A. (2016). *An Overview to Flood Vulnerability Assessment methods. Water Resour.*
- Veronika B. M., Dana H., Pavla P. y Pavol M. (2023). *The Copula Application for Analysis of the Flood Threat at the River Confluences in the Danube River Basin in Slovakia. Water MDPI.*
- Qi Yin, Gideon Ntim-Amo, Ruiping R., Dingde Xu, Stephen Ansah, Jinfu Hu, and Hong Tang (2021). *Flood Disaster Risk Perception and urban Household' Flood Disaster Preparedness: The Case of Accra Metropolis in Ghana. Water MDPI.*
- Leobardo A. O., M.I. Wendy R. R., Dra. Rocío N. Ramos B., Dr. Rene V. J., (2021). *Análisis de la Amenaza por inundaciones en la Localidad el Durazno, municipio de Tixtla de Guerrero, Guerrero; a Través de Sistemas de Información Geográfica. Innova Ingenieria.*
- María Paula Ferrarí (2012). *Análisis de Vulnerabilidad y Percepción Social de las Inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina. Colombiana de Geografía.*
- Bryan Danilo B. C., Scarlet Josefina C. R., David Jesod M. del Valle (2019). *Análisis de la Vulnerabilidad a Inundaciones de la Parroquia Santa Ana de Vuelta Larga, Provincia de Manabí, Ecuador. Investigaciones Geográficas.*
- Omar José Portillos Coavas (2020). *Identificación de las Zonas de Amenaza por Inundación, Mediante los Sistemas de Información Geográfica como Herramienta de Insumo, para la Gestión de Riesgo en el Municipio de Moñitos, Córdoba. Brasileira de Geografía física.*
- Gustavo Barrantes Castillo, Jacqueline Vargas Bogantes (2011). *La Zonificación de Amenaza por inundación como Herramienta para el Ordenamiento Territorial en el Valle del Río Sixaola. Geográfica de América Central.*

- Alicia M. Campo., Andrea M. Silva., Verónica Gil (2010). *Aplicación de Cartografía Temática para la Identificación y Análisis de la Exposición al Peligro de Inundación por Crecidas Repentinas. Sierra de la Ventana, Buenos Aires, Argentina. Rev. Geo. Sur.*
- Diego Sánchez Gonzáles, Rosalía Chávez Alvarado (2016). *Personas Mayores con Discapacidad Afectadas por Inundaciones en la Ciudad de Monterrey, México, Análisis de su Entorno Físico-Social. Cuaderno Geográficos.*
- Omar D. Bello, José Ballesteros, Magda Buitrago, Mauricio González, Osmar Velasco (2018). *Análisis Retrospectiva de las Inundaciones: Lecciones y Recomendaciones. Argentina. Cepal.*
- Nadezhdy Ginova Hortua Cortes (2004). *Geomorfología e Hidrología, Combinación Estratégica para el Estudio de las Inundaciones en Florencia (Caquetá). Colombiana de Geografía.*
- Estefanía J., María A., Rocío S. G. (2016). *Estrategias para la Mitigación del Riesgo por Inundación: caso cuenca del Arroyo Maldonado, la Plata (Buenos Aires, Argentina).*
- Paula Andrea Zapperi y Jorge Olcina (2021). *Cartografía de Inundaciones en la Planificación Territorial. Estudio Comparado entre Argentina y España. Geografía Norte Grande.*
- Heynner Yesid C. J., Nelson Javier C. C., Gustavo Adolfo C. S., (2023). *Comparación Obras de Reducción del Riesgo Sobre Áreas de Amenaza Alta por Inundación sobre un Sector de la Quebrada Tonchala en San José de Cúcuta. UIS.*
- Claudia Eleonor Natenzo y Aurora Besalú Parkinson (noviembre 2019 – Abril 2020). *El Derecho como Instrumento de Adaptación al Cambio Climático. Revisión de Sentencias Relativas a Desastre por Inundaciones Urbanas. Area.*

Luis Alejandro E. V., Yamileth D. H., Steffani María S. M., Duvan Roberto P. P. (2019) Cambios en las Coberturas de la Tierra en el Periodo 1984 – 2017 y Análisis de la Amenaza ante Inundaciones en el Municipio del Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia. RC.

Lilia Ma. Gama Campillo y Rosa Martha Padrón López (2013). Importancia del Análisis de la Interacción Espacio-Temporal de la Expansión Urbana y los Eventos de Inundación en el Municipio del Centro, Tabasco.